

ACTAS DO ENCONTRO

EDITORES

VASCO PEIXOTO DE FREITAS • VITOR ABRANTES



PATORRE@2003

1.º encontro nacional sobre

PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

18 e 19 de Março

PORTO

2 0 0 3



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

1.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS



ACTAS DO ENCONTRO

Universidade do Porto
SECÇÃO DE CONSTRUÇÕES CIVIS
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia

Ⓟ 2005/11/26

PORTO, FEUP
18 E 19 DE MARÇO DE 2003

Actas do 1.º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios,
PATORREB2003
Porto, FEUP, 18 e 19 de Março de 2003, Porto

Editado por:

Vasco Peixoto de Freitas — vpfreita@fe.up.pt
Vitor Abrantes — abrantes@fe.up.pt

Comissão Organizadora do PATORREB2003
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias
4200-465 PORTO
Tel.: 225 081 932
Fax: 225 081 940

Capa:

Ana Stingl

Impressão:

Litografia Coimbra, S. A.

Tiragem:

750 exemplares
ISBN: 972-752-059-6
Depósito legal n.º 192749/03

A cópia do todo ou de parte destas Actas só será possível na condição de ser autorizada pelos editores.

69.059(063)/PRE 1

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
Nº 159353
CDU
Data 30 / 07 / 2018

Preâmbulo

Muito embora haja uma preocupação crescente com a qualidade da construção, traduzida pela introdução de regulamentação específica na área do conforto, verifica-se que os edifícios construídos nos últimos anos não apresentam a qualidade esperada. Pode mesmo afirmar-se que há alguns milhares de fogos, construídos recentemente, com patologias muito graves que condicionam a sua utilização.

A falta de sistematização do conhecimento, a ausência de informação técnica, a inexistência de um sistema efectivo de garantias e de seguros, a velocidade exigida ao processo de construção, as novas preocupações arquitectónicas, a aplicação de novos materiais, a inexistência na equipa de projecto de especialistas em física das construções são causas fundamentais da não qualidade dos edifícios.

Nestas circunstâncias, será da maior importância uma reflexão profunda sobre as causas da patologia da construção em Portugal, bem como a definição de uma estratégia, a médio prazo, para a melhoria da qualidade e da durabilidade dos edifícios, em particular, da sua envolvente.

O investimento na reabilitação e conservação de edifícios em Portugal é extremamente reduzido, não atingindo sequer os 10 % do investimento total do sector da construção, contrariamente a muitos países da União Europeia em que esse sector corresponde a uma fatia do mercado superior a 40 %. A ausência de investimento na reabilitação tem como consequência a degradação dos centros urbanos e da qualidade de vida dos cidadãos.

Consideramos que é necessário inverter esta situação nas próximas décadas o que exige: o desenvolvimento de metodologias para a elaboração de projectos de reabilitação de edifícios, a implementação de estudos de diagnóstico suportados por medições *in situ* e em laboratório, o conhecimento das patologias mais correntes, o conhecimentos do desempenho dos materiais e tecnologias utilizadas em reabilitação, bem como a elaboração de cadernos de encargos exigenciais suportados por manuais exigenciais.

Neste contexto o 1.º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB2003 procura reflectir sobre esta problemática, contribuindo para o diagnóstico da situação e para perspectivar o futuro.

Para além das cerca de cinquenta comunicações, o Encontro inclui também dois *workshops* sobre o ensino da patologia e reabilitação e sobre as potencialidades laboratoriais no domínio da higrótermica.

Pretende-se manifestar o agradecimento a todas as personalidades que nos honraram aceitando integrar a Comissão de Honra, aos membros da Comissão Científica, aos Palestrantes convidados, aos Autores das comunicações, bem como a todas as Empresas e Instituições que patrocinaram ou apoiaram a organização desta iniciativa.

Espera-se que o Encontro seja útil para todos os que nele decidiram participar, contribua para a sistematização do conhecimento neste domínio e tenha a continuidade desejável com a organização do PATORREB2006.

Vasco Peixoto de Freitas
Professor Catedrático da FEUP
Comissão Organizadora

Patrocínios

DGEMN	Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais
CIN	Corporação Industrial do Norte, S. A.
Bettor MBT Portugal	Produtos químicos para a Construção, S. A.
Leca Optiroc	Leca Portugal, Argilas Expandidas, S. A./Optiroc Portugal, Cimentos e Argamassas, L. ^{da}
Sika	Industria Química, S. A.
Saint-Gobin Weber Cimenfix	S. A.
Imperbor	Comércio e Tecnologia de Revestimentos, L. ^{da}
Losimi	Impermeabilização e Isolamento, L. ^{da}
RenoTec	Renovação de Edifícios e Estruturas, L. ^{da}
ROM	Sociedade de Construções, L. ^{da}
Sotecnisol	Sociedade Técnica de Isolamentos, S. A.
S. T. A. P.	Reparação, Consolidação e Modificação de Estruturas, S. A.
STB	Sociedade Técnica de Tratamento de Aços e Betões, L. ^{da}



Apoios

OE	Ordem dos Engenheiros
OA	Ordem dos Arquitectos SRN
AICCOPN	Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas do Norte
APCMC	Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção
IC	Instituto da Construção
FCT	Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Apoio ao Programa Operacional Ciência, Tecnologia, Inovação do Quadro Comunitário de Apoio III.
UP	Universidade do Porto



Comissão Científica

Prof. Alfredo Soeiro	FEUP
Prof. ^a Anabela Paiva	UTAD
Prof. Aníbal Costa	FEUP
Prof. António Tadeu	FCTUC
Prof. Barroso de Aguiar	UM
Prof. Canha da Piedade	IST
Prof. Fernando Branco	IST
Prof. Fernando Henriques	FCTUNL
Prof. Gaspar Nero	IST
Prof. João Castro-Gomes	UBI
Prof. Jorge de Brito	IST
Arq. ^{to} José Aguiar	LNEC
Prof. Luís Bragança	UM
Prof. ^a Madalena Teles	FEUP
Prof. ^a Manuela Almeida	UM
Prof. ^a Helena Corvacho	FEUP
Eng. ^a M. ^a do Rosário Veiga	LNEC
Prof. Mendes da Silva	FCTUC
Prof. Raimundo Delgado	FEUP
Eng. ^o Rui Calejo	FEUP
Prof. Teixeira Trigo	ULHT
Eng. ^o Vasconcelos de Paiva	LNEC
Prof. Vasco Freitas	FEUP
Prof. Vitor Abrantes	FEUP

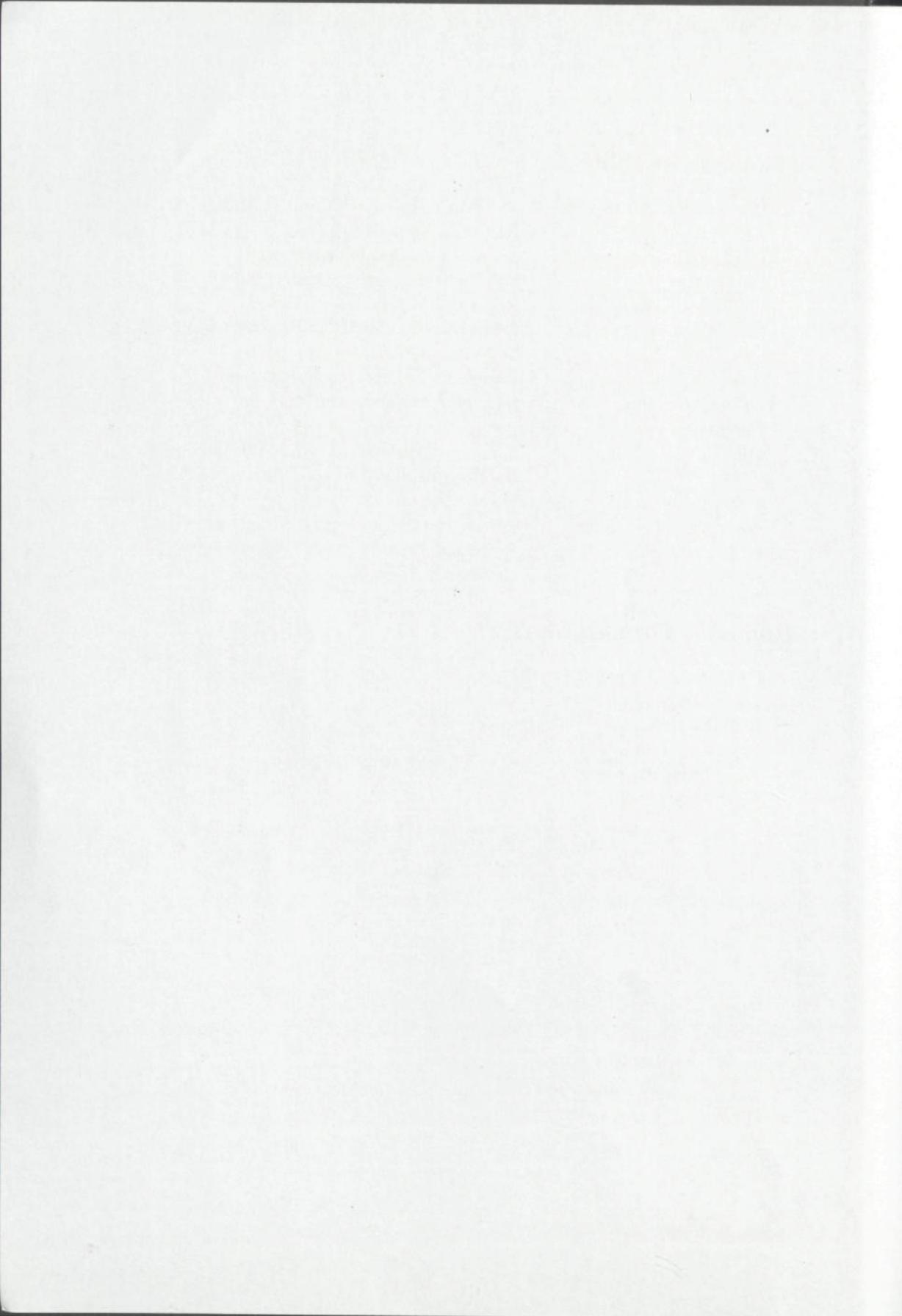
FCTUC —	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Univ. de Coimbra
FCTUNL —	Faculdade de Ciências e Tecn. da Univ. Nova de Lisboa
FEUP —	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IST —	Instituto Superior Técnico
LNEC —	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
UBI —	Universidade da Beira Interior
ULHT —	Universidade Lusófona
UM —	Universidade do Minho
UTAD —	Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Comissão de Honra

Prof. Valente de Oliveira	Ministro das Obras Públicas, Transportes e Habitação
Eng.º Jorge Costa	Secretário de Estado da Habitação
Dr. Rui Rio	Presidente da Câmara Municipal do Porto
Prof. Novais Barbosa	Reitor da Universidade do Porto
Arq.º Carlos Guimarães	Presidente do Conselho Directivo Regional do Norte – Ordem dos Arquitectos
Sr. Rui Viana	Presidente da Direcção da AICCOPN
Dr. José de Matos	Secretário-Geral da APCMC
Dr. Esteves Cardoso	Presidente do INH
Eng.º António Teles	Director Regional da Direcção de Gestão Habitacional do Norte (IGAPHE)
Prof. Carlos Costa	Director da FEUP
Prof. Matos Fernandes	Director do Departamento de Engenharia Civil
Prof. Vitor Abrantes	Presidente do Colégio de Engenharia Civil – Ordem dos Engenheiros

Comissão Organizadora

Prof. Vasco Peixoto de Freitas
Prof. Vitor Abrantes
Eng.º Nuno Ramos
Eng.ª Eva Barreira
Eng.º Nuno Machado
Eng.ª Isabel Lopes



Índice

Palestras	1
C1 — Patologia de Edifícios. Porque se Repetem os Insucessos? Canha da Piedade	3
C2 — Fenómenos de Higroscopicidade Devidos à Presença de Sais Solúveis Fernando M. A. Henriques	5
C3 — Patologia e Reabilitação de Edifícios. Estratégias para o Futuro Vasco Peixoto de Freitas	19
C4 — Dos Problemas aos Princípios na Conservação, Restauro e Renovação de Revestimentos Exteriores em Centros Históricos José Aguiar	21
C5 — Conceber Edifícios Duráveis Fernando A. Branco	23
C6 — New Technologies and New Pathologies Sergio Croce	33
C7 — Building Pathology at the Building Research Establishment, UK. Case Studies, Data Bases and Feedback to the Construction Industry Peter Trotman.....	35
C8 — A Actividade do LNEC no Domínio da Patologia e Reabilitação de Edifícios José Vasconcelos Paiva.....	37
C9 — A Reabilitação Como Factor de Sustentabilidade da Construção Vitor Abrantes.....	39
C10 — As Técnicas Tradicionais de Hoje na Conservação e Reabilitação de Edifícios Gaspar Nero.....	41
C11 — A Cobertura de Telha Rui Loza.....	43

Sessão I	45
I-1 — Patologia Inerente aos Revestimentos Exteriores com Placas de Pedra Natural. Anomalias Associadas e Recomendações para as Evitar	
Adelino Alves, Maria do Rosário da Silva Veiga.....	47
I-2 — Deficiências do Desempenho dos Peitoris na Protecção das Fachadas Contra a Acção da Água	
J. A. Raimundo Mendes da Silva, Maria Isabel Morais Torres.....	59
I-3 — Reabilitação de Peitoris em Pedra com Revestimento Contínuo à Base de Resina de Poliuretano	
Marília Sousa, Vasco Peixoto de Freitas	69
I-4 — Observação, Registo, Controlo e Diagnóstico de Fissuração em Paredes não Estruturais de Alvenaria	
J. A. Raimundo Mendes da Silva, Vitor Abrantes	79
I-5 — Anomalias mais Comuns nas Fachadas dos Edifícios do Concelho de Guimarães	
Luís Bragança, Manuela Almeida, Ricardo Mateus, António Silva	89
 Sessão II	 101
II-1 — Tratamento da Humidade Ascensional em Construções Históricas	
Maria Isabel Morais Torres, Vasco Peixoto de Freitas	103
II-2 — Humidade em Construções Antigas do Centro Histórico de Bragança	
Eduarda Luso, Manuela Almeida, Paulo B. Lourenço	117
II-3 — Anomalias mais Frequentes na Superfície Corrente de Paredes Devidas à Humidade	
António Vilhena	127
II-4 — Patologias Associadas a Condensações	
Vasco Peixoto de Freitas, Eva Barreira, Pedro Gonçalves	137
II-5 — Importância da Ventilação nas Condensações Superficiais. Medição das Renovações Horárias pela Técnica PFT	
Manuel Pinto, Vasco Peixoto de Freitas.....	151

Sessão III.....	161
III-1 — Anomalias em Edifícios Novos. Medidas Correctivas e Medidas Preventivas	
Álvaro Araújo, Manuela Almeida	163
III-2 — Definição de Estratégias de Intervenção em Revestimentos de Edifícios Antigos	
Maria do Rosário Veiga, José Aguiar	175
III-3 — Tecnologia de Utilização de Chapas de Cobre na Reabilitação de Edifícios Antigos	
Luís Bragança, Jorge Vieira, Filipe Ferreira	185
III-4 — Diagnóstico e Reparação de Patologias de Rebocos em Construções Correntes	
Pedro Lima Gaspar, Jorge de Brito	197
III-5 — Estudo Comparativo de Diferentes Argamassas Tradicionais de Cal Aérea e Areia	
Paulina Faria Rodrigues	207
 Sessão IV	 217
IV-1 — A qualidade na Construção/Reabilitação e Reforço de Estruturas	
Aníbal Costa	219
IV-2 — Estudo de um Caso de Anomalias Ocorridas num Betão Autocompactável	
Luiz A. Pereira de Oliveira, João Paulo de Castro-Gomes, João Carlos Gonçalves Lanzinha, Marisa S. Dinis Almeida	239
IV-3 — Estudo de um Caso de Anomalias Estruturais Ocorridas numa Habitação Rural de Alvenaria de Pedra	
João Paulo de Castro-Gomes, Luiz A. Pereira de Oliveira, João Carlos Gonçalves Lanzinha	249
IV-4 — Determinação da Aderência entre Resinas Epoxídicas e Argamassas Hidráulicas	
José Barroso de Aguiar	259
IV-5 — Novos Materiais Obtidos por Activação Alcalina de Metacaulinos, Argilas e Resíduos Ricos em Sílica e Alumina	
Amândio Teixeira-Pinto, S. Jalali.....	269

IV-6 —	Reabilitação de Estruturas de Betão Reforçadas com CFRP Usando o Método de Enrolamento Filamentar	
	Nuno C. Loureiro, P. Vieira, J. P. Bento, J. L. Esteves	283
Sessão V		293
V-1 —	Patologia em Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas Fixados Mecanicamente	
	Jorge M. Grandão Lopes	295
V-2 —	Defeitos de Conceção e Execução de Coberturas de Telha Cerâmica. Casos de Estudo	
	J. A. R. Mendes da Silva, Vitor Abrantes, Romeu S. Vicente	305
V-3 —	Deficiente Comportamento de Coberturas. Estudo de Caso	
	Nuno Manuel Monteiro Ramos, Vasco Peixoto de Freitas	315
V-4 —	Impermeabilizações de Coberturas em Terraço. Anomalias Devidas a Erros de Conceção	
	Ana Walter, Jorge M. Grandão Lopes, Jorge de Brito	325
V-5 —	Descolamento do Revestimento de Piso de um Pavilhão Gimnodesportivo	
	Paulo da Silva Pinto, Vasco Peixoto de Freitas	337
Sessão VI		347
VI-1 —	Desenvolvimento de Fichas de Diagnóstico e de Intervenção no Âmbito da Manutenção Correctiva num Sistema Integrado de Manutenção de Edifícios de Habitação	
	Marisa Antunes, Helena Corvacho	349
VI-2 —	Patologias Observadas em 13 Conjuntos Habitacionais do Programa PER	
	Nuno Machado, Isabel Lopes, Vasco Peixoto de Freitas.....	359
VI-3 —	Patologias em Edifícios de Habitação. A Cidade de Vila Real	
	Sandra Pereira, Jorge Faustino, José Barbosa Vieira, Anabela Paiva	369
VI-4 —	Patologias Funcionais em Edifícios de Escritórios	
	António Lobato dos Santos, Pedro Lima Gaspar.....	381
VI-5 —	Patologias em Construções Recentes. Estudo de Casos	
	Pedro Lima Gaspar, António Lobato dos Santos.....	389

Sessão VII	399
VII-1 — Prevenção de Riscos de Falhas na Engil, S. A.	
Romeu Sanches, Rui Campos	401
VII-2 — Renovação de Pavimentos e Fachadas	
Kim Rosenbom, João Garcia	413
VII-3 — Sistema Pericial de Apoio ao Diagnóstico de Patologias em Edifícios	
Rui Calejo, Peter Westcot.....	425
VII-4 — CONDENSE 13788. Condensações em Elementos de Construção	
Pedro Rebelo da Silva	437
VII-5 — Understanding the hygrothermal behavior of a building envelope by using an advanced model (WUFI)	
Andreas H. Holm, Hartwig Künzel, Achilles Karagiozis	445
 Sessão VIII.....	 463
VIII-1 — Metodologia de Diagnóstico Exigencial Aplicada à Reabilitação de Edifícios de Habitação	
João Carlos Gonçalves Lanzinha, Vasco Peixoto de Freitas, João Paulo de Castro-Gomes	465
VIII-2 — Exemplo de Aplicação de um Método de Diagnóstico e Intervenção Desenvolvido para Habitações Rurais	
João Carlos Gonçalves Lanzinha, João Paulo de Castro-Gomes, Vasco Peixoto de Freitas	477
VIII-3 — O Projecto em Intervenções de Conservação do Património Histórico Edificado	
Vasco Moreira Rato	489
VIII-4 — Anomalias em Fachadas de Edifícios Correntes	
Inês Flores Colen, Jorge de Brito	499
VIII-5 — A Intervenção no Património e Práticas de Conservação e Reabilitação	
Augusto José Marques da Costa.....	509
 Workshop — Ensino da Higrotérmica, Patologia e Reabilitação de Edifícios em Portugal	 515

FCTUC	
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.....	519
FCTUNL	
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.....	521
FEUP	
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	523
UA	
Universidade de Aveiro	525
UBI	
Universidade da Beira Interior.....	527
UTAD	
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	529
ESTT-IPT	
Instituto Politécnico de Tomar.....	531
ESTV-IPV	
Instituto Politécnico de Viseu.....	533
IP	
Instituto Piaget de Mirandela.....	535
IPA	
Instituto Politécnico Autónomo	537
ISEP-IPP	
Instituto Politécnico do Porto	539

Workshop — Potencialidades Laboratoriais no Domínio da Higrotérmica em Portugal 541

CTCV	
Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro	545
FCTUNL	
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.....	547
FEUP	
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto	549
LNEC	
Laboratório Nacional de Engenharia Civil.....	551

Teses de Doutoramento e Dissertações de Mestrado Concluídas e em Curso no Domínio da Higratérmica, Patologia e Reabilitação de Edifícios.....	553
FCTUC	
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra	557
FEUP	
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.....	559
LNEC	
Laboratório Nacional de engenharia Civil	563
UM	
Universidade do Minho	567
UTAD	
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro	569
Lista de Autores	571



PALESTRAS

PLASTAS



PATOLOGIA DE EDIFÍCIOS

Porque se Repetem os Insucessos?

Canha da Piedade*

Correio electrónico: canha@civil.ist.utl.pt

Resumo

A patologia de edifícios pode hoje considerar-se um ramo da ciência da construção, em grande parte derivada da modernização tecnológica induzida no pós-guerra (1939/45) e de alguns insucessos decorrentes de novas soluções tecnológicas. Não deixa, porém, de ser surpreendente que continuem correntemente a fazer parte do cardápio muitos dos insucessos cujo diagnóstico de causas e formas de prevenção são conhecidos há quase cinquenta anos. Limitando-nos aos aspectos referentes a exigências de habitabilidade, onde avultam normalmente as questões relativas a manifestação de humidades — condensações, infiltrações, etc. — disfunções térmicas, deficiências de ventilação, incomodidade devida ao ruído, degradação de aspecto, etc., são inúmeras as situações, do tipo que se exemplificam nas figuras apenas, que se vêm repetindo ao longo dos anos, que na maior parte dos casos seriam previsíveis (e passíveis de serem facilmente evitadas) desde as fases de projecto e/ou construção. O que está então a falhar neste processo? A discussão de algumas das razões possíveis constitui assim o objecto da presente comunicação.

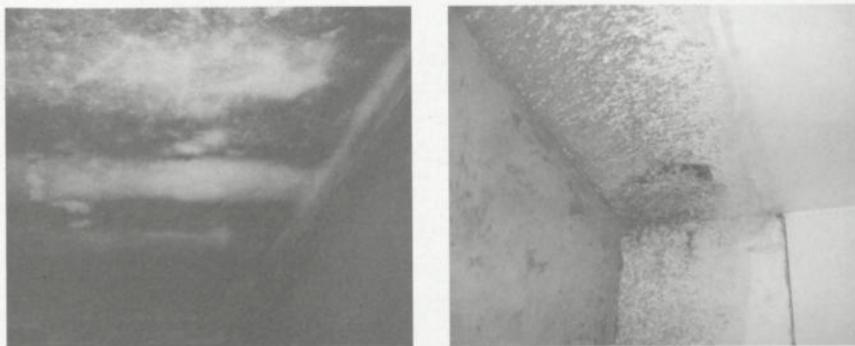
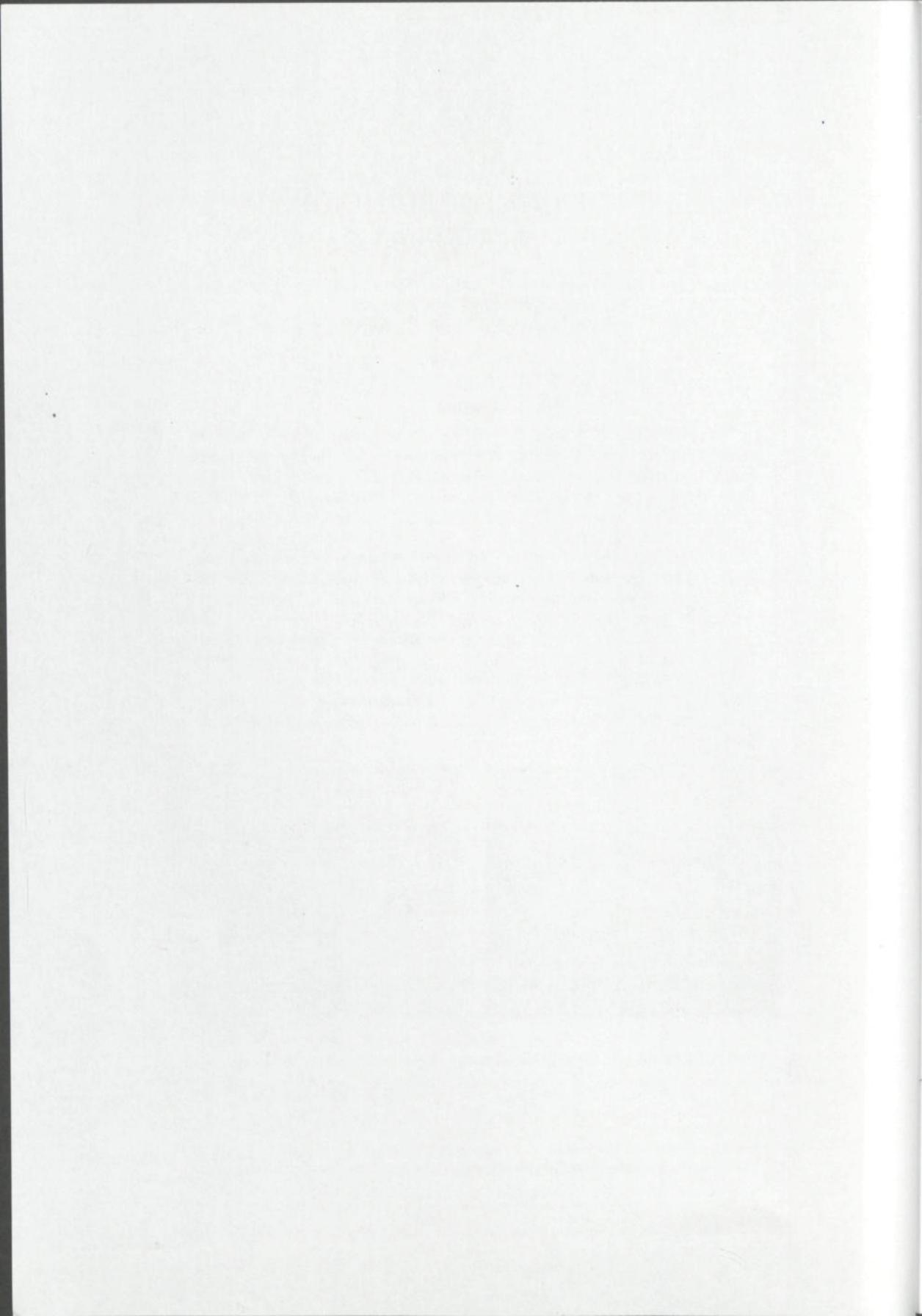


Figura 1: Patologias em edifícios observadas com um intervalo de 20 anos.

* Prof. Associado do Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil.



FENÓMENOS DE HIGROSCOPICIDADE DEVIDOS À PRESENÇA DE SAIS SOLÚVEIS

Fernando M. A. Henriques*
Correio electrónico: fh@fct.unl.pt

Resumo

Os fenómenos de higroscopicidade devidos à presença de sais solúveis nas alvenarias constituem uma situação corrente em edifícios antigos, cuja solução é particularmente difícil ou mesmo impossível. Tal é devido à natureza desses sais, à sua distribuição espacial nas alvenarias e à impossibilidade física de se proceder à sua remoção total.

Nos casos mais simples, soluções de ocultação das anomalias ou de substituições pontuais poderão resolver os problemas do ponto de vista do utilizador. No entanto, existem diversas situações em que estas soluções não podem ser utilizadas, o que implica que o problema não tenha resolução definitiva, mas apenas se possa tentar atenuar os respectivos efeitos.

No presente trabalho descrevem-se genericamente os mecanismos associados a estes fenómenos e analisam-se alguns casos reais paradigmáticos e sintetizam-se as soluções possíveis.

Palavras-chave: Sais solúveis, Higroscopicidade, Patologia.

1 Introdução

A ocorrência de sais solúveis em elementos construtivos determina um dos tipos de anomalias de correcção mais difícil e em certos casos virtualmente impossível. Tal resulta, antes de mais, pela impossibilidade física de remoção desses sais do interior dos materiais porosos onde existam. Um estudo recente [1] no âmbito da conservação de peças museológicas demonstrou que mesmo recorrendo a um processo de lavagem por imersão total continuada, jamais se conseguiu extrair mais do que 50 % a 96 % da totalidade de sais que se sabia existirem nas peças em estudo[†]. Ora no caso de edifícios não é viável qualquer processo deste tipo, pelo não se pode aspirar a mais do que uma pequena re-

* Doutor em Engenharia Civil, Agregado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa.

[†] Peças de material cerâmico que tinham sido impregnadas em laboratório com vários tipos de sais e cujo teor tinha sido previamente determinado com grande rigor. As percentagens apresentadas são referidas a sais diferentes, CaSO₄ no primeiro caso e NaCl no segundo.

moção superficial, por exemplo com compressas de água destilada[†], o que significa que os sais não removidos serão inevitavelmente conduzidos para a zona limpa numa fase posterior. Pode então considerar-se que um elemento de construção com sais solúveis mantê-los-á até ao final da sua vida útil[§].

Ora se a permanência dos sais solúveis é um facto incontornável nos locais em que existam, importa avaliar os seus potenciais mecanismos de degradação. Em termos médios pode considerar-se que os sais solúveis absorvem humidade no estado líquido ou na forma de vapor dissolvendo-se e perdem essa humidade quando em contacto com ambientes secos recristalizando. O valor da humidade relativa para o qual se verifica a transição entre as fases de dissolução e de cristalização é variável em função do tipo de sal, do seu grau de pureza e da eventual combinação com outros tipos de sais. Este último factor determina o abaixamento do nível de humidade relativa necessário para ocorrer a dissolução.

As trocas de vapor de água entre os sais e a atmosfera ocorrem preferencialmente em poros de média ou grande dimensão, tendo sido verificado experimentalmente que os fenómenos de cristalização se verificam em geral em poros com diâmetros da ordem de 1 μm a 10 μm [2]. Sempre que ocorre dissolução, numa primeira fase à superfície dos materiais, a sua porosidade encarrega-se de fazer chegar a frente húmida a zonas mais interiores onde pode dissolver os cristais aí existentes. Inversamente, quando o ambiente externo seca as primeiras cristalizações verificam-se à superfície, ocorrendo posteriormente uma secagem progressiva para o interior com a evaporação que a porosidade possibilita, a qual é acompanhada por um deslocamento da franja húmida para as zonas mais externas.

No caso de se proceder a uma remoção dos sais numa zona de alguns milímetros, os fenómenos mantêm-se de forma equivalente à descrita, na medida em que a porosidade aberta típica dos materiais de construção possibilita a penetração do ar mais húmido até zonas relativamente interiores, onde os sais se dissolvem e iniciam o processo anteriormente descrito.

Correntemente é admitido que a acção degradativa dos sais é resultante do aumento de volume que ocorrerá aquando da sua cristalização — fenómeno comparado à da formação do gelo — o qual, induzindo tensões por vezes elevadas a nível da estrutura porosa, dará origem a um progressivo enfraquecimento da sua capacidade resistente e, em consequência, à sua total perda de

[†] Processo que apenas é justificado em paredes cujo valor artístico ou histórico justifique a utilização deste tipo de metodologias que acarretam inevitavelmente custos elevados.

[§] No estado actual da tecnologia. Devem referir-se algumas tentativas efectuadas num passado recente destinadas a converter os sais solúveis em insolúveis, através de reacções químicas adequadas. Trata-se de uma linha de investigação com grande interesse, mas que até ao presente ainda não produziu soluções para aplicação corrente.

coesão. Uma teoria desenvolvida em 1933 por *Mortensen* [5] defende que a cristalização dos sais não é acompanhada por qualquer aumento de pressão, o qual ao invés apenas acontecerá quando da hidratação dos sais. Este trabalho de desenvolvimento teórico nunca foi, contudo, validado experimentalmente de uma forma conclusiva, pelo que a generalidade dos autores continua a atribuir os mecanismos de degradação aos fenómenos de cristalização.

Este tipo de fenómenos passa-se a uma escala bastante reduzida e, decerto, não traria consequências se a sua ocorrência fosse esporádica. Tal não é o caso, já que as variações de humidade relativa em torno do valor charneira típico de cada sal são uma constante, ocorrendo em condições normais várias vezes no espaço de um dia. Tratam-se portanto de acções de pequena intensidade, mas de frequência continuada ao longo de cada ciclo anual.

O fenómeno de variação da humidade relativa apesar de simples é frequentemente mal compreendido. Com efeito a variação de temperatura num espaço determina uma alteração da humidade relativa sem que seja necessário qualquer acréscimo de vapor de água. Considere-se o diagrama psicrométrico da Figura 1, no qual se representam em abcissas temperatura, em ordenadas humidades absolutas (as quantidades de vapor de água que o ar contém, por unidade de volume) e ainda isolinhas de humidade relativa entre os 20 % e os 100 % (este último correspondente ao estado limite de saturação do ar).

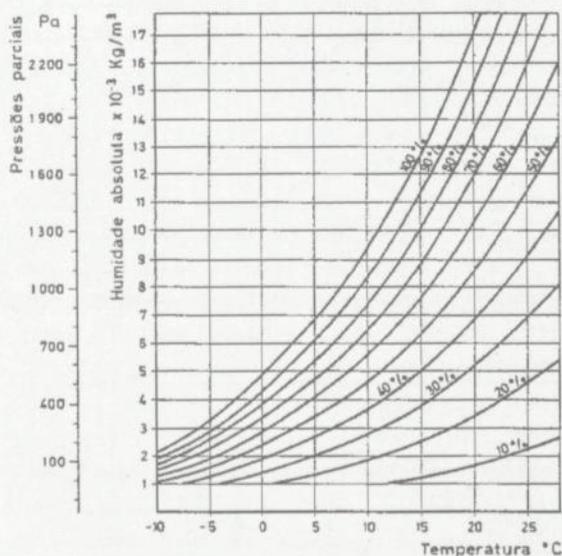


Figura 1: Diagrama psicrométrico.

Se o ar estiver a 20 °C e 60 % de humidade relativa e a temperatura baixar para 15 °C, a humidade relativa passará nesse caso para 80 % sem que haja qualquer acréscimo da quantidade de vapor de água no ar (partindo do ponto inicial 20 °C/60 % traça-se uma linha horizontal — o que significa humidade absoluta constante — até interceptar a linha dos 15 °C e verifica-se que nesse ponto a isolinha corresponde ao valor de 80 % de humidade relativa). Se a temperatura aumentar a humidade relativa diminuirá. Verifica-se, assim, quão fácil é ocorrerem variações de humidade relativa num determinado espaço interior, mesmo que totalmente desocupado.

É sabido que a humidade relativa num ambiente fechado onde exista água líquida atingirá 100 % ao fim de algum tempo^{**}. Se em vez de água existir uma solução de um sal em quantidade suficiente a humidade relativa será mais baixa, atingindo valores mínimos quando a solução salina estiver saturada — situação designada por humidade relativa de equilíbrio. Estes valores são função do tipo de sais e da temperatura ambiente. Assim, é sabido que a 20 °C uma solução saturada de cloreto de sódio tem uma humidade relativa de equilíbrio de 75 %, o nitrato de potássio 92 %, o nitrato de magnésio 53 %, o cloreto de magnésio 33 %. No entanto é raro encontrar-se apenas um determinado tipo de sal num elemento de construção, mas antes dois ou mais tipos, pelo que aqueles valores deixam de ter significado prático, verificando-se antes um patamar no qual ocorrem as transições dissolução cristalização, patamar esse que não é forçosamente limitado pelos valores individuais de cada um dos sais existentes. Por exemplo, uma mistura de cloreto de sódio e de potássio terá um patamar variando entre 72 % e 85 %, enquanto para cada sal isoladamente os respectivos valores são 75 % e 84 %. Tal significa que uma avaliação cuidada das condições de degradação de um elemento construtivo implica a determinação dos tipos de sais solúveis existentes e o cálculo dos respectivos patamares de variação, de acordo com modelos que se encontram disponíveis. Esse grau de rigor não é, contudo, justificável na maioria dos casos de edifícios, encontrando apenas aplicação nas situações de conservação museológica. Assim, é frequente assumir-se o patamar de 60 % a 70 % como correspondente ao limiar de cristalização/dissolução, muito embora se saiba que tal não passa de uma mera aproximação à realidade^{††}.

As metodologias de análise dos problemas devidos à presença de sais higroscópicos em edifícios diferem daquelas que são utilizadas em conservação museológica, dadas as condições diversas que se verificam numa e noutra circunstância. Assim, o diagnóstico dos problemas de higroscopicidade devidos

^{**} Em condições correntes de temperatura.

^{††} Em parte justificada pelo facto de frequentemente existirem fenómenos relacionados com a presença de cloreto de sódio proveniente de águas do mar ou transportado por acção do vento nas zonas costeiras.

à presença destes sais decorre fundamentalmente da identificação de alguma manifestação de humidade activa e da inequívoca compreensão da existência desses sais e das suas principais famílias tipológicas, o que possibilitará uma eventual identificação da sua proveniência.

Antes de mais é necessário compreender que um fenómeno de higroscopicidade não significa necessariamente a existência de outros problemas de humidade. Com efeito, a presença de sais solúveis pode decorrer, por exemplo, de problemas de ascensão de água do terreno que podem estar activos ou ter cessado no passado. De igual forma podem ter como origem a rotura de um tubo de esgoto que entretanto pode ter sido reparado ou simplesmente deixado de ser utilizado. Ou podem mesmo decorrer da utilização de materiais de construção que, à partida, já traziam os sais^{††}.

O diagnóstico de ocorrências de problemas de humidade pode ser feito segundo metodologias consolidadas disponíveis em publicações específicas [3]. A avaliação particular da presença de sais solúveis que possam conduzir à manifestação de fenómenos de higroscopicidade deve obedecer à seguinte metodologia simplificada, de fácil implementação em qualquer laboratório de construção:

- Recolha de amostras em zonas afectadas e não afectadas;
- Avaliação do teor de água das amostras;
- Determinação das higroscopicidades em ambientes secos e húmidos;
- Avaliação qualitativa ou semi-quantitativa dos sais mais correntes.

Cada uma das várias etapas será sucintamente apresentada de seguida.

1.1 Recolha de amostras em zonas afectadas e não afectadas

A recolha deverá ser feita com um pequeno escopro e martelo ou com um berbequim de muito baixa rotação com uma broca de grande espessura (para limitar o efeito de aquecimento e consequente secagem das amostras). As amostras, em geral de pequena dimensão, podem ser recolhidas numa folha de papel bem seco (ou plástico) e colocadas imediatamente em contentores estanques (com dupla tampa) devidamente identificados. É conveniente proceder à recolha de amostras em zonas afectadas e não afectadas (que servirão como padrão aferidor) e eventualmente a diferentes profundidades para permitir avaliar se a eventual contaminação salina ocorre ao longo da espessura do elemento.

^{††} Como é o caso frequente do uso de areia do mar mal lavada ou ainda da deposição dos materiais sobre o terreno sem qualquer protecção durante longos períodos.

Muito embora este processo de recolha de amostras seja destrutivo (embora num grau muito limitado), é sempre possível efectuá-lo, mesmo em zonas com grande valor artístico, como é o caso de superfícies afrescadas. Nestes casos extremos, e pelo simples facto de o elemento estar afectado, ocorrerão inevitavelmente zonas em que a camada pictórica se encontrará destacada, o que configura localizações adequadas à recolha de amostras (em geral é precisamente nessas zonas que as anomalias ocorrem com maior intensidade).

1.2 Avaliação do teor de água das amostras

A avaliação do teor de água das amostras é efectuada através da determinação da variação ponderal em relação à massa seca. Para tanto torna-se necessário dispor de uma balança com sensibilidade adequada e de uma estufa ventilada. O processo é muito simples e consiste na determinação da massa no estado inicial m_h e após secagem m_s calculando-se o teor de água em percentagem a partir da expressão

$$\frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Considera-se em geral que o teor de água é elevado quando supera o valor correspondente à higroscopicidade em ambiente seco. De qualquer modo é prudente determinar teores de água em zonas sãs, que poderão servir como valores de referência.

1.3 Determinação das higroscopicidades em ambientes secos e húmidos

As amostras depois de secas são colocadas durante um a dois dias num ambiente seco caracterizado por uma humidade relativa constante entre 50 % a 60 %, após o que se determina a sua massa m_s . Posteriormente são colocadas num ambiente húmido^{§§} (80 % a 100 % de humidade relativa) durante o mesmo intervalo de tempo e avalia-se a sua massa m_h . A determinação das higroscopicidades para cada um dos ambientes considerados pode ser feita através da expressão

$$\frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

^{§§} Na ausência de uma câmara climática adequada, os diversos ambientes podem ser obtidos com uma caixa de plástico estanque, na qual sejam colocadas soluções saturadas de sais cujas humidades relativas de equilíbrio sejam as desejadas (por exemplo nitrato de magnésio para 53 %). Para o ambiente húmido basta colocar água no fundo da caixa, tendo o cuidado de evitar que eventuais condensações na tampa possam pingar para cima das amostras.

Eventualmente pode ser interessante determinar higroscopicidades para vários tipos de ambientes, o que permite o traçado de curvas de higroscopicidade como as que se apresentam na Figura 2. Das três amostras incluídas é perfeitamente visível o comportamento das duas com sais, que apresentam grandes acréscimos de massa.

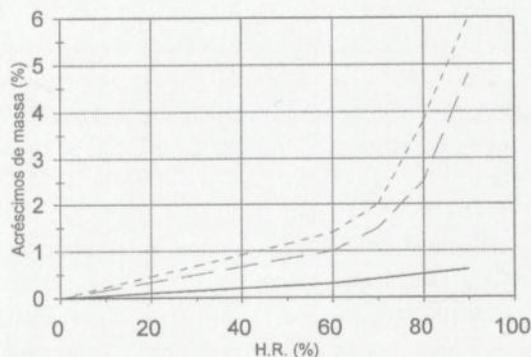


Figura 2: Curvas de higroscopicidade.

Sempre que numa determinada amostra de materiais inorgânicos se verifique um substancial acréscimo de massa entre os condicionamentos nos estados seco e húmido (Figura 2) tal indicará a presença de sais higroscópicos. Inversamente, pequenas variações de massa não indiciarão ocorrências desse tipo. Conhecendo-se a eventual existência de sais solúveis torna-se sempre desejável identificar o tipo químico a que pertencem, o que frequentemente permite ter uma ideia razoavelmente concreta quanto à sua origem.

1.4 Avaliação qualitativa ou semi-quantitativa dos sais mais correntes

Os sais cuja ocorrência é mais frequente em edifícios são os cloretos, os nitratos e os sulfatos. Sabendo-se que estes últimos têm em geral uma acção pouco higroscópica, na medida em que, por exemplo, o sulfato de cálcio bi-hidratado (gesso) apenas sofre dissolução com humidades relativas da ordem de 99 % (a 20 °C) — o que configura situações pouco frequentes —, importa atender sobretudo aos dois primeiros tipos referidos^{***}.

^{***} Deve ter-se em conta que no caso de se utilizar um ambiente saturado (100 % de humidade relativa) na determinação da higroscopicidade o eventual acréscimo de massa pode ser exclusivamente devido à presença de sulfatos, situação que só pode ser cabalmente avaliada através da determinação dos tipos de sais presentes.

A determinação dos tipos de sais existentes pode ser feita qualitativamente ou semi-quantitativamente através de ensaios colorimétricos de execução muito simples ou mediante procedimentos químicos simplificados do tipo referido em [3]. Em qualquer dos casos, os resultados obtidos, apesar de meramente aproximados e com graus de rigor variáveis em função dos métodos usados, são em geral suficientes para informar o tipo de diagnóstico usual em situações deste tipo.

A presença de cloretos está em geral associada à proximidade com ambientes marítimos ou à utilização de materiais em que esses sais se encontravam presentes (como é o caso frequente do uso de areia da praia mal lavada). Em alguns casos particulares os cloretos podem resultar de usos específicos anteriores, como por exemplo instalações de salga. A ocorrência de nitratos decorre em geral da actividade de seres vivos. Por essa razão permitem indiciar eventuais fenómenos de humidade ascendente do solo (sempre rico em nitratos) ou possíveis roturas de canalizações de esgoto.

Muito embora frequentemente ocorram mais do que um tipo de sais simultaneamente, o tipo preponderante permitirá retirar algumas conclusões sobre as suas possíveis origens.

2 Aplicações reais do método

Entre as várias situações que foram analisadas no último decénio, prevalecem aquelas em que as principais causas da presença dos sais higroscópicos já tinham cessado ou sido corrigidas. Surgem nesse grupo, por exemplo, alguns casos que se analisam brevemente.

2.1 Edifício pombalino com mancha de humidade *fantasma*

No ano de 1991 surgiu a situação de um edifício na Praça do Comércio afectado por uma manifestação de humidade pouco corrente. Na escadaria principal de acesso ao primeiro piso surgia em determinadas alturas uma extensa mancha de humidade que tanto podia persistir ao longo de dias ou mesmo semanas, como desaparecer ao fim de algumas horas. O fenómeno intrigava, naturalmente, os ocupantes do edifício que decidiram suscitar a avaliação das respectivas causas. No presente caso não se tratava de um problema com contornos muito importantes, mas fundamentalmente incomodativo do ponto de vista visual (já que provocava alguns destaques de pintura) e, sobretudo, particularmente intrigante.

Efectuada uma visita ao local e recolhidas amostras em número suficiente obtiveram-se os resultados que se apresentam na Tabela 1, onde se incluem a profundidade a que as amostras foram recolhidas (em cm), as higroscopicida-

des em ambientes com humidades relativas de 65 %, 75 % e 85 % (expressas em percentagem) e a avaliação qualitativa dos sais solúveis.

Tabela 1

Amostra	Profund. (cm)	Higrosc. 65 %	Higrosc. 75 %	Higrosc. 85 %	Sulfatos	Cloretos	Nitratos
1	0	2,2	9,6	11,3	±	+++	+++
2	0	6,0	8,3	10,0	-	++	+++
3	5	2,9	4,5	5,7	-	+	++
4	0	4,0	5,6	6,8	±	++	+++
5	5	5,6	7,7	9,2	±	+	+++
6	0	6,8	8,5	8,5	-	-	+
7	0	3,6	4,7	5,3	-	+	++

- ausência de iões
 ± presença de iões no limite da perceptibilidade
 + presença de iões
 ++ presença de iões em quantidade apreciável
 +++ presença de iões como componente principal

Da análise dos valores obtidos resulta clara a ocorrência de fenómenos de higroscopicidade decorrentes fundamentalmente da forte presença de nitratos com uma impregnação profunda na alvenaria (vd. amostra n.º 5). Neste caso não havia evidências de outras manifestações de humidade activas.

O facto de os fenómenos ocorrerem apenas numa zona localizada das alvenarias indiciava a existência de fenómenos muito específicos que vieram a ser identificados como uma possível rotura de um tubo de esgoto proveniente de uma instalação sanitária há muito desactivada. Durante bastante tempo os nitratos (e cloretos) provenientes do uso desse equipamento foram-se espalhando ao longo da parede, produzindo os efeitos referidos. Presumivelmente a rotura terá sido de pequena dimensão, nunca propiciando situações que alertassem para a necessidade da sua correcção.

2.2 Sala abobadada com material cerâmico em desintegração

No presente caso verifica-se a ocorrência de um fenómeno inexplicado de desintegração do material cerâmico que constituía uma abóbada (Figura 3) dum piso intermédio num edifício em Lisboa fronteiro ao Tejo. Algum tempo antes a sala, que se encontrava em mau estado de conservação, foi sujeita a obras de recuperação, nas quais se decidiu remover os rebocos que recobriam integralmente as abóbadas e aplicar um produto de base acrílico-silicónica como consolidante superficial. Após alguns meses iniciou-se um ciclo de ace-

lerada degradação do material cerâmico que recobria de pó vermelho todas as superfícies horizontais ao fim de poucas horas. O caso tornava-se tanto mais complicado quanto a sala em causa se situava longe do piso térreo e afastada da cobertura (existia ainda um piso de separação).



Figura 3: Sala abobadada com problemas de higroscopicidade.

Visitado o local e recolhidas diversas amostras, obtiveram-se na respectiva análise os resultados da Tabela 2, em que os símbolos têm os significados referidos anteriormente.

Tabela 2

Amostra	Higrosc. 75 %	Higrosc. 85 %	Higrosc. 95 %	Sulfatos	Cloretos	Nitratos
1	5,0	6,7	10,0	-	++	++
2	4,5	8,1	9,5	±	+++	++
3	5,2	6,3	8,6	±	+++	++
4	6,1	7,6	10,1	±	+++	
5	2,1	3,0	4,0	-	++	+
6	1,4	2,8	2,9	-	+	++
7	3,1	4,4	4,5	-	+++	++
8	0,3	0,5	0,5	-	±	-
9	0,2	0,4	0,4	-	±	-

Da análise dos dados obtidos ressaltam diferenças evidentes entre o comportamento das amostras recolhidas em zonas não afectadas (n.ºs 8 e 9) e as restantes. Nestas existia uma preponderância de cloretos associados a nitratos, o que indiciava problemas relacionados com águas do Tejo, que nesta zona é já um braço do mar com forte componente de poluição. A questão colocava-se em saber como teria essa água chegado ao tecto de uma sala dum piso intermédio.

Os resultados da higroscopicidade evidenciam claramente a forte concentração salina e justificam os efeitos muito marcados que se verificavam no local (em particular quando comparados com os das amostras de zonas não afectadas). A solução de aplicação do consolidante referido não foi eficaz, na medida em que o seu efeito eminentemente superficial apenas durou alguns meses, não sendo por outro lado capaz de obviar às trocas de vapor entre o ambiente e os sais higroscópicos.

Numa pesquisa posterior foi possível apurar que nos anos sessenta ocorreu um incêndio naquela zona do edifício, o qual terá sido extinto com recurso à bombagem de água do rio. Encontrava-se assim explicada a inusitada concentração salina numa zona tão localizada.

2.3 Galeria exterior com paredes e tectos afrescados

O caso em análise corresponde a uma galeria aberta sobre um jardim, na qual os paramentos das paredes e tectos são recobertos por frescos de grande interesse artístico (Figura 4).



Figura 4: Vista de uma galeria com frescos.

A galeria, situada no Alentejo, apresentava uma cobertura em terraço, no qual foi aplicada em período recente uma cobertura inclinada que assegura um

nível de estantiquidade que nunca deverá ter existido anteriormente. Num dos topos da galeria existe uma pequena capela, também afrescada, cuja porta se encontra em geral encerrada e onde o estado de conservação dos frescos é bastante melhor. De uma forma geral os frescos apresentavam-se cobertos por eflorescências, com alguns destaques e perdas da camada pictórica de relevância variável.

No decurso dos trabalhos efectuados recolheram-se 16 amostras para ensaio, correspondente a pontos de amostragem com diversas localizações e a alturas e profundidades diferentes (no âmbito da avaliação da existência de fenómenos de migração de água activos). Dos resultados obtidos apresentam-se alguns dos mais significativos na Tabela 3.

Tabela 3

Amostra	Profundid. (cm)	Higrosc. 60 %	Higrosc. 90 %	Nitratos mg/l	Cloretos mg/l	Sulfatos mg/l
3	2	0,5	10,9	0,982	1,473	1,964
5	10	1,2	2,1	0,024	0,315	0,197
8	0	3,1	17,6	1,377	8,264	2,755
9	0	1,0	13,5	2,139	6,417	4,278
10	0	1,4	18,7	3,205	9,615	6,410
11	2	4,0	21,1	-	-	-
14	10	4,7	6,0	-	-	-

As concentrações significativas de sais, em especial cloretos e nitratos justifica os resultados particularmente gravosos dos ensaios de higroscopicidade. É especialmente relevante o facto de a amostra n.º 5, recolhida bem no interior da parede, apresentar concentrações salinas mais baixas e higroscopicidades negligenciáveis, o que significa que, pelo menos nessa zona, não terão ocorrido fenómenos de migração de água no interior dos elementos (situação que já não se verifica no caso da amostra n.º 14).

Simultaneamente, e tendo em conta que o microclima da galeria é directamente influenciado pelas condições ambientes exteriores, com a particularidade adicional da existência de um jardim anexo com efeitos consideráveis de sombreamento e evapo-transpiração, foi efectuado um registo das temperaturas e humidades relativas ao longo de um mês, através do qual foi possível constatar as variações quotidianas frequentes acima e abaixo do valor charneira de 70 %. Esse registo, que ocorreu num período de pouca pluviosidade, pôs em relevo as condições particularmente gravosas em termos de conservação a que as superfícies pintadas se encontram sujeitas. O facto de na pequena capela os frescos se apresentarem com melhor estado de conservação é em si mesmo si-

gnificativo da importância que assume uma maior constância da humidade relativa na vizinhança da parede. Tal como nos casos anteriores, também neste não surgiram evidências de processos activos de migração de água, o que não significa que pontualmente não possam ocorrer.

3 Análise das situações apresentadas

Os três casos descritos anteriormente configuram outros tantos tipos de situações distintas, do ponto de vista da correcção dos problemas existentes, desde o primeiro de resolução bem simples, até ao último de solução virtualmente impossível (em termos satisfatórios).

Sempre que tal seja viável, a solução mais simples e económica consiste na ocultação das anomalias. Os sais persistem, mas visualmente os problemas deixam de se materializar, com a vantagem de essa solução de ocultação poder criar em alguns casos um nano-clima junto à parede afectada, caracterizado por um menor número de variações da humidade relativa e, conseqüentemente, dos ciclos de degradação. A solução de ocultação consiste em criar uma nova parede, fisicamente separada da existente, ou, na situação do primeiro caso, remover uma parte da espessura da parede numa zona mais alargada do que a afectada e refazer o paramento deixando um espaço de ar no tardo. Em qualquer caso torna-se necessário que as zonas de contacto sejam tratadas para impedir a migração de água que transporte os sais solúveis.

Em algumas circunstâncias as soluções de ocultação referidas não são viáveis, o que sucede em particular nos casos de superfícies curvas ou de geometrias complexas (como é o caso da segunda situação descrita). Aí não restarão alternativas à ponderação sobre o eventual emprego de um dos aditivos para rebocos que existem no mercado, os quais tentam aumentar a sua porometria (para dessa forma permitirem maior espaço para a cristalização e, conseqüentemente, menores tensões nos materiais) ou, simplesmente, aumentar as resistências mecânicas e a aderência como forma de resistir à acção degradativa da cristalização. Em geral estes produtos são aplicados a argamassas de cimento, o que se traduz por comportamentos mecânicos muito diversos dos das alvenarias antigas e, potencialmente, nefastos para a sua integridade.

Em situações extremas, como a que se referiu no terceiro caso apresentado, a própria necessidade de manter à vista as superfícies existentes introduz um grau de complexidade que dificulta ou mesmo impossibilita a implementação de qualquer situação satisfatória. No caso referido, as únicas medidas razoáveis consistiriam no recobrimento dos frescos com uma caiação espessa ou uma argamassa muito fraca, as quais funcionariam como superfícies onde ocorreriam os fenómenos e degradação (solução que implicaria a perda de visibilidade dos frescos) ou então o encerramento da galeria e a instalação de um equipamento de condicionamento que permitisse manter a humidade relativa

sempre em valores baixos. Esta última hipótese implicaria uma alteração drástica nas características arquitectónicas do edifício e a instalação de equipamentos de custo significativo que deveriam funcionar em permanência. Nas sendo viáveis estas hipóteses, restam soluções intermédias de dessalinização a intervalos regulares, associadas à criação de condições que permitam o encerramento das zonas em causa pelo menos nos períodos de maior variação de temperatura (com as consequentes variações de humidade relativa) ou de maior humidade.

4 Conclusões

É particularmente difícil obter resultados satisfatórios em situações de presença de sais solúveis higroscópicos em alvenarias antigas, excepto naqueles em que seja viável a implementação global de soluções de ocultação, como por exemplo através da duplicação das paredes ou dos tectos. Em situações limites as soluções não passarão de paliativos que permitirão ir retardando no tempo os efeitos da ocorrência dessas manifestações patológicas.

5 Bibliografia

- [1] Freedland, J. & Charola, E. *Salts in ceramic bodies III. An experimental study on desalination*. Zurich: International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, 7 pp. 149-160, 2001.
- [2] Charola, Elena. *Salts in the deterioration of porous materials: an overview*. Washington: Journal of the American Institute for Conservation 39 pp. 327-343, 2000.
- [3] Henriques, F. A. *Humidade em paredes*. Lisboa: LNEC, 1994 (3.^a edição 2001).
- [4] Henriques, F. A. *The effects of soluble salts on a vaulted ceiling*. 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Lisboa, Junho de 1992.
- [5] Mortensen, H. *Die salzsprengung und ihre bedeutung für die regional-klimatische gliederung der wüsten*. Dr. A. Petermanns Mitteilungen. Gotha: Justus Perthes. 79:130-35. Citado por [2].

PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Estratégias Para o Futuro

Vasco Peixoto de Freitas^{*}
Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

Muito embora haja uma preocupação crescente com a qualidade da construção, traduzida pela introdução de regulamentação específica na área do conforto, verifica-se que os edifícios construídos nos últimos anos não apresentam a qualidade esperada. Pode mesmo afirmar-se que há alguns milhares de fogos, construídos recentemente, com patologias muito graves que condicionam a sua utilização.

O deficiente comportamento dos edifícios, em particular da sua envolvente, deve-se a uma ausência de compatibilização das múltiplas exigências e à ausência de uma pormenorização construtiva adequada. Por outro lado, os erros de execução são múltiplos, quer pela insuficiente qualificação das equipas que executam os diversos trabalhos, quer pela forma como está organizado o sector de construção.

A falta de sistematização do conhecimento, a ausência de informação técnica, a inexistência de um sistema efectivo de garantias e de seguros, a velocidade exigida ao processo de construção, as novas preocupações arquitectónicas, a aplicação de novos materiais, sem que previamente tenha havido um estudo de caracterização experimental do seu desempenho, a não existência na equipa de projecto de um especialista em física das construções são, também causas, fundamentais da não qualidade dos edifícios.

Nestas circunstâncias, será da maior importância uma reflexão profunda sobre as causas da patologia da construção em Portugal, bem como definir uma estratégia, a médio prazo, para a melhoria da qualidade e durabilidade dos edifícios, em particular, da sua envolvente.

O investimento na reabilitação e conservação de edifícios em Portugal é extremamente reduzido, não atingindo sequer os 10 % do investimento total do sector da construção, contrariamente a muitos países da União Europeia em que esse sector corresponde a uma fatia superior a 40 %. A ausência de investimento na reabilitação tem como consequência a degradação dos centros urbanos e da qualidade de vida dos cidadãos.

Consideramos que é necessário inverter esta situação nas próximas décadas o que exige: o desenvolvimento de metodologias para a elaboração de projectos de reabilitação de edifícios, a implementação de estudos de dia-

^{*} Professor Catedrático, Director do Laboratório de Física das Construções, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

gnóstico suportados por medições *in situ* e em laboratório, o conhecimento das patologias mais correntes, o conhecimentos do desempenho dos materiais e tecnologias utilizadas em reabilitação, bem como a elaboração de cadernos de encargos exigenciais suportados por manuais exigenciais.

Nesta comunicação procura-se fazer um diagnóstico objectivo da problemática da patologia e reabilitação de edifícios apresentando simultaneamente estratégias para o futuro.

Palavras-chave: Patologia, Reabilitação, Construção, Edifícios.

DOS PROBLEMAS AOS PRINCÍPIOS NA CONSERVAÇÃO, RESTAURO E RENOVAÇÃO DE REVESTIMENTOS EXTERIORES EM CENTROS HISTÓRICOS

José Aguiar*

Correio electrónico: jaguiar@lneec.pt

Resumo

Os revestimentos exteriores de paredes são camadas sacrificiais e de expressão estética com grande relevância no comportamento físico e para a percepção visual da arquitectura.

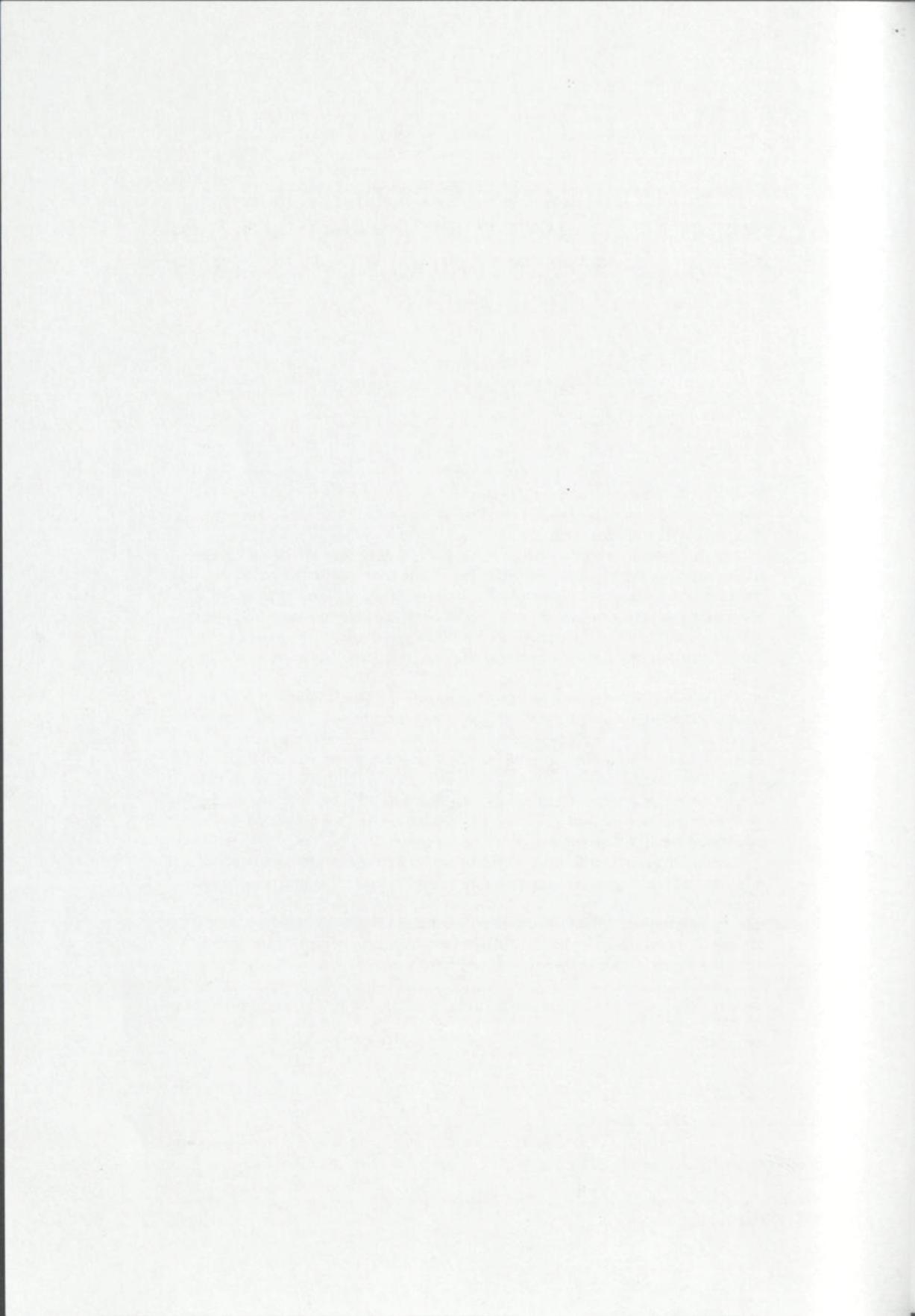
Do desaparecimento da cultura artesanal que lhes deu origem e da sua substituição por uma cultura industrial que impõe o consumo quase exclusivo de materiais e técnicas modernas, resultaram efeitos devastadores sobre a qualidade estético-histórica e imagem do nosso património urbano, tantos quantos os que resultam dos preconceitos culturais (avidez pelo novo) e ignorância construtiva de muitos protagonistas dos processos ditos de *reabilitação*.

O problema parece simples mas na realidade é substancialmente complexo apresentando matizes teóricas ainda não totalmente resolvidas (no já tradicional conflito entre a conservação estrita, restauro e renovação); impactos socioculturais, económicos e políticos óbvios (pela grande visualidade do tema); importantes carências de conhecimento e de investigação; e ainda claras necessidades de reformulação nas metodologias de projecto e da construção, perante a incoerências dos conceitos de *apresentação* e a não compatibilidade dos materiais e técnicas que hoje mobilizamos.

Nesta conferência procura-se reflectir sobre alguns dos aspectos enunciados, apresentando-se alguns exemplos de situações *tipo* ou limite, procurando descortinar os principais problemas existentes e alguns dos novos caminhos que ainda temos de trilhar. Conclui-se lembrando alguns princípios essenciais que importa nunca esquecer quando pretendemos operar dentro de uma verdadeira praxis do *restauro e/ou de conservação*.

Palavras-chave: Conservação, Revestimentos, Patologia, Património Urbano.

* Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios; Professor Auxiliar da CEUL.



CONCEBER EDIFÍCIOS DURÁVEIS

Fernando A. Branco*

Correio electrónico: fbranco@civil.ist.utl.pt

Resumo

A degradação dos edifícios e a perda de funcionalidade estão cada vez mais a originar largos investimentos na área da reabilitação. Os orçamentos para conservar os edifícios são sempre reduzidos, pelo que habitualmente apenas alguns dos problemas existentes podem ser reparados. Para se detectar os problemas e para desenvolver um sistema racional de manutenção e reabilitação, têm vindo a ser desenvolvidos, nos últimos anos, sistemas de gestão que já foram implementados em diversos países.

Este artigo apresenta o conceito da gestão dos edifícios de uma forma integrada, começando por considerar as fases de projecto e de construção, onde têm de ser tomadas medidas importantes para assegurar uma longa vida útil para o edifício. Os sistemas de gestão surgem então durante a fase de serviço na sequência das medidas anteriormente adoptadas, devendo utilizar processos de decisão que considerem o estudo económico do ciclo de vida do edifício.

Palavras-chave: Durabilidade, Concepção, Gestão.

1 Introdução

A importância da manutenção/reabilitação dos edifícios em relação à construção de novos edifícios está a gerar preocupação nos departamentos governamentais responsáveis e nas entidades privadas gestoras de património. Isto resulta quer da elevada taxa de deterioração que se tem observado em algumas construções, quer da redução na sua funcionalidade com baixas condições de habitabilidade. As razões da degradação resultam de um deficiente projecto, falta de controle de qualidade durante a construção e ainda da falta de realização de inspecções e manutenção periódicas.

Os edifícios novos continuam a ser construídas com uma perspectiva do custo mínimo inicial para garantir a funcionalidade definida. A maioria dos edifícios é construída para ser vendida após a execução, pelo que o dono de obra inicial não está interessado em investir em durabilidade já que os custos de manutenção não lhe caberão. Esta situação leva frequentemente à constru-

* Prof. Catedrático do Instituto Superior Técnico.

ção de edifícios que são difíceis de inspeccionar e manter, ou que são frequentemente reparados, porque o projecto não considerou os aspectos de durabilidade.

Os custos de reabilitação de um edifício deficiente ou com deficiente funcionalidade podem ser proibitivos, em geral bem maiores que construí-lo mais durável desde o início. Os orçamentos para as obras de reabilitação são sempre limitados, pelo que os donos têm sempre de fazer opções pelas situações mais graves. É para ajudar nestas decisões que começaram a surgir, recorrendo à experiência desenvolvida para as pontes, os sistemas de gestão de edifícios [6].

O volume de edifícios que necessitam de ser inspeccionadas e o aumento dos custos de manutenção/reparação levam numa primeira fase à implementação de sistemas de normalização dos procedimentos, nomeadamente à realização de manuais de inspecção e à criação de ficheiros de dados. A experiência adquirida com essas estratégias tem vindo entretanto a ser usada para implementar novos sistemas de gestão em que o critério humano é substituído por conhecimento pericial fornecido aos computadores. Nestes sistemas o módulo principal contém critérios de decisão que apontam para as melhores estratégias de reparação tendo em conta a segurança, durabilidade, funcionalidade e economia [8, 9].

Os donos de edifícios começaram também a perceber que para aumentar a vida útil dos edifícios e reduzir os custos de manutenção, deviam ser implementadas acções desde o projecto e da construção, além de adoptar os sistemas de gestão para a fase de serviço.

Neste artigo apresenta-se simplificada uma metodologia para analisar os edifícios desde o projecto até à fase de serviço, em termos de durabilidade. O processo inicia-se com um projecto de durabilidade, seguindo-se um conjunto de procedimentos durante a construção para garantir as especificações definidas.

Durante a fase de serviço, a gestão da manutenção do edifício é realizada com um sistema pericial que permite: armazenar toda a informação de projecto, construção e inspecções *in situ*; normalizar os procedimentos e relatórios relativos às inspecções; apoiar os responsáveis nas tomadas de decisão sobre trabalhos de manutenção/reparação, tendo em conta os aspectos de segurança e economia.

Refere-se ainda que o investimento na durabilidade dos edifícios apresenta-se neste início de século como uma das formas mais importantes de investimento na construção sustentável já que é a principal medida para reduzir os gastos energéticos associados às novas construções resultantes da substituição dos edifícios obsoletos.

2 Definição Inicial da Vida Útil

A duração da vida útil depende da deterioração dos materiais e da quebra nas condições de funcionalidade do edifício. Se não ocorrerem problemas de degradação dos materiais a vida útil termina quando os benefícios obtidos da exploração são ultrapassados pelos custos funcionais e de manutenção.

Os edifícios correntes actuais são habitualmente projectados para vidas de 50 a 60 anos no entanto tem-se cada vez mais edifícios com uma duração de 100 a 120 anos.

A noção de vida útil de 50 anos está associada aos conceitos definidos no R. S. A., que estabelece uma probabilidade de colapso da estrutura do edifício para aquele período de vida. No entanto o edifício poderá existir durante mais tempo, apenas a probabilidade de colapso irá aumentando. Em paralelo a este conceito de segurança estrutural existe o problema da degradação dos materiais que leva à deterioração dos materiais estruturais e portanto também ao aumento da probabilidade de colapso.

Além da vida útil estrutural existe a vida útil funcional que está associada à degradação das condições de habitabilidade e que é frequentemente associada a problemas com impermeabilizações, canalizações, revestimentos, caixilharias, etc. Os materiais destes acabamentos têm vidas úteis inferiores às da estrutura e portanto a sua manutenção tem de ser gerida eficazmente. Existe ainda perda de funcionalidade em resultado da evolução dos equipamentos implicando novas soluções para cablagens, sistemas de aquecimento, etc.

O ciclo de vida de um edifício tem as fases de planeamento, projecto, construção, operação, manutenção, reparação e demolição. Durante estas fases os donos de obra, o projectista, o empreiteiro e a equipa de manutenção serão responsáveis pela durabilidade e comportamento funcional do edifício, cada um com actividades específicas.

Na fase de planeamento, o dono de obra deverá definir a vida útil que se pretende para a obra e acabamentos. Esta vida corresponde ao período desde a sua inauguração até se atingir a degradação especificada ou um nível de deficiente funcionamento, considerando que haverá uma manutenção corrente. É este período que justifica economicamente a construção do edifício, considerando os correspondentes benefícios funcionais. Tal pode ser quantificado pelas rendas e pela valorização do próprio prédio.

A estimativa da vida útil com base na degradação dos materiais, deve ser cada vez mais analisada na fase de projecto no âmbito do projecto de durabilidade, pois é aqui se definem a grandes opções sobre a durabilidade do edifício.

3 Projecto de Durabilidade

Na fase de projecto devem ser realizados estudos para garantir que se atingirá a vida útil definida, tendo em conta os fenómenos de deterioração. Isto tem de ser incluído no projecto de durabilidade, cujas principais recomendações devem ser indicadas nas especificações técnicas.

A vida útil, definida na fase inicial, deverá ser atingida nos principais elementos estruturais com uma manutenção regular. No entanto os elementos dos acabamentos terão uma vida útil diferente da global, por vezes inferior, o que levará a trabalhos de reparação, aspecto que deverá ser também analisado no projecto de durabilidade.

3.1 Estimativa da vida útil estrutural

A estimativa da vida útil dos edifícios com base na deterioração dos materiais é um problema complexo, sujeito a grande investigação em muitos países do mundo [1, 3]. Essa estimativa inclui a definição dos estados limites associados ao fim da vida útil, a caracterização do ambiente, o estudo dos fenómenos de degradação e a definição de modelos matemáticos para simular essas degradações.

Nas edifícios correntes, os principais mecanismos de degradação da estrutura, e portanto da vida útil global, estão associados às seguintes situações:

- Carbonatação;
- Ataque de cloretos em ambientes salinos.

Nas estruturas correntes, com vidas úteis da ordem dos 50 a 60 anos, as Normas Europeias [3] definem características ambientes para cada mecanismo de degradação, com base nos quais existem recomendações para ser aplicadas às características do betão (quantidade de cimento, relação água/cimento, resistência) e recobrimentos de armaduras para se atingir a esperada vida útil.

Sempre que se pretendam para a estrutura vidas úteis maiores (100 a 120 anos), não há regulamentos aplicáveis. Aqui o estudo da vida útil da estrutura tem de ser realizado com base na deterioração dos materiais, nas condições ambientais e nas condições limite definidas, usando modelos matemáticos para a deterioração [2]. Estes modelos foram desenvolvidos essencialmente para a carbonatação e para o ataque dos cloretos.

A carbonatação do betão é causada pela reacção do CO_2 da atmosfera com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dos produtos da hidratação do cimento, na presença de água. O resultado é a perda de alcalinidade do recobrimento do betão e quando se atingem valores de pH próximos de 9 a 10, inicia-se a corrosão. A penetração do CO_2 nos poros do betão desenvolve-se numa frente que avança com uma velo-

cidade quantificada pelo coeficiente de difusão do CO₂ [1, 2]. A evolução da frente de carbonatação d pode ser estimada por:

$$d = K\sqrt{t} \quad (1)$$

onde t é o tempo em anos e K é o coeficiente de carbonatação que depende da efectiva difusão do CO₂ através do betão. Com base em ensaios, o coeficiente K tem valores entre 1,0 mm/ano^{0,5} e 1,5 mm/ano^{0,5} para situações correntes, mas cresce para 7,0 mm/ano^{0,5} e 8,0 mm/ano^{0,5} para betões permeáveis e ambientes industriais [2].

Para o ataque dos iões cloro, a sua penetração no betão pode ser razoavelmente simulada pela lei de difusão de *Fick*. A solução da equação diferencial, tendo em conta a variação com o tempo, do coeficiente de difusão dos cloretos D_c (cm²/s), leva à seguinte equação, dando a concentração de cloretos $C(x,t)$ dentro do betão à profundidade x (cm) e tempo t (s):

$$C(x,t) = C_0 \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{\frac{D_c \cdot t^{1-m}}{1-m}}} \right) \right] \quad (2)$$

onde C_0 é a concentração de cloretos à superfície (percentagem do peso de cimento que é cerca de 1,6 % em condições de exposição ao ar), *erf* é a função erro e m uma constante empírica ($m = 0,4$) [2].

A equação apresentada pode ser usada para estimar o tempo para o início da corrosão, para um recobrimento dos varões x , considerando a concentração superficial de cloretos, usando o coeficiente de difusão dos cloretos (obtido experimentalmente) e considerando que a corrosão no aço habitualmente inicia-se para valores de cerca de $C = 0,4$ % (percentagem de peso do cimento).

Depois da fase de iniciação, a evolução do diâmetro dos varões D_t (no tempo t) devida à corrosão pode ser estimada por [2]:

$$D_t = D_i - 0,023 t I_c \quad (3)$$

Onde D_i é o diâmetro inicial do varão, t é o tempo em anos, I_c (μA/cm²) é a taxa de corrosão com valores variáveis entre 1×10^{-1} μA/cm² e 1×10^2 μA/cm². A grande variação destes valores torna a avaliação da evolução da corrosão difícil, a menos que se utilizem medições *in situ*.

Com estes modelos pode-se estimar a evolução da degradação da estrutura e definir especificações para os materiais, nomeadamente em termos das propriedades do betão e do recobrimento das armaduras. Podem ainda ser adoptadas técnicas alternativas (protecção catódica, inibidores, pinturas epoxy, etc.) para protecção das armaduras, que deverão ser objecto de estudos económicos

para serem aplicadas. Pode-se referir que para vidas úteis longas a resistência do betão a adoptar é habitualmente controlada pela durabilidade e não pela segurança estrutural.

Nas estruturas metálicas a vida útil pode ser estimada com base em taxas de corrosão. Nestas estruturas para se atingir a vida útil esperada deve ser adoptada uma espessura adicional que considere a parte que vai ser corroída durante a fase de serviço.

3.2 Monitorização

Como os actuais modelos de simulação da degradação da estrutura ainda não são suficientemente fiáveis, é necessário implementar também um sistema de monitorização, definido na fase de projecto. A monitorização permitirá obter periodicamente o valor dos parâmetros principais que controlam a degradação, nomeadamente a profundidade de carbonatação, o teor de cloretos, os níveis de corrosão, etc., que permitirão actualizar os modelos de previsão adoptados em projecto

Além dos aspectos de durabilidade, os edificios importantes deverão também ser monitorizadas para se acompanhar o seu comportamento estrutural ao longo da fase de serviço. Isto permitirá, em situações de anomalias, ou mesmo acidentes (vento ou sismo), tomar decisões rápidas sobre a sua segurança.

3.3 Vida útil e flexibilidade dos acabamentos

A vida útil definida na fase inicial é esperada ser atingida nos principais elementos estruturais, com uma manutenção corrente. No entanto cada componente do edificio terá a sua vida útil, em geral inferior à vida útil global, o que levará a obras de reparação durante a fase de serviço (canalizações, juntas, impermeabilizações, revestimentos, etc., são elementos que tipicamente têm vidas mais curtas).

A análise da durabilidade destes elementos deverá ser feita na fase de projecto, definindo os tempos de substituição e os parâmetros indicadores da sua degradação. Infelizmente são raros os modelos de deterioração para a maioria dos acabamentos e apenas se consegue estimar os tempos de vida útil, muitas vezes em resultado de experiências anteriores de aplicação.

Todos estes componentes que necessitarão de ser substituídos ao longo da vida do edificio devem ser projectados com flexibilidade, o que significa que a sua substituição/reparação deverá poder efectuar-se com um mínimo de perturbações na habitabilidade do edificio. São exemplos soluções de substituição rápida de canalizações, ou aplicações de impermeabilizações por pinturas exteriores.

Se se prever em projecto um eventual aumento da funcionalidade do edificio (suportar maiores cargas), tal deverá também ser contemplado na fase de

projecto sobredimensionando alguns elementos estruturais, ou deixando soluções que permitam realizar esse reforço (por exemplo bainhas para cabos de pré-esforço adicionais).

3.4 Especificações técnicas e plano base de manutenção

Os aspectos atrás referidos sobre durabilidade devem ser apresentados num conjunto de especificações técnicas (especificações de durabilidade) para os materiais e componentes do edifício, incluindo a definição dos ensaios a realizar e os parâmetros de durabilidade que devem ser atingidos com os materiais. Tendo em conta a vida útil estimada para o edifício, deverá também ser elaborado um plano base de inspecções periódicas.

3.5 Reciclagem dos materiais

A estrutura dos edifícios actuais sendo feita de um material composto quase uniforme (aço e betão), pode ser reciclada no fim da vida útil. O aço pode ser refundido e o betão origina agregados reciclados que podem ser aplicados em bases de estrada ou num novo betão.

O mesmo acontece com muitos dos acabamentos (vidro, alumínio, cerâmicas, madeiras, etc.), que podem e devem ser reciclados. A concepção utilizando materiais que permitem a reciclagem é também um factor importante para o desenvolvimento de uma construção sustentável.

4 Construção com Durabilidade

Durante a fase de construção, um bom controle de qualidade é o melhor processo para se garantir a vida útil planeada. O controle de qualidade deve ser realizado pelo empreiteiro e verificado pela fiscalização, devendo manter-se o contacto com o projectista para análise das anomalias. Nesta fase as principais actividades relacionadas com a durabilidade são as seguintes.

4.1 Estudo inicial das propriedades dos materiais estruturais

Antes de se iniciarem as betonagens o empreiteiro deverá estudar as composições do betão de modo a atingir as características especificadas em termos de durabilidade. Isto é particularmente importante porque os ensaios de durabilidade demoram bastante tempo, pelo que devem ser realizados o mais cedo possível.

Além do estudo inicial das propriedades, deve existir um controle de recepção dos materiais e posteriormente durante a construção devem ser feitos ensaios de confirmação da uniformidade da produção [3].

4.2 Controle *in situ*

O controle dos materiais deve também ser feito *in situ* de modo a verificar-se se as características de durabilidade se mantêm. Este controle periódico é fundamental para a qualidade da obra final.

O controle de qualidade tem tido desenvolvimentos recentes, onde sistemas periciais podem ser utilizados para definir procedimentos normalizados de controle. Por exemplo se forem detectadas anomalias o sistema sugere ao fiscal os melhores procedimentos para ultrapassar o problema [4].

4.3 Métodos de construção

Os métodos de construção devem ser implementados de modo a garantir os melhores procedimentos para se atingir uma boa durabilidade, nomeadamente na camada superficial do betão dos elementos estruturais [3]. As actividades relacionadas com a vibração, cura, controle de calor de hidratação, etc. são importantes para garantir uma boa durabilidade.

O cumprimento das especificações de aplicação dos acabamentos e a realização de ensaios de funcionalidade são também importantes para garantir a durabilidade das condições de habitabilidade.

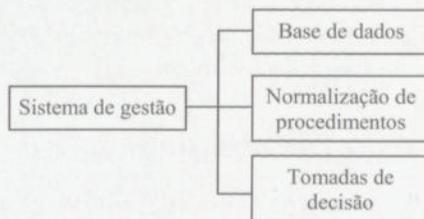


Figura 1: Funções principais de um sistema de gestão.

5 Gestão Durante a Vida Útil

Para garantir o bom comportamento do edifício durante a sua vida útil, diversas medidas de manutenção e reparação serão necessárias. Para conhecer os problemas e racionalizar as intervenções (em termos técnicos e de custos), foram desenvolvidos sistemas de gestão que inicialmente apresentavam apenas uma normalização de procedimentos, como manuais de inspeção e bases de dados. Recentemente esta informação tem vindo a ser integrada em sistemas periciais permitindo a interacção com os operadores.

A arquitectura global de um sistema de gestão deste tipo consiste em 3 tipos de módulos (Figura 1 [5]):

- a) I – Base de dados;
- b) II – Módulo de inspecção;
- c) III – Módulo de decisão.

O módulo de inspecção coordena a informação resultante das inspecções realizadas de acordo com o respectivo calendário. O módulo de decisão usa a informação e conhecimentos periciais para ajudar nas tomadas de decisão referentes a manutenção e/ou reparação. O módulo de decisão está dividido em dois submódulos (Figura 2 [5]):

- a) III.1 – Manutenção;
- b) III.2 – Reparação.

O submódulo de manutenção coordena os trabalhos correntes de manutenção. O submódulo de reparação trata dos trabalhos importantes de reparação. O seu uso permite ao utilizador analisar várias opções de reparação (esperar, reparar, demolir [6]), que são estudadas recorrendo ao ciclo económico da vida do edifício.

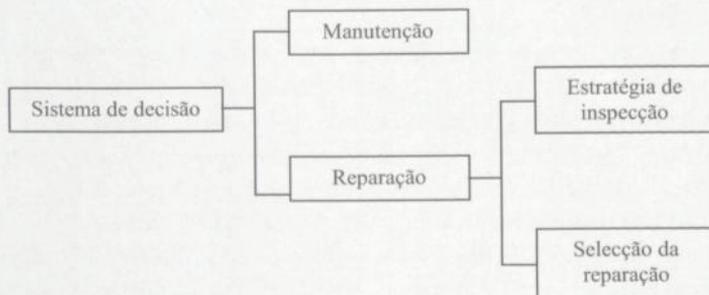


Figura 2: Organização do sistema de decisão.

6 Conclusões

A gestão dos edifícios tem de ser desenvolvida considerando uma fase de projecto onde é realizado um projecto de durabilidade, uma fase de construção com um conjunto de procedimentos que garantam a boa execução e o controle das propriedades especificadas para os materiais, e finalmente uma fase de serviço onde existam sistemas de gestão com módulos de inspecção e de reparação que considerem o ciclo de vida económica da construção como apoio à tomada de decisões.

7 Bibliografia

- [1] Clifton, J. R. *Predicting the Service Life of Concrete*, ACI Materials Journal, pp. 611-617, Nov.-Dec., 1993.
- [2] Mangat, P. S. & Elgarf, M. S. *The Effect of Reinforcement Corrosion on the Performance of Concrete Structures*, BREU P3091 Report T1.4-03, Aberdeen, 1991.
- [3] *Concrete – Performance, Production, Placing and Compliance Criteria*, European Pre-Standard ENV 206, CEN, 7/95.
- [4] Lopes, J.; Branco, F. & Bento, J. *Precast Quality Control Software Manual*, CRAFT CT93-0764 Report T.13, Lisboa, 1995.
- [5] Branco, F. & de Brito, J. *Decision Criteria for Concrete Bridge Repair*, Structural Engineering International, J. Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 5, N.º 2, pp. 92-95, Zurich, Maio 1995.
- [6] de Brito, J. *Desenvolvimento de um Sistema de Gestão de Pontes*, Tese de Doutoramento, IST, Lisboa, 1992.
- [7] Andrey, D. *Maintenance des Ouvrages d'Art: Méthodologie de Surveillance*, Ph. D. Thesis, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 1987.
- [8] de Brito, J.; Branco, F. & Ibañez, M. *A Knowledge-Based System for Concrete Bridge Inspection*, Concrete International - Design & Construction, American Concrete Institute, pp. 59-63, Detroit, Feb. 1994.
- [9] de Brito, J. & Branco, F. *Bridge Management Policy Using Cost Analysis*, Civil Engineering, Structures and Buildings, J. The Institution of Civil Engineers, No. 104, pp. 431-439, London, 1994.
- [10] Luikens, G. *Quantification of and Parameters for Defects, Repairs and Repair Costs for Implementation*, BREU P3091 Report T4-3-21, Hellevoetsluis, 1993.

NEW TECHNOLOGIES AND NEW PATHOLOGIES

Sergio Croce*

Correio electrónico: croce@mail.polimi.it

Resumo

Modern building techniques in Europe are characterized by a high and innovative dynamics related to the use of new material and product.

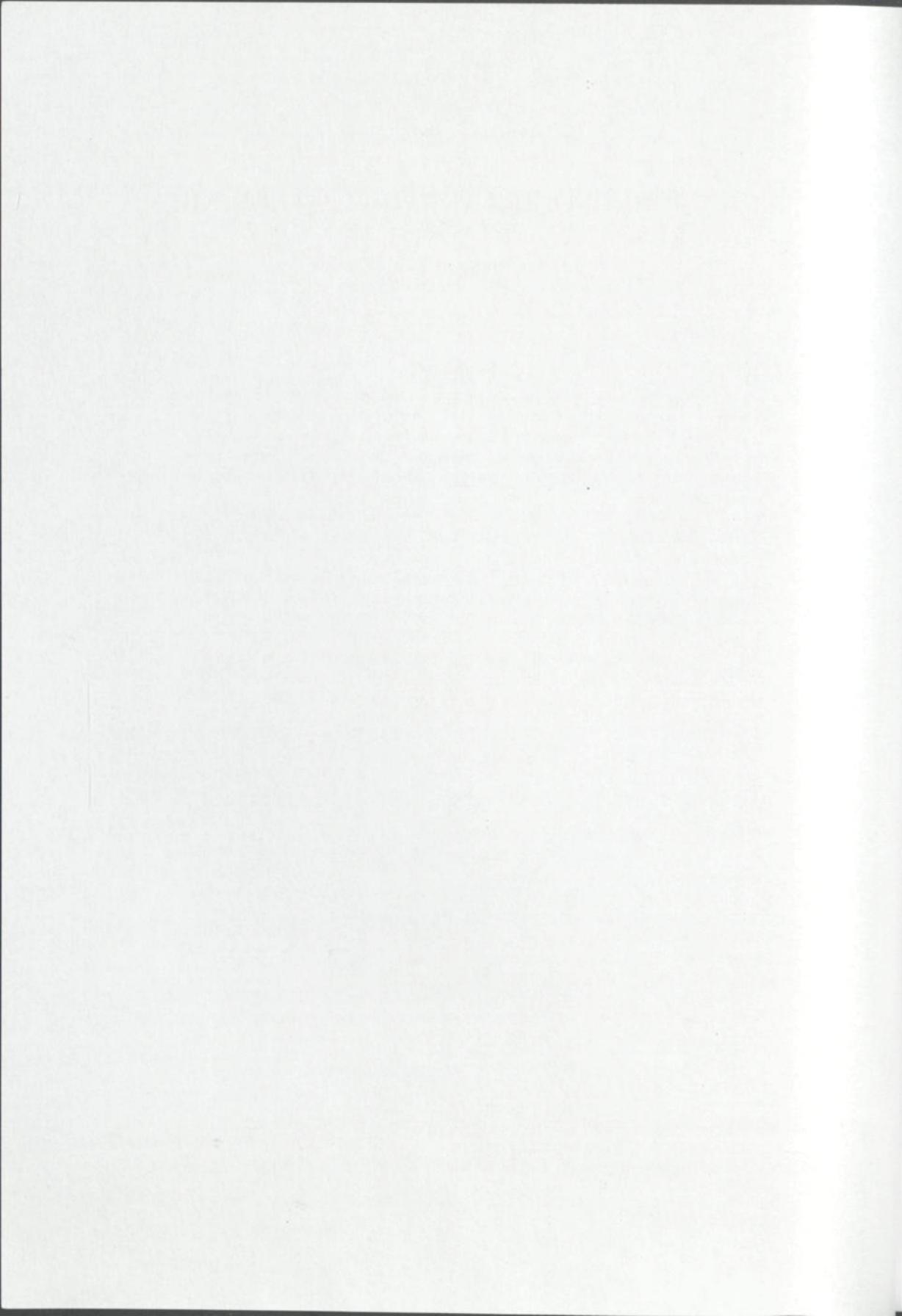
New problems are generated by the application of new products, or the application of old products in new conditions, and by the *contamination* of traditional practice and new technologies sometime imported from other industrial sectors.

This requires improved training in the sectors of building physics, chemistry, and technology of materials, of building pathology, and of economic, managing, and quality-control issues.

A true cultural development of the professional structure is equally crucial, with respect to the skills required by the dynamic progress of new technologies and to the complex design principles following up the new requirements of sustainable development, heavily affecting the building sector.

Frequently new technology application are characterised by new pathologies activated by interactive, synergetic, or simply additive cause-and-effect chains and the interpretation and diagnosis are frequently extremely difficult.

* Politecnico di Milano, Building Environment Science and Technology, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano, Italy. CIB W086 Building Pathology, Coordinator.



BUILDING PATHOLOGY AT THE BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT, UK

Case Studies, Data Bases and Feedback to the Construction Industry

Peter Trotman*

Correio electrónico: trotman@bre.co.uk

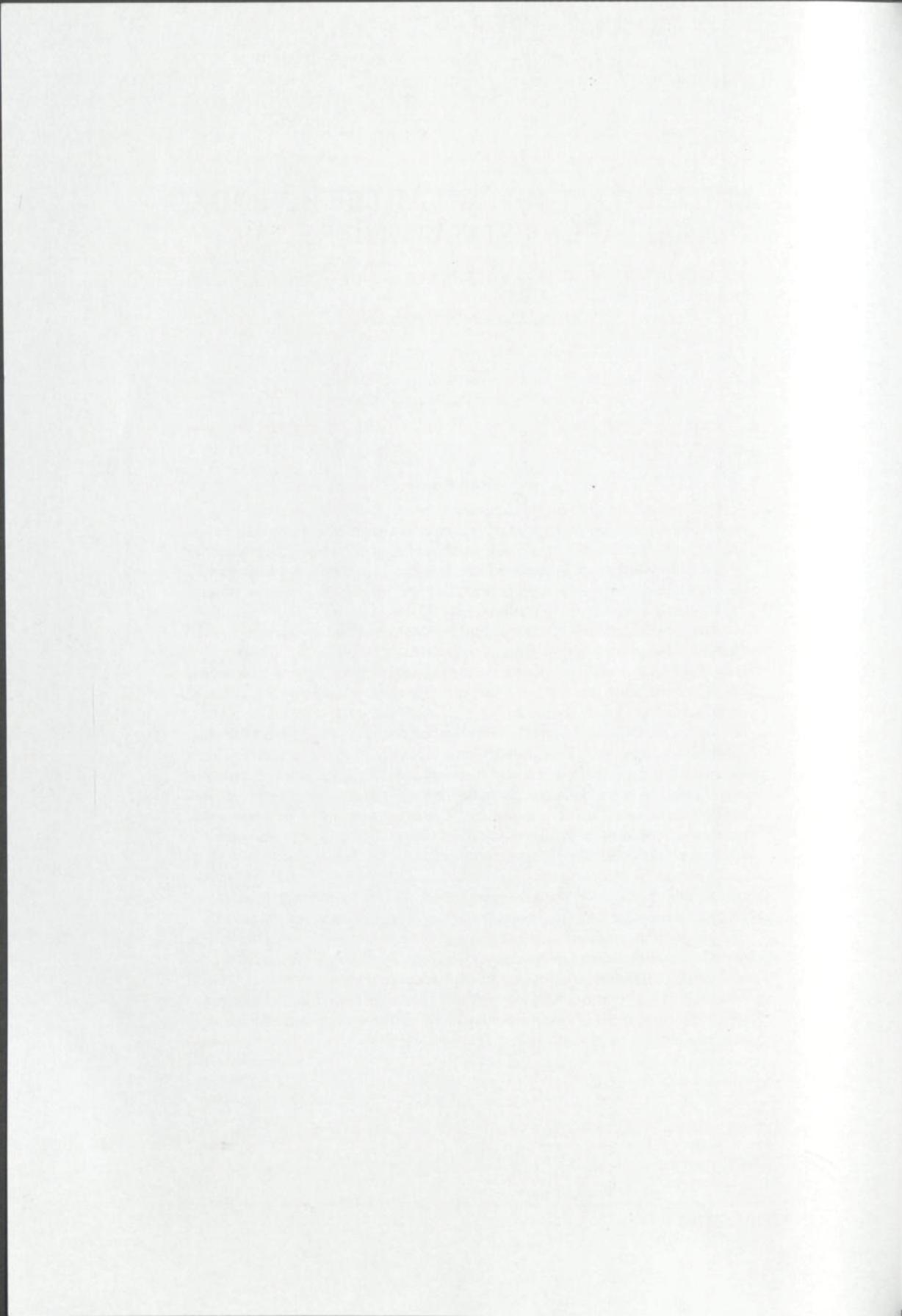
Resumo

Defects and failures in buildings can incur substantial costs in remedial works and cause considerable inconvenience to owners and occupiers. Some may be serious enough to result in loss of life. Any organisation, commercial or research based, such as BRE, which is regularly examining buildings will soon acquire a portfolio of reports which can be analysed and used in providing feedback to construction professionals.

BRE has undertaken studies of building defects since its founding in the 1920's. These have ranged from a major investigation in the collapse of a school roof to confirming the failure of a damp proof course in a single house. Some have involved site surveys of several different types of house construction, masonry, timber frame, concrete and steel, undertaken at various stages throughout a project. Investigations commissioned from the BRE Advisory Service have been usually more specific in that a defect has been seen and the investigation and report covers just that item. This usually occurs when a building has been completed although many are undertaken during new-build or refurbishment works. The reports provide a powerful database and cover most elements of buildings.

As a major publisher on construction topics, BRE has drawn on case studies to provide feedback to the construction industry. The series of Defect Action Sheets (1982 - 1990) each highlighted a specific problem and were provided free to social housing managers. They were aimed at defect prevention and covered both design office and site practice. Current publication series include Good Building Guides and Good Repair Guides. Both are intending to provide comprehensive coverage of a specific element or topic. A full coverage of UK construction is contained in the BRE Building Element Series of five books all drawing heavily on the above surveys and databases of case studies.

* BRE Associate.



A ACTIVIDADE DO LNEC NO DOMÍNIO DA PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

José Vasconcelos Paiva*

Correio electrónico: jvpaiva@lneec.pt

Resumo

O parque imobiliário português apresenta problemas de degradação construtiva e funcional, em certos casos de alguma gravidade, derivados do reduzido investimento na sua manutenção periódica ao longo de várias décadas e dos erros e atropelos que têm sido cometidos no processo de construção de muitos edifícios de realização mais recente.

No que respeita ao parque habitacional, a actual situação de degradação encontra-se de resto bem retratada nos resultados definitivos dos Censos 2001 disponibilizados pelo INE no final de 2002, que incluem pela primeira vez, desde que se realizam recenseamentos gerais da população e da habitação em Portugal, a caracterização do estado de conservação daquele parque.

Por outro lado, são reconhecidas em todos os países a importância do património arquitectónico, urbano e rural em termos históricos, culturais e de memória colectiva, socioeconómicos e mesmo de identidade nacional, e a necessidade de o preservar, sustendo a sua degradação em total obediência a um conjunto de princípios éticos internacionalmente consagrados.

É assim de crucial relevância para Portugal aumentar os investimentos na conservação e na reabilitação dos edifícios, bem como na reabilitação urbana, em especial em áreas consolidadas como as dos centros históricos, e promover uma adequada política de conservação do património que permita legá-lo nas melhores condições às gerações vindouras. Todas essas acções devem apoiar-se em estudos técnicos e científicos que aglutinem valências complementares diversificadas e visem o ataque correcto dos problemas.

Dentro da sua esfera de actuação de instituição de I&D inserida no Sistema Nacional de Ciência e Tecnologia, o LNEC tem desempenhado praticamente desde a sua criação há mais de meio século um papel de destaque nos domínios acima mencionados, no entendimento de que dessa forma contribui para um dos três grandes objectivos definidos na sua actual Lei Orgânica: a protecção e a reabilitação do património natural e construído.

Tem para isso tirado partido da coexistência na mesma instituição de investigadores e outros técnicos com formações em áreas científicas muito díspares que cobrem uma gama bastante extensa desde a física e as ciências dos materiais até à arquitectura e às ciências sociais, permitindo-lhe o tratamento multidisciplinar dos problemas em resposta aos desafios e às solicitações que lhe são postos. Isto sem prejuízo da ligação que procura permanentemente

* Investigador Coordenador do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios.

estabelecer, com vantagens recíprocas, com outros centros de investigação e com o sector empresarial da construção para o desenvolvimento de linhas de investigação e de estudos de aplicação dessa mesma investigação.

Apresentam-se em traços gerais as principais linhas de actividade que o LNEC tem desenvolvido nos domínios em questão, com um enfoque especial na actividade realizada num período mais recente que inclui a última década do século XX, e apontam-se, sempre que pertinentes, as perspectivas previsíveis de desenvolvimento.

Precedendo essa apresentação, tecem-se alguns comentários de enquadramento e faz-se uma breve referência às actividades de I&D nos mesmos domínios conduzidas anteriormente nesta instituição.

Palavras-chave: Conservação, Reabilitação, Edifícios, Investigação.

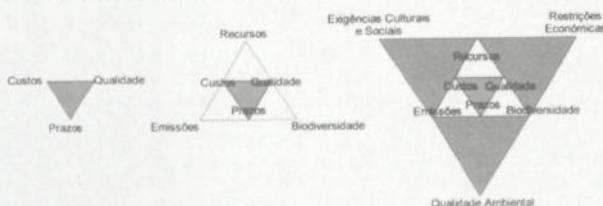
A REABILITAÇÃO COMO FACTOR DE SUSTENTABILIDADE DA CONSTRUÇÃO

Vitor Abrantes*

Correio electrónico: abrantes@fe.up.pt

Resumo

A evolução desejável para a qualidade da construção e para a sua própria sustentabilidade passa por um quadro complexo onde as emissões poluentes, a biodiversidade, as exigências culturais e sociais, as restrições económicas, a qualidade ambiental serão dominantes.



Nesse contexto, a reabilitação de edifícios será um factor preponderante para a obtenção desse quadro de sustentabilidade, ao contribuir para a inversão do actual crescimento desordenado e duma suburbanidade envolvendo centros cada vez mais descaracterizados e decadentes.

Reabilitar edifícios é, em primeiro lugar, uma atitude cultural no sentido da preservação duma memória, em particular, da evolução das cidades e da sua vivência. É, em segundo lugar, uma forma de evitar a poluição urbana resultante da existência de edifícios e quarteirões degradados.

O enquadramento das acções de reabilitação de edifícios tem subjacente uma metodologia técnico-científica baseada na elaboração de diagnósticos completos, envolvendo a caracterização das patologias, através da observação e dos ensaios experimentais, a análise das possíveis causas e a ponderação dos processos para a sua resolução.

Para que uma patologia não se transforme rapidamente numa nova patologia, para além de toda uma metodologia a seguir, assume particular importância os conhecimentos e a experiência adquirida dos intervenientes no processo.

Finalmente, deverá ter-se presente que para uma boa estratégia de reabilitação (e manutenção) será imprescindível, entre outras medidas, implementar a criação de mecanismos legais de incentivos, apoiar o acesso a financiamentos e resolver a problemática das rendas antigas.

* Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.



AS TÉCNICAS TRADICIONAIS DE HOJE NA CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Gaspar Nero*

Correio electrónico: jmgnero@civil.ist.utl.pt

Resumo

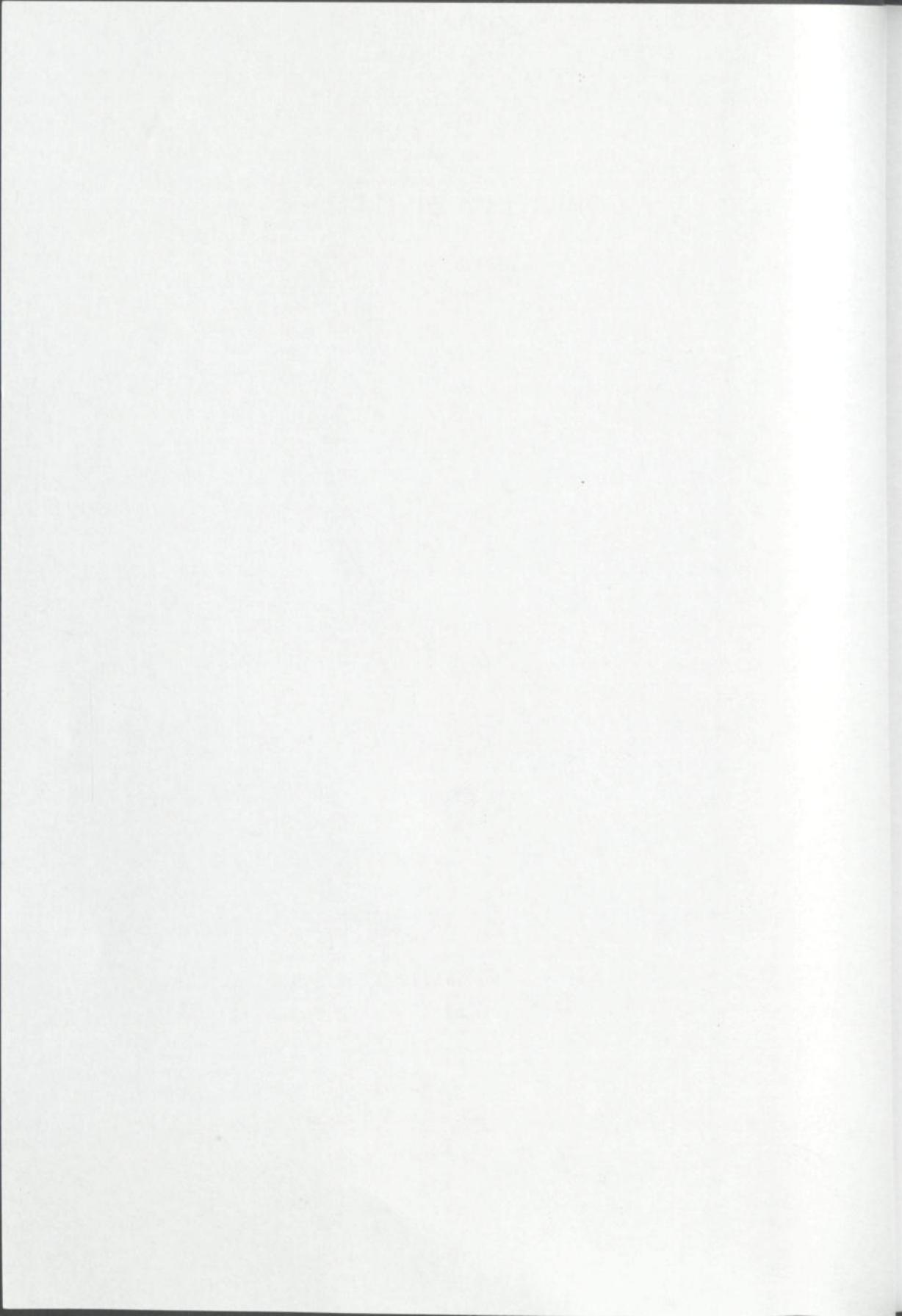
- A origem, o circunscrito e o hábito na utilização dos recursos naturais e dos materiais a eles associados;
- O tempo na aplicação dos materiais;
- A evolução lenta mas progressiva, da aprendizagem, das técnicas e das concepções associadas ao edifício;
- Princípios em que assenta o conceito de técnica tradicional no presente;
- O conforto e a inter-relação entre as técnicas tradicionais e as não tradicionais;
- A técnica, a especialização e a competência na Conservação e Reabilitação do património edificado.

* Prof. Auxiliar Convidado do Instituto Superior Técnico, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura, Secção de Estruturas e Construção.



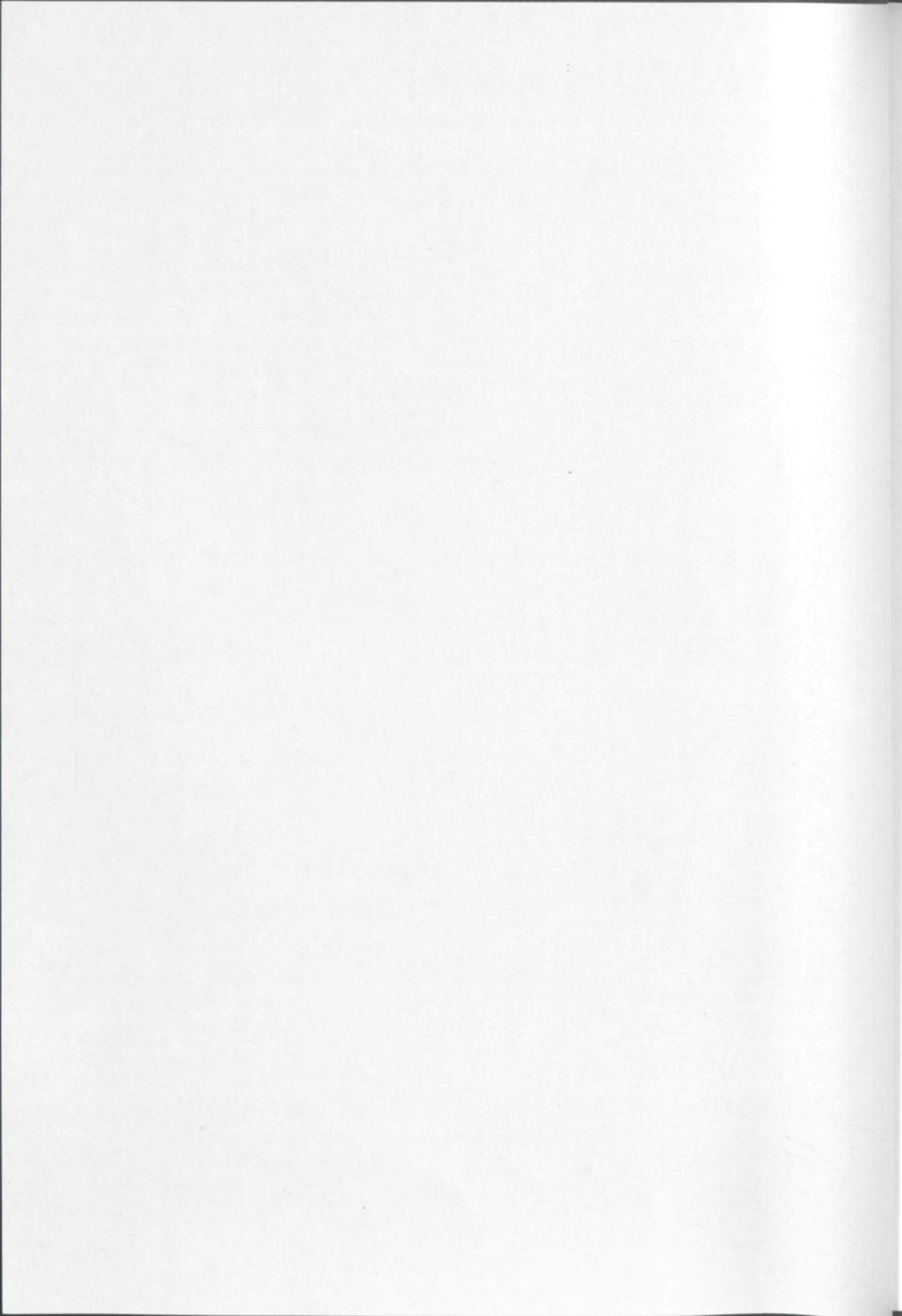
A COBERTURA DE TELHA

Rui Loza





SESSÃO I



PATOLOGIA INERENTE AOS REVESTIMENTOS EXTERIORES COM PLACAS DE PEDRA NATURAL

Anomalias Associadas e Recomendações para as Evitar

Adelino Alves*

Correio electrónico: adalves@mail.pt

Maria do Rosário da Silva Veiga†

Correio electrónico: rveiga@lnec.pt

Resumo

Constata-se actualmente um aumento significativo na utilização de placas de pedra natural de espessura reduzida (2 cm a 3 cm), em revestimentos exteriores de paredes. Contudo, a experiência daí resultante não se tem reflectido num aperfeiçoamento previsível das técnicas de aplicação, essencialmente em relação aos métodos de fixação. Por seu lado, a selecção das placas, nomeadamente as dimensões e as características físico-mecânicas das rochas de origem, são deixadas, na maior parte das situações, ao critério dos aplicadores e dos fornecedores, o mesmo se verifica em relação à escolha do sistema de fixação. Por esse motivo, surge frequentemente a típica patologia do desprendimento de placas e do aparecimento de manchas, cujas consequências se reflectem, respectivamente, ao nível da segurança dos transeuntes e ao nível do aspecto visual do revestimento. Esta comunicação pretende apresentar as principais anomalias que estão na origem da patologia referida. Pretende ainda expor algumas recomendações, por forma a garantir o desempenho expectável deste tipo de revestimentos. Essas recomendações dizem respeito aos suportes, às placas de pedra natural, aos sistemas de fixação e às juntas entre placas. Realça-se essencialmente o estado deficitário da informação técnica relativa a estes assuntos; a falta de controlo rigoroso, essencialmente nas fases de projecto e de execução; os critérios de selecção do sistema mais adequado a cada situação específica.

Palavras-chave: Revestimento, Fixações, Patologia, Anomalias, Recomendações.

* Oficial da Força Aérea Portuguesa, Direcção de Infra-estruturas

† Investigadora Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios.

1 Introdução

O aspecto decorativo, a possibilidade de utilização de mão-de-obra menos especializada e o aumento do seu rendimento, são alguns dos factores que se podem apontar como principal justificação para o crescente interesse na aplicação de placas de pedra natural em revestimentos exteriores de fachadas. A evolução tecnológica verificada no ramo da indústria transformadora das rochas ornamentais, essencialmente ao nível dos equipamentos e operações de corte, tem-se reflectido na redução da espessura das placas, no aperfeiçoamento dos diversos tipos de acabamento das suas superfícies e na facilidade de manuseamento das mesmas. Seria de esperar uma evolução qualitativa relativamente proporcional à experiência daí resultante. No entanto, o que se verifica é um descontrolo praticamente generalizado, em que a aplicação indiscriminada da pedra natural se associa à incompatibilidade entre os elementos, nomeadamente entre os sistemas de fixação e o suporte. Mas os problemas encetam-se logo na fase de concepção, em que os estudos do projecto ignoram a particularidade deste tipo de revestimentos. O resultado traduz-se frequentemente na típica patologia de desprendimento e queda de placas e no aparecimento de manchas.

2 Classificação dos Revestimentos

2.1 Revestimentos de Fixação Directa ao Suporte

Nos revestimentos de fixação directa, a ligação ao suporte é efectuada directamente por colagem ou por selagem [1, 2]:

- **Fixação por colagem:** quando se utiliza uma cola como elemento de fixação. Esta cola pode ser uma argamassa cola, com ou sem resina incorporada, um cimento cola ou um adesivo sem cimento [1].
- **Fixação por selagem:** quando se utiliza uma argamassa de cal hidráulica ou de cimento branco [1].

O processo de fixação directa ao suporte encontra-se muito generalizado actualmente no nosso país em revestimentos exteriores de paredes. No entanto este tipo de fixação não é aceitável (Figura 1a), salvo casos de singularidades devidamente justificados. A sua possível utilização será ainda condicionada pela aplicação do reforço da ligação através de agraços (Figura 1b)

2.2 Revestimentos de fixação indirecta ao suporte

Também designada por *fixação independente do suporte* [2], a sua ligação mecânica ao suporte faz-se por fixações pontuais ou por intermédio duma es-

trutura, geralmente de perfis metálicos, mantendo uma lâmina de ar entre a placa e o suporte.

2.2.1 Fixação por agrafos e pontos de argamassa

Neste tipo de fixação as placas de pedra são ligadas ao suporte através de agrafos de fio de secção circular envolvidos em argamassa (pontos). A ligação dos agrafos ao suporte pode fazer-se por chumbagem de argamassa (Figura 2a) ou mecanicamente (Figura 2b). Nos suportes de betão pode ser utilizada a fixação mecânica com cavilhas de expansão.

2.2.2 Fixação por gatos resistentes

Neste tipo de fixação, as placas de pedra são ligadas ao suporte por intermédio de gatos resistentes, com chumbadouros de argamassa, ou mecanicamente.

2.2.3 Fixação através de estrutura intermédia

Neste caso as placas são apoiadas numa estrutura intermédia de suporte, que tem como objectivo garantir a fixação dos elementos de pedra sem estar condicionada ao tipo de suporte e ao estado do paramento a revestir (Figura 4).

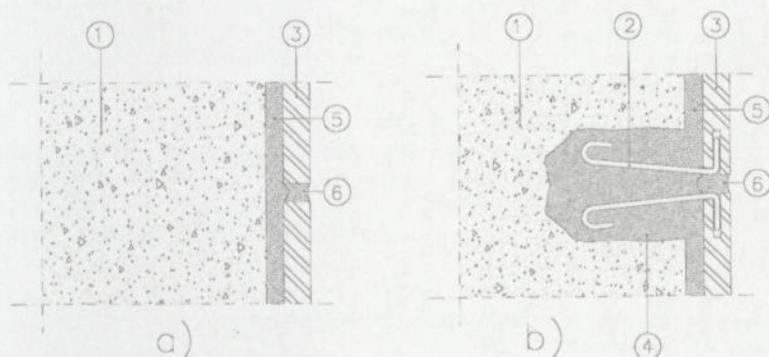


Figura 1: Fixação directa: a) situação sem reforço (muito comum mas inaceitável); b) situação com reforço da ligação através de agrafos. 1 – Suporte; 2 – Agrafado para reforço da fixação; 3 – Placa de pedra natural; 4 – Chumbadouro do agrafado; 5 – Material de selagem; 6 – Junta.

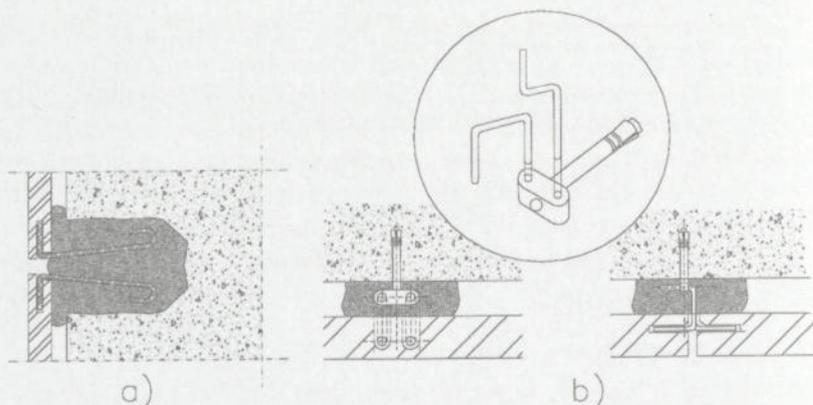


Figura 2: Fixação indirecta por agrafos e pontos de argamassa: a) ligação ao suporte através de chumbadouros; b) Ligação mecânica ao suporte.

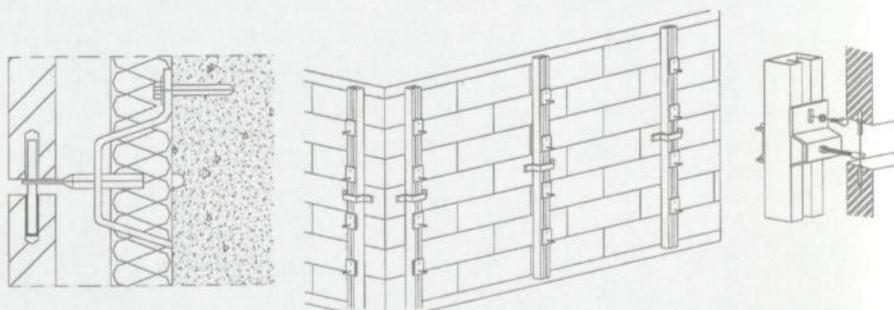


Figura 3: Fixação indirecta por gatos resistentes.

Figura 4: Fixação indirecta através de estrutura intermédia.

3 Patologia mais frequente

3.1 Generalidades

De acordo com a análise aos casos patológicos verificados ultimamente, a principal incidência é o desprendimento com a queda de placas e o aparecimento de manchas, com as conseqüentes implicações ao nível da segurança física dos utentes e do aspecto decorativo pretendido, respectivamente [3].

3.2 Desprendimento de placas

As situações de desprendimento de placas, no nosso País, verificam-se, em geral, em revestimentos fixados directamente ao suporte sem qualquer tipo de reforço do material adesivo, sendo o desprendimento de placas fixadas indirectamente ao suporte muito menos incidente.

3.2.1 Anomalias associadas à fixação directa

O desprendimento de placas pode ter causas muito diversificadas, acontecendo que esse fenómeno pode ficar a dever-se a combinações de várias delas [3]:

- Falta do reforço da fixação (ex. agrafos);
- Deficiências de colagem, nomeadamente: descontinuidade do produto de colagem, secagem excessiva no momento da aplicação, espessura insuficiente (Figura 5);
- Degradação do produto de colagem com os ciclos de molhagem/secagem;
- Expansão das placas provocada pelo afluxo à superfície de sais solúveis provenientes do produto de assentamento;
- Aparecimento de pequenas fissuras nas juntas. No caso de descidas acentuadas da temperatura, a água que atinge o interior congela. Ao aumentar de volume actua como uma cunha vencendo a aderência e provocando o desprendimento da placa.
- Movimentos significativos do suporte que podem mesmo conduzir à fissuração das placas. É o caso dos assentamentos de apoio e zonas de fronteira entre materiais de suporte de natureza diferente;
- Juntas entre placas executadas com espessura inadequada.

3.2.2 Anomalias associadas à fixação indirecta

- Flexão dos gatos de fixação, por ter sido ultrapassado o seu estado limite de deformação;
- Endurecimento incompleto da argamassa de selagem;
- Corrosão dos elementos metálicos de fixação, normalmente devida à heterogeneidade do meio;
- Rotura das placas na zona dos orifícios destinados à introdução dos pinos dos gatos (Figura 6);

- Rotura do chumbadouro ou arrancamento da cavilha de expansão, de fixação ao suporte;
- Aplicação de placas fragilizadas ou mesmo fissuradas.

3.3 Aparecimento de manchas nas placas

3.3.1 Causas principais

Os principais factores associados ao aparecimento de manchas nas placas de revestimento, são os seguintes:

- Contaminação atmosférica;
- Arrastamento para o exterior de partículas resultantes da corrosão dos elementos metálicos da ligação ao suporte;
- Dissolução e migração para o exterior de sais da argamassa dos pontos de fixação ou de selagem das placas (Figura 10);
- Acumulação de sujidade e água nos entalhes ou furos das placas, no caso da fixação indirecta ao suporte;
- Absorção pelas placas de determinados constituintes do produto de preenchimento das juntas, nomeadamente solventes de mastiques betuminosos;
- Actos de vandalismo;
- Acção biológica de microorganismos ou de organismos superiores.

Por outro lado, o ângulo formado entre as faces dos dois materiais, na parte superior da fixação, facilita a acumulação de água e sujidade que mantém húmida a zona envolvente da ancoragem, quando a restante área se encontra já seca, produzindo um novo processo de corrosão, a *corrosão por arejamento diferencial*.

Os furos ou entalhes das placas, se não forem devidamente preenchidos, tendem também a acumular água e com ela a sujidade. Nestas circunstâncias não só estão criadas as condições para se iniciar um processo de corrosão por arejamento diferencial, como, além disso, a água ao penetrar na placa por capilaridade, arrasta consigo as partículas de sujidade nela dissolvidas, que irão originar uma superfície manchada em torno do perímetro do furo ou do entalhe (Figura 9).



Figura 5: Placas de granito que descolaram do suporte.

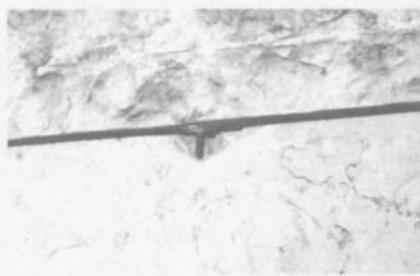


Figura 6: Rotura da placa na zona do orifício de introdução do estilete.



Figura 7: Manchas de escorrência por deficiente drenagem de floreira.



Figura 8: Manchas de escorrência por oxidação dos elementos de fixação.

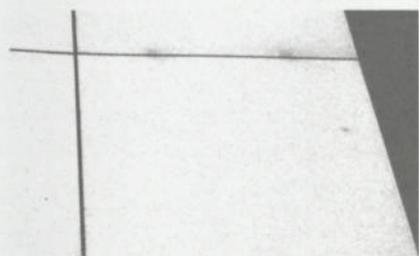


Figura 9: Manchas devidas à retenção de água nos furos das placas.



Figura 10: Manchas devidas à dissolução e migração de sais.

4 Recomendações para a fase da concepção

Para fazer face à patologia mencionada sugerem-se seguidamente algumas recomendações [3]. As recomendações distribuem-se pelas fases de concepção, de construção e de exploração. Neste trabalho apenas serão apresentadas as que se referem à fase de concepção.

4.1 Propostas relativas aos suportes

Não é possível obter um determinado tipo de revestimento se não se garantir a concepção dum suporte capaz de o receber:

- O tipo de fixação a adoptar para as placas deve ser conjugado com o tipo de suporte;
- Os suportes devem ser resistentes e estáveis, tendo em conta o máximo de variáveis possível que influenciam os esforços actuantes;
- A espessura do suporte terá que ser adequada para receber a ligação;
- Em zonas muito expostas à acção do vento e da chuva com juntas entre placas abertas, os suportes terão que garantir por si só a estanquidade à água;
- A altura dos suportes limita o tipo de fixação a adoptar, pelo risco de queda de placas que as fixações comportam.

Em relação ao aparecimento de manchas, a primeira preocupação será de índole ambiental e urbanística: é fundamental garantir o controlo e a limitação das emissões de resíduos de fumos negros. Tal medida passa pela localização adequada dos parques industriais.

- A aplicação deste tipo de revestimentos não deve ser efectuada em edificações próximas das fontes emissoras daqueles resíduos;
- As principais vias de comunicação rodoviária devem passar fora das áreas urbanizadas - vias rodoviárias de circunvalação;
- O melhor comportamento surge em paredes planas e sem significativos ou acentuados relevos decorativos;
- Para limitar as escorrências devem evitar-se ou reduzir-se ao mínimo os panos inclinados;

- a fachada deve possuir uma exposição controlada[‡] relativamente à incidência da chuva e do vento, por forma a promover a autolimpeza das placas, ou então permitir a limpeza através de meios mecânicos (por exemplo instalação de sistemas do tipo bailéu, a partir da cobertura, para edifícios de grande porte).

A **exposição** dependerá da localização e orientação da construção.

- Devem evitar-se níveis de exposição muito diferentes para a mesma fachada, porque conduz a tonalidades diferenciadas das manchas;
- As escorrências na zona de encontro de elementos importantes da fachada devem ser interrompidas pelos seguintes processos:
 - Por intermédio de elementos de drenagem e lacrimais;
 - Biselando ou chanfrando as arestas vivas;
 - Dissimulando as manchas, como referido no parágrafo seguinte.
- Para panos curtos a rugosidade deve ser reduzida, para permitir que a água escorra rapidamente. No caso de panos largos, não sendo possível evitar ou diminuir as escorrências, a solução pode passar pela utilização de meios de dissimulação da sujidade, que, se existirem ventos laterais, serão localizados junto aos bordos, através de alteração de textura, do relevo, da cor, etc.;
- devem ser evitados os elementos estranhos à fachada, como letreiros, etc., que acarretam inevitáveis depósitos de partículas e escorrências.

4.2 Propostas relativas à escolha das placas de pedra

- A pedra deve apresentar uma ficha de identificação;
- Tendo em conta a necessidade de furação das placas, a sua espessura não deve ser inferior a 30 mm, salvo situações devidamente justificadas; para as placas de rocha calcária esse valor não deve ser inferior a 40 mm;
- A espessura das paredes dos entalhes das placas, no caso de fixação por estrutura intermédia, nomeadamente no *sistema americano*, não deve ser inferior a 20 mm.

[‡] Entende-se por exposição controlada aquela em que o suporte possa garantir por si só um nível aceitável de estanquidade à água da chuva. Torna-se necessário dominar o paradoxo entre protecção e exposição.

- Deve ser evitada a utilização de placas de rocha calcária em ambientes de elevada poluição atmosférica;

- A porosidade da rocha das placas não deve ultrapassar os 3 %.

Do ponto de vista decorativo deverão ser tidas em conta as seguintes preocupações:

- A rugosidade das placas deverá diminuir mediante as seguintes situações:

- Clara percepção de existência e produção de sujidade e acelerada deposição da mesma;

- Deficiente protecção da sujidade para uma exposição elevada da fachada;

- Impossibilidade de garantir uma manutenção periódica adequada.

- No caso de textura rugosa, a lavagem regular e abundante do revestimento tem que ser garantida;

- A porosidade das placas deverá ser, sistematicamente, o mais reduzida possível;

- A diversidade de acabamentos e cores contribui para dissimular ou ocultar a sujidade em zonas de diferenças de autolimpeza, de manchas e de escorrências;

- Recomendam-se juntas abertas, sempre que possível, em soluções de fixação indirecta;

- As juntas abertas não apresentam problemas se forem executadas; as juntas flexíveis de esquartelamento e de dilatação do suporte deverão ser perfeitamente dimensionadas e preenchidas com materiais que não provoquem manchas, ou seja, os solventes desses materiais não devem ser absorvidos pelas placas.

4.3 Propostas relativas à selecção do sistema de fixação

- O sistema geralmente mais vantajoso é o sistema de fixação através de estrutura intermédia;

- O sistema de fixação directa não é recomendável. A sua possível utilização implica o reforço da ligação através de agrafos (Figura 1b);

- Os elementos metálicos de fixação têm que ser objecto de dimensionamento;

- Utilizar argamassas à base de cimento branco ou adesivos cujos componentes não proporcionem o aparecimento de manchas;
- Utilizar elementos metálicos inoxidáveis; no caso de se preverem ligações com metais diferentes usar metais compatíveis, para prevenir a sua corrosão bimetálica.

4.4 Propostas relativas às juntas e seu preenchimento

- Nos revestimentos de fixação indirecta por estrutura intermédia ou por gatos resistentes, as juntas entre placas devem ser abertas, com largura mínima de 4 mm e máxima de $\frac{1}{3}$ da espessura da placas. Quando o seu preenchimento for imposto, os materiais de preenchimento deverão ser objecto de selecção e caracterização adequada. Neste caso terá que ser garantida a ventilação da caixa de ar.
- Nos revestimentos de fixação indirecta por agrafos, a colmatação das juntas é a solução mais adequada, desde que esse preenchimento obedeça também a uma selecção e caracterização conveniente; no caso das juntas ficarem abertas, os pontos de argamassa terão que ser executados de forma a garantir a adequada ventilação do espaço de ar entre o taroz da placa e a face do suporte.
- As juntas de fraccionamento ou de esquartelamento terão que ser sistematicamente preenchidas.
- As juntas estruturais de dilatação do suporte têm que manter as características definidas no dimensionamento estrutural, nomeadamente a sua largura; terão ainda que ser colmatadas e preferencialmente dissimuladas, sempre que se justifique.

5 Bibliografia

- [1] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). *Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes*, Lisboa, LNEC, 1995.
- [2] Lucas, José A. C. *Classificação e Descrição Geral de Revestimentos para Paredes de Alvenaria ou de Betão*, ITE 24, Lisboa, LNEC, 1990.
- [3] Alves, Adelino. *Estabilidade Mecânica e Aspecto Visual das Placas de Pedra Natural no Revestimento de Paramentos Exteriores de Paredes*, Dissertação de Mestrado, Coimbra, FCTUC, Janeiro 2002.



DEFICIÊNCIAS DO DESEMPENHO DOS PEITORIS NA PROTECÇÃO DAS FACHADAS CONTRA A ACÇÃO DA ÁGUA

J. A. Raimundo Mendes da Silva*
Correio electrónico: raimundo@dec.uc.pt

Maria Isabel Morais Torres†
Correio electrónico: itorres@dec.uc.pt

Resumo

A envolvente vertical exterior dos edifícios é constituída, em geral, por superfícies opacas e superfícies envidraçadas, subdividindo-se as primeiras em zonas correntes e pontos singulares. Destes, assumem particular destaque, no que diz respeito à protecção contra a água da chuva, os peitoris das janelas.

Em Portugal não existem regras construtivas claras, suficientemente divulgadas e aceites por projectistas e construtores, no que diz respeito aos peitoris, sua geometria, materiais e nível de desempenho a atingir. A adopção de linhas arquitectónicas discretas, com grande uniformidade da leitura das fachadas e a maior facilidade e economia de produção de peitoris de geometria elementar, tem conduzido à utilização de peças inadequadas às funções pretendidas.

Estes factos, aliados a um desconhecimento generalizado das soluções tradicionais e a uma aplicação em obra frequentemente negligente, têm conduzido a situações de patologia que se traduzem em infiltrações e escorrências, com deterioração localizada de revestimentos das paredes.

Palavras-chave: Peitoris, Infiltrações, Patologia, Reabilitação.

1. Introdução

Na primeira parte deste artigo referem-se as exigências funcionais dos peitoris mais relevantes e fundamenta-se a importância de uma geometria adequada, com base nas especificações de outros países e nas configurações do esco-

* Prof. Auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Construções.

† Assistente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Construções.

amento da água para diversos perfis de peitoril, compiladas a partir da bibliografia técnica existente [1, 2, 3, 4].

Na segunda parte do artigo ilustram-se e comentam-se diversas situações de obra em que os erros de concepção ou execução impedem um adequado desempenho dos peitoris e dão origem a infiltrações, fissurações e escorrências.

Por fim, faz-se uma breve referência às técnicas correntes de correcção ou reabilitação de peitoris cujo desempenho está aquém do desejado, nomeadamente após acções de reabilitação em que é aumentada a espessura do revestimento exterior das fachadas.

2 Exigências Funcionais dos Peitoris

Os peitoris, como parte integrante da envolvente vertical exterior dos edifícios, têm que satisfazer, em conjunto com as paredes e todos os elementos integrantes das mesmas, as exigências funcionais respectivas.

Entre as exigências funcionais que devem ser satisfeitas pelas paredes tem particular relevo a estanquidade à água da chuva incidente.

A penetração da água da chuva através das paredes depende da ocorrência simultânea dos seguintes três factores:

- Presença de água na superfície das paredes;
- Aberturas nas paredes através das quais a água possa penetrar;
- Forças de encaminhamento da água para essas aberturas.

A eliminação de um destes factores elimina a entrada de água.

Outra exigência funcional a que devem satisfazer as paredes é o conforto visual, que inclui a exigência de homogeneidade de enodoamento pela poeira e exigência de homogeneidade de cor e brilho.

Dependendo da capacidade de absorção dos materiais e da geometria dos elementos, haverá sempre, em mais ou menos quantidade, água a escorrer pelas paredes. Se essa água for limpa e a atmosfera envolvente também, não haverá alteração visual significativa das paredes.

Essa alteração visual pode dar-se no caso de:

- a) A água da chuva estar contaminada pela poluição atmosférica, por material da própria parede dissolvido, etc.;
- b) Os materiais da parede absorverem esta água da chuva contaminada ou reterem a sujidade nas suas superfícies após a evaporação da água.

Ora, estas duas situações acontecem sempre e a escorrência da água da chuva pelas paredes provoca inevitavelmente a deposição de sujidade. Para que a alteração visual provocada seja a menor possível devemos então procurar

que essa deposição seja uniforme, evitando caminhos preferenciais para a escorrência.

Como pontos singulares das alvenarias, os peitoris, quando mal planeados quanto à sua geometria e composição podem ser causadores de infiltrações ou gerar caminhos preferenciais para a água da chuva, impedindo que as paredes onde estão integrados satisfaçam algumas das exigências funcionais.

No parágrafo seguinte analisam-se os mecanismos de escoamento de água sobre os peitoris em função sua geometria e a forma como estes podem contribuir para a protecção das fachadas contra a acção da água. Antecede-se esta análise com a descrição das características dos peitoris e dos seus defeitos.

3 Caracterização Geral da Geometria e Composição

3.1 Características gerais dos peitoris e defeitos inerentes

O desempenho dos peitoris é condicionado pelo material de que são feitos, pela sua geometria e pelo modo de execução. A diversidade de peitoris é enorme e não poderiam sistematizar-se com facilidade. A Figura 1 apresenta diversas fotografias de peitoris de épocas e tipos de construção distintos, a título de exemplo, alguns dos quais insólitos e de desempenho limitado.



Peitoril de madeira sobre pedra, com projecção.



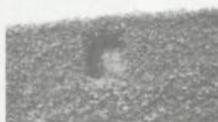
Peitoril de granito com grande inclinação e espessura.



Peitoril de madeira em construção rural muito elementar.



Peitoril metálico integrado na fachada.



Vão envidraçado rodeado de vegetação, ocultando o peitoril.



Peitoril sem revestimento específico contínuo e impermeável.



Peitoril de pedra com rasgos laterais e batente.



Peitoril em pedra com perfil liso e horizontal.



Peitoril metálico.

Figura 1: Exemplos de vários tipos de peitoris em construções diversas.

Optou-se, assim, por elaborar um quadro resumo com as principais características dos peitoris (não aplicáveis em simultâneo em muitos casos) com indicação breve das suas funções ou objectivos e dos defeitos que lhes podem estar associados (Tabela 1).

Tabela 1: Características e eventuais defeitos dos peitoris.

		Característica	Eventuais defeitos	Consequências
Material		Porosidade	Porosidade excessiva	Perigo de absorção excessiva de água
		Resistência mecânica	Resistência reduzida	Fissuração sob acções correntes ou impactos fortuitos, com posterior entrada de água
		Rugosidade	Rugosidade excessiva	Dificulta escoamento, favorece infiltrações, perturba o perfil de escoamento
		Durabilidade	Pedra ou cerâmicos de reduzida resistência sob acções mecânicas ou acção do gelo; madeiras não tratadas, metais não protegidos contra a corrosão, plásticos vulneráveis aos ultravioletas	Degradação precoce, com consequências económicas, estéticas e funcionais
Geometria	Perfil transversal	Inclinação	Inclinação reduzida ou nula	Dificulta o escoamento e propicia infiltrações
		Projeção	Projeção insuficiente	Não afasta o filme de água da parede. Propicia infiltrações pela aresta inferior de assentamento
		Aresta	Não constitui defeito mas condiciona o escoamento	O perfil adoptado influencia o afastamento da água em relação à parede e o refluxo pela face inferior do peitoril
		Pingadeira	Inexistente ou de dimensão reduzida; Pingadeira muito encostada à parede	Ineficaz no afastamento da água, propiciando infiltrações pela aresta de assentamento da face inferior do peitoril
		Espessura	Espessura excessivamente reduzida	Risco de fractura
Geometria	Perfil longitudinal	Planeza	Não constitui defeito, mas condiciona o escoamento.	Se não tiver batentes laterais um perfil plano propicia escorrências laterais
		Batentes laterais	Inexistentes. Agravamento na falta de vedação com mastique	Risco de infiltrações nas ligações às ombreiras. Propicia as escorrências laterais
		Rasgos superiores	Ausência de rasgos	Propicia escorrências laterais
		Projeção lateral	Inexistente ou de dimensão muito reduzida	Propicia as infiltrações na ligação à ombreira e escorrências laterais
	Ligações	Ligação às ombreiras	Falta de sobreposição ou geometria propicia à fissuração e entrada de água directa	Propicia as infiltrações na ligação à ombreira e as escorrências laterais
		Ligação ao pano de peito	Deficiente vedação	Propicia as infiltrações na ligação pela aresta inferior de apoio do peitoril
		Ligação à caixa-lharia	Ligação sem ressalto e/ou com vedação de mastique inadequada (muito delgada ou excessivamente espessa)	Propicia as infiltrações, deterioração precoce e mais esforço de manutenção
Execução	Conformidade com o projecto	Desrespeito pelo tipo de material ou geometria	Dificuldade em corresponder ao desempenho desejado	
	Qualidade da aplicação	Deficiente posicionamento, nivelamento e remate das ligações	Dificuldade em corresponder ao desempenho desejado	

3.2 Contribuição dos peitoris para a penetração de água e sujidade localizada nas paredes

As aberturas nas paredes através das quais a água pode penetrar incluem os poros e fissuras características dos próprios materiais, as fissuras resultantes de movimentos das paredes, as juntas entre os diferentes elementos, fendas resultantes de deficiente execução.

Como já foi referido, para haver penetração da água nas paredes não basta que haja água e aberturas é também necessária a presença forças de encaminhamento dessa água para as aberturas. Essas forças, além da energia cinética das próprias gotas, da gravidade e das diferenças de pressão, podem ser resultantes da pressão capilar. Esta, só por si é suficiente para transportar a humidade para o interior dos peitoris se tivermos poros com dimensões entre os 0,01 mm e os 0,5 mm, donde se conclui que é necessário ter muito cuidado no materiais que escolhemos para execução dos peitoris, evitando os muito porosos [4].

Todas as superfícies horizontais (ou com pequena inclinação) tem tendência para acumular lixo e poeiras nas estações quentes e secas que serão posteriormente arrastados pela água das chuvas. A quantidade desta água suja que irá atingir as superfícies verticais das paredes depende, em grande parte, da geometria das superfícies horizontais.

Na Figura 2a vemos um peitoril sem pingadeira e verificamos que parte da água que corre ao longo do peitoril vai escorrer ao longo do seu intradorso e escorrer ao longo da parede, tendo como consequências:

- a) Eventual penetração da água em A (aresta inferior de ligação do peitoril à parede);
- b) Gotejamento ao longo do intradorso;
- c) Parte do fluxo vai escorrer ao longo da parede depositando aí os detritos acumulados e o fluxo vertical sai diminuído, o que, embora possa parecer uma vantagem, é uma desvantagem, pois mais facilmente é desviado pela acção do vento contra a parede.

Se introduzirmos uma pingadeira estes efeitos serão reduzidos (Figura 2b), permitindo que todo o fluxo de água escoe em conjunto, diminuindo a possibilidade de ser empurrado pelo vento para as superfícies verticais inferiores, desde que sua a velocidade e volume sejam suficientes. Isto depende, no entanto, também, do perfil superior do peitoril. Como podemos observar na Figura 2c, se o peitoril possuir superiormente uma esquina viva, o fluxo vai poder novamente dividir-se.

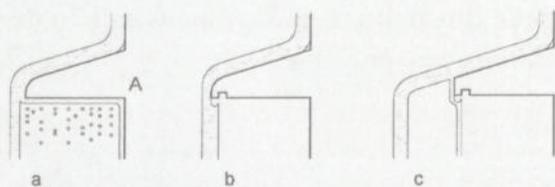


Figura 2: Influência da pingadeira e do perfil do peitoril na projecção da água [4].

Quando temos um peitoril como o representado na Figura 3a, o fluxo de água irá dividir-se e parte do mesmo irá escorrer ao longo dos seus topos, provocando o aparecimento de dois caminhos de escorrência ao longo das paredes que, com o tempo, irão depositar sujidade na parede. Se impedirmos esses escoamentos laterais, como se pode ver na Figura 3b, temos o problema resolvido.

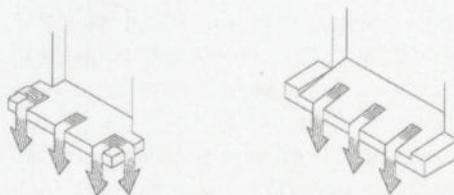


Figura 3: Influência da geometria nas direcções de escoamento dos peitoris [4].

De acordo com o D. T. U. 20.1/NF P 10-202-1 [2] (Obras de alvenaria de pequenos elementos – Paredes e muros), «os peitoris em betão, argamassa ou em elementos prefabricados... devem apresentar um perfil inclinado para o exterior (...)». A mesma norma define ainda valores padrão para essa inclinação, de acordo com a Figura 4 e Tabela 2, verificando que, em geral, se recomendam inclinações de 10 %, nunca adoptadas em Portugal.

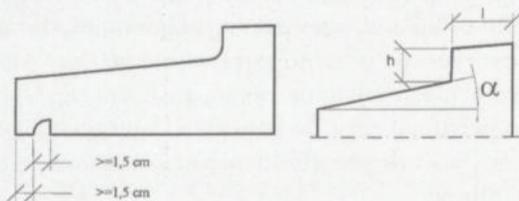


Figura 4: Dimensão e geometria dos peitoris segundo a D. T. U. 20.1.

Tabela 2: Dimensões mínimas para os peitoris segundo a D. T. U. 20.1.

Apoio	l (mm)	h (mm)	$\text{tg } \alpha$
Moldado no local antes da colocação da caixilharia	40	25	0,10
Prefabricado e colocada no local antes da colocação da caixilharia	30	25	0,08
		20	0,10
Moldado no local após a colocação da caixilharia	40	40	0,10

Na Figura 4, pode observar-se, ainda, que do lado exterior a parte saliente deve ficar munida de uma pingadeira. Este dispositivo evita escorrências e sujidades bem como a progressão da água para o intradorso do peitoril até ao ponto de contacto peitoril/alvenaria. A entrada de água na parede através da ligação lateral do peitoril à parede é também muito frequente.

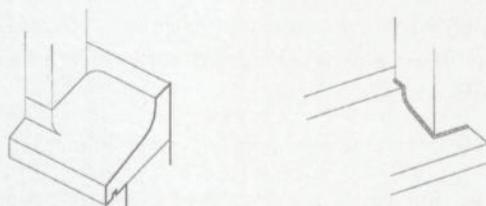


Figura 5: Ligação do peitoril à ombreira segundo a D. T. U. 20.1.

As recomendações técnicas francesas (ilustradas na Figura 5) recomendam que o perfil seja sobrelevado em relação ao plano geral do peitoril ou que seja rematado com mastique. Qualquer das situações pressupõe uma sobreposição da ombreira ao peitoril, o que nem sempre se verifica em Portugal.

4 Defeitos Mais Frequentes e Suas Consequências

A construção recente em Portugal não tem seguido os padrões geométricos recomendados pela bibliografia técnica europeia (ver fotografias e comentários da Figura 6). Tal situação não seria preocupante se não houvesse o registo recorrente de anomalias relacionadas com infiltração de água nas ligações entre o peitoril e a ombreira e entre o peitoril e o pano de peito das janelas.

Também frequentes são a fissuração de pedras de peitoril devido à sua reduzida espessura e/ou assentamento desadequado e as escorrências laterais, com acumulação localizada de sujidades e aumento da probabilidade de infiltração em fissuras subjacentes ou pelos cantos do peitoril.

Estas anomalias resultam, na maior parte dos casos observados da adopção de peitoris de pedra, com perfil paralelepípedo, reduzida espessura, projecção reduzida e pingadeira com pequena expressão e perfil inadequado.

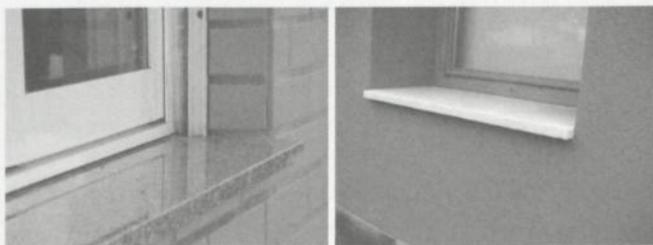
5 Técnicas de Reabilitação

As técnicas de reabilitação ou correcção do desempenho dos peitoris, mais utilizadas em Portugal no que diz respeito à entrada de água e escorrências são as seguintes:

- Substituição do peitoril por outro equivalente com perfil e material mais adequados, tendo como referência o mau desempenho do peitoril inicial;
- Pintura impermeabilizante do peitoril e/ou colocação de mastique nas zonas de ligação a outros elementos construtivos (ombreiras, panos de peito e caixilharias);
- Levantamento e recolocação com inclinação adequada;
- Colocação de pingadeira metálica projectante sob a face inferior do peitoril;
- Colocação de forra metálica superior integral, com pingadeira projectante e inclinação adequada.

A correcção ou substituição dos peitoris tem, na maioria dos casos, repercussões nas caixilharias e outros elementos construtivos confinantes.

Algumas destas correcções são exigidas não pelo deficiente desempenho dos peitoris, mas sim por alteração da espessura de paredes em consequência de acções de reabilitação da fachada com revestimento independente ou revestimento delgado sobre isolante.



Falta de inclinação e perfil sem qualquer rasgo ou batente

Figura 6: Ilustração de defeitos correntes de peitoris em Portugal (continua).



Pedra de espessura muito reduzida ou mal apoiada com elevado risco de fissuração



Golpe inferior ou pingadeira demasiado recuada



Peitoril com projecção muito reduzida



Escorrências laterais com deterioração grave do aspecto



Peitoris curvos ou poligonais, constituídos por várias pedras

Figura 6: Ilustração de defeitos correntes de peitoris em Portugal (continua).



Deficiente remate na ombreira (sem sobreposição e com excesso de mastique)

Figura 6 (cont.): Ilustração de defeitos correntes de peitoris em Portugal.

6 Nota Final

Os peitoris podem contribuir de modo significativo para a protecção das fachadas contra a acção da água desde que fabricados com materiais e geometria adequados e cuidadosamente aplicados. Em Portugal são frequentemente ignorados os princípios elementares da geometria dos perfis, tendo em consideração o desempenho desejado. A síntese apresentada não constitui um manual de concepção ou execução mas permite identificar as principais exigências e cuidados a ter neste domínio e permite concluir que urge promover e divulgar informação experimental sobre a matéria.

7 Bibliografia

- [1] Mendes da Silva, J. A. R. *Fissuração da Alvenarias. Estudo do comportamento das alvenarias sob acções térmicas*. Dissertação de Doutoramento, FCTUC, 1998.
- [2] CSTB-DTU 20.1 (NF P 10-202-1). *Ouvrages en maçonnerie de petits éléments-parois et murs*. CSTB Edition 2001.4
- [3] Rice, L. A. C. *Performance of Materials in Buildings*. Suffolk: Ipswich Book Co, Ltd.1995.
- [4] BSI-BS8200. *Code of practice for design of non-loadbearing external vertical enclosures of buildings*. BSI, London, 1985.

REABILITAÇÃO DE PEITORIS EM PEDRA COM REVESTIMENTO CONTÍNUO À BASE DE RESINA DE POLIURETANO

Marília Sousa*

Correio electrónico: mmfsousa@hotmail.com

Vasco Peixoto de Freitas†

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

A deficiente concepção e execução, bem como o uso de materiais inadequados são as principais causas do aparecimento de patologias nas fachadas dos edifícios de habitação.

De entre as várias patologias, pode afirmar-se que a perda de estanquidade à água é um dos problemas mais frequentes e o que mais desconforto causa aos utilizadores. Nas fachadas, as infiltrações ocorrem principalmente através dos pontos singulares, nomeadamente a ligação da caixilharia com o contorno e os peitoris. O deficiente comportamento dos peitoris deve-se ao material escolhido, à sua forma e à aplicação destes elementos, bem como ao envelhecimento dos materiais aplicados face às solicitações higrotérmicas que habitualmente estão sujeitos.

Na generalidade dos casos, sempre que a origem das infiltrações está associada ao deficiente comportamento dos peitoris, a resolução do problema passa pela substituição destes elementos, obrigando à remoção da caixilharia, o que, para além de ser dispendioso, implica enorme perturbação no interior das habitações que se encontram ocupadas durante o processo de reabilitação.

Neste artigo é descrita a solução que foi adoptada no tratamento de peitoris e soleiras em pedra de um edifício de habitação colectiva com cerca de 30 anos, localizado no Porto, e que consistiu na aplicação de um revestimento contínuo à base de resina de poliuretano, realizado *in situ*.

Palavras-chave: Peitoril, Pedra, Tratamento *in situ*, Resina de poliuretano.

* Eng.ª Civil.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Civis.

1 Introdução

A deficiente concepção e execução, bem como o uso de materiais inadequados são as principais causas do aparecimento de patologias nas fachadas dos edifícios de habitação.

De acordo com os resultados de um estudo elaborado em França pela *Agence Qualité Construction - Observatoire SYCODÉS*, dos 51 000 sinistros declarados entre 1998 e 2000, 60 % dos casos correspondem a deficiente estanquidade à água.

De entre as patologias que afectam os edifícios residenciais pode afirmar-se que a perda de estanquidade à água das fachadas é um dos problemas mais frequentes e o que mais desconforto causa aos utilizadores. As infiltrações ocorrem principalmente através dos pontos singulares, nomeadamente a ligação da caixilharia com o contorno e os peitoris. O deficiente comportamento dos peitoris deve-se à deficiente concepção e aplicação destes elementos, bem como ao envelhecimento dos materiais aplicados face às solicitações higrotérmicas que habitualmente estão sujeitos.

Na generalidade dos casos, sempre que a origem das infiltrações está associada ao deficiente comportamento dos peitoris, a resolução do problema passa pela substituição destes elementos, obrigando à remoção da caixilharia, o que, para além de dispendioso, implica devassar o espaço interior das habitações que se encontram ocupadas durante o processo de reabilitação.

Neste artigo apresenta-se a solução que foi adoptada no tratamento de peitoris e soleiras em pedra, de um edifício de habitação colectiva com cerca de 30 anos, localizado no Porto, e que consistiu na aplicação de um revestimento contínuo à base de resina de poliuretano, realizado "in situ" de acordo com a metodologia definida no § 3.

O estudo deste tipo de patologia exige a realização de sondagens e medidas que são fundamentais para definir as causas que estão na origem dos problemas.

2 O Problema

Os peitoris em pedra do edifício de habitação colectiva em estudo, com cerca de 30 anos, localizado no Porto, apresentavam-se degradados, tendo-se observado alteração da superfície (Figura 1), microfissuração e infiltrações no interior.

Em apenas 2 % dos casos foi observada uma fissuração muito acentuada, como se ilustra na Figura 2.

O deficiente comportamento face às solicitações de carácter higrotérmico e o envelhecimento natural do material utilizado (pedra calcária) foram as principais causas dos problemas observados.

Procedeu-se à caracterização morfológica das anomalias e à verificação da estabilidade dos peitoris, tendo-se constatado que não se encontravam dessolidarizados do suporte. Foram também efectuadas sondagens sob o peitoril e na ombreira que nos permitiram constatar que a forma do peitoril e que a ligação da caixilharia com o peitoril apresentava uma configuração considerada satisfatória.



Figura 1: Degradação observada na superfície dos peitoris.

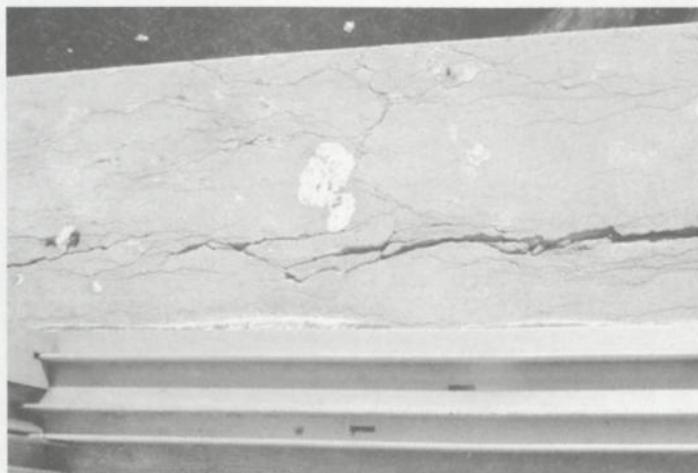


Figura 2: Pormenor da fissuração acentuada observada em apenas 2 % dos peitoris.

3 Solução de Reabilitação

3.1 Princípio de tratamento

Nos trabalhos de reparação a efectuar interessa adoptar procedimentos que assegurem resultados satisfatórios a longo prazo, muito embora seja sempre difícil uma resolução total dos problemas sem uma intervenção significativa e completa.

No caso em estudo, com o objectivo de garantir a estanquidade à água dos peitoris, procedeu-se à aplicação de um revestimento contínuo à base de resina de poliuretano, após tratamento da superfície.

Antes de optarmos por esta técnica de tratamento equacionou-se um leque de soluções tão vasto quanto possível, nomeadamente:

- a) Substituição dos peitoris por outros em pedra análoga;
- b) Colocação de uma protecção metálica superior;
- c) Aplicação de repelente de água;
- d) Aplicação de revestimento contínuo à base de resina de poliuretano.

A solução de substituição dos peitoris, para além de apresentar um custo muito elevado perturba o funcionamento das habitações que não foram desocupadas durante o processo de reabilitação da fachada. A vantagem desta solução seria a de preservar a solução arquitectónica inicial.

A colocação de uma protecção metálica superior (alumínio termolacado, inox, etc) correspondia a uma alteração profunda do partido estético e não seria possível executar um remate adequado com a caixilharia já existente.

A aplicação de repelente de água não seria eficaz nas situações em que os peitoris estavam fissurados e não resolveria o problema da degradação do aspecto estético, além de que a radiação ultravioleta degrada este tipo de materiais num horizonte inferior a 10 anos.

Nestas circunstâncias, entendeu-se que seria interessante optar pela realização de um revestimento contínuo à base de resina de poliuretano, que pelo facto de ser realizado *in situ* garante uma continuidade com a caixilharia e parte opaca em termos de estanquidade. Apesar de não haver experiência de aplicação deste tipo de produto em Portugal, existe uma vasta experiência da sua aplicação em França, encontrando-se convenientemente caracterizado pelo CSTB, quer no que se refere às suas características, quer à forma de aplicação.

3.2 Caracterização da forma de Aplicação

3.2.1 Preparação do suporte

Tendo sido verificada a estabilidade dos peitoris, procedeu-se ao seu tratamento de acordo com o seguinte procedimento:

- a) Decapagem do suporte através da passagem de uma mó (o número de vezes foi definido em obra em função da degradação do elemento);
- b) Remoção das partes da pedra que estavam desagregadas;
- c) Preenchimento das aberturas e fissuras com resina epóxi;
- d) Limpeza do suporte.

3.2.2 Aplicação do Primário

Após limpeza do suporte, foi aplicada uma camada de primário à base de poliuretano (170 g/m^2 a 250 g/m^2) sobre toda a superfície a tratar, deixando-se secar cerca de 12 horas, tal como indicado pelo fabricante.



Figura 3: Aspecto do peitoril após aplicação do primário.

3.2.3 Aplicação do Revestimento Final

A existência ou não de fissuração condicionou a solução de revestimento final, tendo-se optado pela realização de um revestimento armado no caso do suporte estar fissurado e não armado nos restantes casos.

3.2.3.1 Peitoris Fissurados

Nos peitoris que se apresentavam fissurados, o revestimento final foi reforçado com armadura de poliamida, o que implicava a utilização da seguinte composição:

- Aplicação de uma pasta elastomérica de poliuretano (500 g/m^2) para colagem da armadura;
- Aplicação da armadura de poliamida com 70 g/m^2 , tendo sido pressionada sobre a camada de colagem de modo a ficar recoberta. As camadas seguintes foram aplicadas 24 horas depois;
- Aplicação do revestimento final constituído por três camadas de resina de poliuretano, espaçadas de 24 horas. O consumo por camada foi de 600 g/m^2 a 750 g/m^2 .

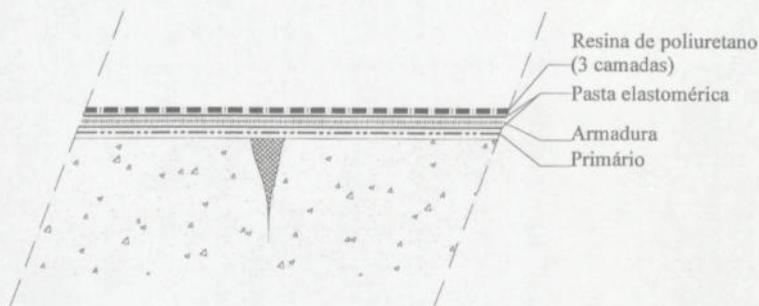


Figura 4: Esquema de tratamento dos peitoris fissurados.



Figura 5: Pormenor da aplicação da armadura.

3.2.3.2 Peitoris Não Fissurados

Nos peitoris não fissurados, procedeu-se apenas à aplicação do revestimento final constituído por três camadas de resina de poliuretano. A aplicação das camadas foi espaçada de 24 horas, sendo o consumo por camada de 600 g/m² a 750 g/m².

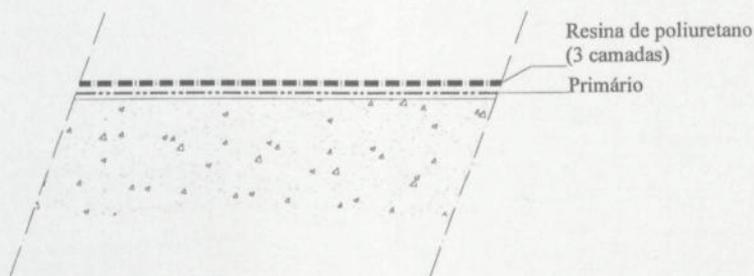


Figura 6: Esquema de tratamento dos peitoris não fissurados.



Figura 7: Aspecto final de um peitoril após tratamento.

3.2.4 Pontos Singulares

No remate com as ombreiras procedeu-se ao reforço do ângulo com resina epóxi de acordo com o princípio apresentado na Figura 8. Refira-se que este tratamento foi aplicado sobre o reboco armado, à base de argamassa com polímeros, que constituía a camada de colagem da *pastilha* cerâmica.

Sob os peitoris, na ligação com a fachada, foi aplicado um mastique à base de poliuretano.

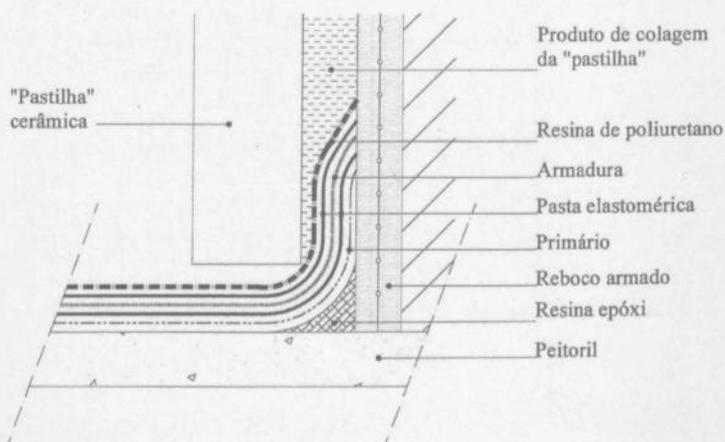


Figura 8: Remate com as ombreiras (revestimento final armado).

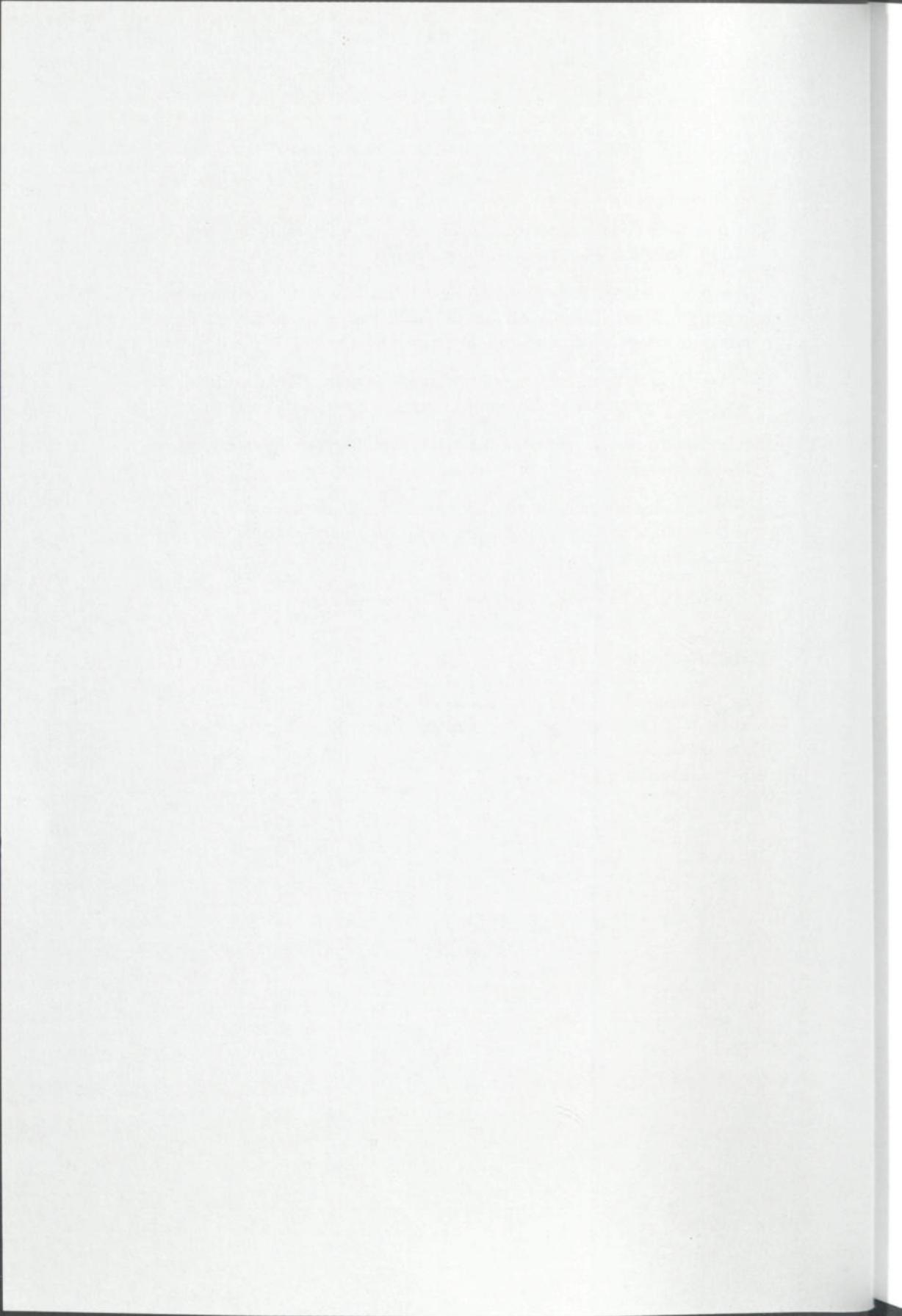
4 Conclusões

As principais conclusões deste estudo são as seguintes:

- A durabilidade dos peitoris em pedra calcária é limitada no tempo devido às solicitações de carácter higrotérmico;
- Desde que os peitoris apresentem estabilidade mecânica e um remate adequado com a base da caixilharia pode, por razão de custo e de incómodo, justificar-se não proceder à sua substituição;
- A execução de protecção metálica é muito complexa dada a dificuldade em fazer um correcto remate com a ombreira e a base da caixilharia;
- A utilização de repelente de água não faz sentido quando os peitoris estão fissurados;
- O tratamento dos peitoris com um revestimento contínuo à base de resina de poliuretano é uma solução que pode ser interessante para certo tipo de edifícios;
- Apenas é possível aplicar sistemas homologados.

5 Bibliografia

- [1] Avis Technique 5/98-1312 *Revêtement*. CSTB
- [2] Freitas, V. P. & Sousa, M. *Projecto de Reabilitação das Fachadas do Edifício Douro*. Porto, 2000.
- [3] www.qualiteconstruction.com.



OBSERVAÇÃO, REGISTO, CONTROLO E DIAGNÓSTICO DE FISSURAÇÃO EM PAREDES NÃO ESTRUTURAIS DE ALVENARIA

J. A. R. Mendes da Silva*

Correio electrónico: raimundo@dec.uc.pt

Vitor Abrantes†

Correio electrónico: abrant@fe.up.pt

Resumo

Neste artigo, apresentam-se de forma sistemática as técnicas correntes de observação, registo e controlo de fissuração de paredes de alvenaria não estrutural, indicando as vantagens e condicionantes de cada uma das técnicas.

Apresentam-se também, ainda que de forma sucinta, as principais estratégias de diagnóstico deste tipo de fissuração.

Palavras-chave: Alvenaria, Fissuração, Patologia, Diagnóstico.

1 Introdução

A patologia não-estrutural dos edifícios assenta em quatro causas principais: fissuração, acção da água, envelhecimento e degradação dos materiais, e, por último, desajustamento face a exigências funcionais.

O fenómeno da fissuração em elementos de construção sem função estrutural é cada vez mais frequente, sendo conhecidas as suas consequências em termos de desempenho das construções e dos custos da sua reabilitação [1]. A progressiva tomada de consciência das populações em relação aos direitos que lhes assistem enquanto utentes (consumidores) desses edifícios, tem conduzido a um grande esforço do sector da construção em acções de diagnóstico desses defeitos e na preparação de intervenções de reabilitação, nem sempre conduzidas da forma mais sistemática e objectiva.

* Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Laboratório de Construções.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Secção de Construções Cívicas.

O processo de diagnóstico, isto é, a determinação das causas das anomalias dos edifícios a partir das suas manifestações e consequências, tem sido muito investigado, e é tarefa complexa, quer pela dificuldade de estabelecer relações biunívocas entre as causas e os efeitos, quer pela coexistência de diversas causas e de diversos defeitos que, por vezes, se condicionam mutuamente.

O diagnóstico da fissuração das paredes não estruturais não pode limitar-se à verificação, caso a caso, da validade de uma extensa lista de causas pré-definidas. Essa tarefa, além de morosa e onerosa, é muitas vezes impossível de levar a cabo face ao desconhecimento da história do edifício, desde o projecto à utilização, e à dificuldade de obter o necessário conhecimento físico, químico e mecânico dos materiais e elementos construtivos em causa.

Este generalizado défice de informação obriga a um cuidadoso processo de observação e registo dos defeitos, que permita ao investigador criar uma imagem o mais real possível da patologia e da sua história, qualquer que seja a sofisticação do método ou das ferramentas de apoio ao diagnóstico/decisão de que disponha. Verifica-se, no entanto, que as operações de observação, registo e controlo da fissuração são frequentemente pouco cuidadas e sistemáticas, tendo como resultado uma reduzida eficiência das acções de diagnóstico e uma deficiente avaliação da oportunidade e pertinência das acções de reabilitação, mesmo nos casos em que esta é tecnicamente correcta.

2 Observação, Registo e Controlo de Fissuras

2.1 Observação, descrição e registo

No domínio restrito da fissuração de paredes de alvenaria não-estrutural, devem observar-se, não só as fissuras e as paredes fissuradas, mas também o edifício no seu conjunto e o seu espaço circundante. No que respeita às fissuras, os diversos especialistas organizam de forma também diversa a sua observação. Na Tabela 1 [1], citam-se, a título de exemplo, *Bonshor* [2], *Thomaz* [3], *Drège* [4], *Grimm* [5] e o CIB [6]. Comparando as várias propostas, verifica-se que não é possível ordená-las em termos de qualidade ou eficácia, uma vez que estas dependem da sua conjugação com os métodos de interpretação e análise que vierem a ser utilizados para o diagnóstico. Da síntese deste tipo de listas que descrevem a fissuração e da experiência de cada investigador, nascem, muitas vezes, fichas de inquérito específicas.

O registo de toda esta informação deve ser feito sob diversas formas: descrições escritas, esquemas, registo fotográfico e, eventualmente, vídeo. Os esquemas ilustrativos permitem realçar os aspectos mais relevantes, de forma clara e concisa, e são um complemento imprescindível ao registo fotográfico.

O BRE [7] incentiva a utilização de esquemas gráficos elementares para a descrição e registo de fissuras em paredes, para os quais propõe convenções simples (Figura 1 [1]). Também é corrente usar esquemas tridimensionais elementares para a descrição, quer de desníveis nas paredes (por exemplo ao longo de uma fiada de tijolo à vista), quer de desaprumo das mesmas paredes.

2.2 Técnicas de controlo da evolução das fissuras

As fissuras das paredes de alvenaria podem permanecer imutáveis durante longos períodos (fissuras estáveis), mas, na maior parte dos casos, apresentam alterações com o tempo por diversos motivos (fissuras não estabilizadas):

- A sua causa é cíclica ou apresenta actividade aleatória no tempo;
- A sua causa é constante e persistente ou tem actividade evolutiva;
- A fissura, uma vez criada, reflecte as variações dimensionais do elemento construtivo, por acção da temperatura e humidade;
- Os bordos da fissura degradam-se sob a acção de agentes erosivos;
- A fissura é colmatada com detritos dos seus bordos e poeiras do ar;
- A fissura é colmatada pela criação de sais nas suas faces, originados pela entrada de água pela fissura e sua posterior evaporação.

As fissuras estáveis ou estabilizadas indicam, em geral, que as causas cessaram ou, pelo menos, que deixaram de ter efeito sobre esse local, o que não significa que os seus efeitos nefastos tenham terminado, como é o caso das infiltrações. Neste caso a reabilitação encara um problema estático.

No caso das fissuras não estabilizadas — fissuras *vivas* — não é possível prever, em geral, nem a sua estabilização, nem os danos futuros. Há que distinguir, todavia, as fissuras com evolução muito significativa, resultante da persistência ou agravamento das causas, daquelas que sofrem variações fortuitas e sem consequências. Essa distinção só pode ser feita com o acompanhamento da evolução das fissuras (por ex.: largura, desfasamento e comprimento) durante longos períodos, o que é oneroso e impossível de realizar para toda e qualquer fissura. Deste modo, cabe sempre ao investigador tomar a decisão sobre a realização ou não da instrumentação e acompanhamento das fissuras.

A largura inicial das fissuras pode ser avaliada com rigor de 1 mm, estimando visualmente eventuais subdivisões desta medida. No entanto, o acompanhamento da evolução das fissuras exige maior precisão (cerca de 0,1 mm [7]), que não é alcançada por alguns dos dispositivos e equipamentos correntes, que são descritos na Tabela 2. Aliás, algumas destas técnicas (por ex. os testemunhos de gesso ou de vidro) apenas permitem saber se houve ou não

movimento, mas não permitem medi-lo nem caracterizá-lo. A Figura 2 [1] ilustra algumas das técnicas de acompanhamento da evolução das fissuras.

Tabela 1: Aspectos a privilegiar na observação de fissuras (1.ª parte).

Autor	Aspectos a observar nas fissuras
<p><i>Bonshor</i> [2]</p>	<p>Recomenda que se observem as fissuras, anotando:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Largura, direcção e textura (incluindo a direcção da textura); - Sinais de compressão, tracção rotação ou corte; - Localização, distribuição e frequência; - Outras fissuras potencialmente relacionadas com as fissuras analisadas; - Danos, distorções, desvios da planeza e da verticalidade; - Quando estão em correspondência com outros movimentos observados (afastamento de telhas, distorção de portas e janelas, etc.); - Quando são contínuas ao longo de membranas de impermeabilização; - Quando, situadas nas paredes exteriores, também se observam na face interior correspondente; - Quando, situadas nas paredes divisórias, se podem observar nas duas faces; - Quando, situadas em coberturas ou pavimentos, se podem observar nas duas faces (se existir acesso visual nas duas faces); - Quando existe uma degradação semelhante noutras zonas do edifício; - Quando existe uma degradação semelhante em edifícios vizinhos; - A idade ou a sua estimativa.
<p><i>Thomaz</i> [3] citando BRE Digest 217</p>	<p>Informações a recolher no levantamento local:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incidência, configuração, comprimento, abertura e localização da fissura; - Idade aproximada da fissura, do edifício e época em que foi construído; - Se a mesma trespassa o elemento fissurado, em toda a sua espessura.; - Se uma fissura semelhante aparece num elemento de construção paralelo ou perpendicular ao examinado; - Se uma fissura semelhante aparece em pavimentos contíguos; - se uma fissura semelhante aparece em edifício vizinho; - Se o aparecimento da fissura é intermitente ou a sua abertura varia durante o ano (sazonalmente); - Se a fissura já foi reparada anteriormente; - Se ocorreu alguma modificação profunda nas imediações da obra; - Se em redor da fissura aparecem outras manifestações patológicas, como humidade, descolamentos, manchas de ferrugem e bolor, eflorações, etc.; - Se nas proximidades da fissura existem tubagens ou cabos embutidos; - Se existem na obra caixilhos comprimidos; - Se as fissuras se manifestam preferencialmente em algumas fachadas; - Se existem deslocamentos relativos, na perpendicular à superfície; - Se a abertura da fissura é constante ou tem estreitamento numa direcção; - Se a fissura é acompanhada por destacamentos de material indicativos de corte; - Se existem condensações ou infiltrações de água da chuva no edifício; - Se o edifício está a ser correctamente utilizado.

Tabela 1: Aspectos a privilegiar na observação de fissuras (2.ª parte).

Autor	Aspectos a observar nas fissuras
<p><i>Drège</i> [4]</p>	<p>Observar e registar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A orientação: vertical, horizontal, inclinada (indicar o ângulo em relação à horizontal), mista (várias direcções), qualquer; - O traçado ou forma: rectilínea, curva, qualquer, simples, múltipla ou composta (com descrição do traçado), segundo as juntas ou através dos dois materiais (caso específico das alvenarias); - A localização geral: tipo de elemento construtivo; - A localização específica de fissuras horizontais ou inclinadas: zona inferior, média ou superior; - A localização específica de fissuras verticais: zonas laterais (ou arestas), zona central, localizações diversas; - A importância da fissuração em função de : número (repetição, repartição regular ou irregular); desenvolvimento ou comprimento, largura (mensurável, não mensurável, variável ou constante), espessura relativa (superficial, parcial ou totalmente trespassante), visibilidade a olho nu, espessura (até 0,2 mm, de 0,2 mm a 2 mm e maiores que 2 mm), ser ou não complanar com o elemento construtivo, haver ou não desfasamento entre as duas faces da fissura; - Aspectos particulares: data da primeira ocorrência, efeitos secundários observados, penetração de ar ou água, manchas de humidade, funções exigidas às construções.
<p><i>Grimm</i> [5] e CIB [6]</p>	<p>Observar e registar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localização da fissura: inexistente, entre tijolos e argamassa, contínua através do tijolo e da argamassa, só nos tijolos, só nas juntas de argamassa; - Forma da fissura: quebrada, aos degraus, rectilínea, rectilínea com degraus, de largura variável aumentando no cimo, no fundo, nos lados do elemento construtivo - Largura (< 0,1 mm, 0,1 mm a 1 mm, 1 mm a 5 mm, > 5 mm, ou variável, indicando o tipo de variação); - Posição no elemento construtivo: esquina, canto, central, periferia, parte de cima, parte de baixo, cimo, fundo; - Padrão da fissura: vertical, horizontal, diagonal, longitudinal.

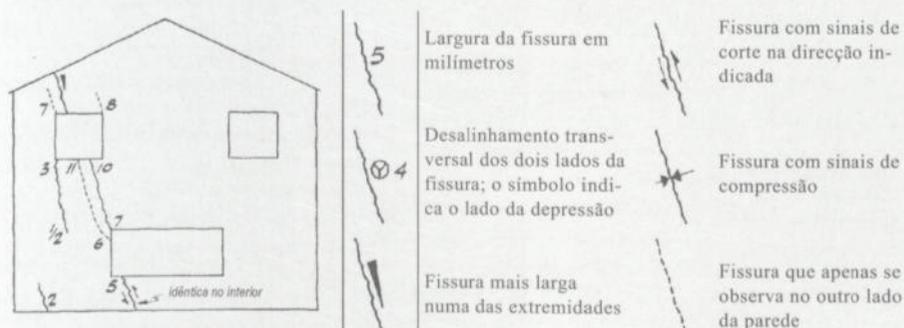


Figura 1: Exemplo de registo gráfico de fissuração de paredes.

Tabela 2: Técnicas de acompanhamento das fissuras no plano da parede[1] (1.ª parte).

Dispositivo ou Equipamento	Funcionamento	Observações
Testemunho rígido de gesso	O gesso forma uma ligação rígida sobre a fissura que vai partir com pequenos deslocamentos relativos dos dois lados da fissura, permitindo, por vezes, observar a direcção e amplitude desse deslocamento.	Para uso no interior. Dimensões entre 5 mm × 50 mm × 100 mm e 10 mm × 100 mm × 200 mm. Recomenda-se a amassadura de gesso puro com 70 % de água (em peso). Com um módulo de elasticidade baixo pode não fissurar com pequenos deslocamentos.
Testemunho rígido de gesso, cal e cimento	Idem.	Para uso no exterior. Alguns autores recomendam apenas cal e cimento ou cal e gesso.
Testemunho de vidro	Placa de vidro colada de ambos os lados da fissura que parte com o seu deslocamento relativo.	Muito frágil e difícil de colar ao suporte em toda a extensão. É difícil avaliar a direcção e amplitude do movimento relativo a partir da fractura do vidro.
Testemunho de papel	Fita de papel colada dos dois lados da fissura que rasga ou enrugua com os movimentos relativos.	Só detecta grandes movimentos. É muito vulnerável à acção da humidade.
Luneta e régua de ranhuras graduadas	Observa-se a fissura ampliada, com auxílio da luneta, verificando qual das ranhuras graduadas corresponde à sua largura (precisão: 0,1 mm).	Rigor limitado. Serve apenas para determinação da largura inicial. Pode ter fonte de iluminação incorporada.
Fissurómetro ou micrómetro óptico	Luneta que inclui duas escalas graduadas ortogonais, dispensando o uso de régua (precisão de 0,1 mm).	Idem. Pode ser usada para avaliar a evolução das fissuras, quando usada em conjunto com dois traços de referência ortogonais sobre a zona fissurada.
Réguas graduadas corrediças ou extensómetros mecânicos (plástico, metal ou vidro)	Duas peças rígidas graduadas ou com simples traços de referência que correm uma sobre a outra quando se verificam movimentos relativos dos dois lados. Os de plástico opaco têm variantes para medir deformações lineares no plano da parede com registo de máximo e mínimo, deformações perpendiculares ao plano da parede, evolução de inclinações e deformações complexas no plano da parede (translação oblíqua e rotação).	Os extensómetros de metal ou vidro limitam-se, em geral, a graduações lineares de referência. Os mais versáteis — pela sua reduzida espessura, flexibilidade e resistência à humidade — são os de plástico. A precisão é variável, mas, muitas vezes, não ultrapassa 1 mm.

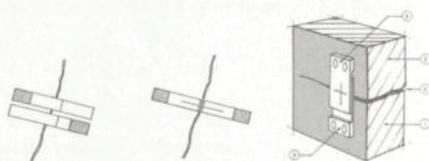
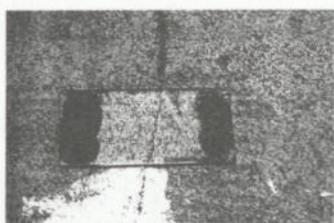
Tabela 2: Técnicas de acompanhamento das fissuras no plano da parede[1] (2.ª parte).

Dispositivo ou Equipamento	Funcionamento	Observações
Extensómetros eléctricos	Extensómetro com configuração especial com filamentos de comprimento variável ou filamentos sucessivamente quebráveis, permitindo medir afastamentos de duas zonas distintas, em função da variação da resistência eléctrica do extensómetro.	Eficácia reduzida ou nula com redução da largura das fissuras, uma vez que são flexíveis. Obrigam à ligação a um <i>data-logger</i> mas permitem o registo automático, periódico, dos deslocamentos.
Dilatómetro ou comparador digital, também conhecido por fissurómetro electrónico.	Equipamento de precisão (até 0,002 mm) que mede a evolução da distância entre dois testemunhos metálicos (base) colocados um de cada lado da fissura, distanciados de cerca de 200 mm. A colocação de testemunhos e a aferição é feita com barra de <i>invar</i> apropriada.	Tem limites máximos de variação de 2 mm. Antes da deformação exceder esse valor, é necessário alterar a posição dos testemunhos, transportando os valores anteriores.
Paquímetro digital ou mecânico com base de 2 ou 3 pontos (parafusos)	Constituindo uma base com 2 ou 3 parafusos, fixados rigidamente à parede através de furo preenchido com resina <i>epoxi</i> , o paquímetro mede a evolução das distâncias entre eles (vertical e horizontal, no caso da base triangular, que deve ter um ângulo recto, com lados vertical e horizontal ou rodados 45°).	O paquímetro ou craveira digital tem maior precisão, atingindo sem dificuldade 0,01m, enquanto o mecânico se limita a 0,1 mm. Os parafusos devem ser de latão e a sua fixação deve ser criteriosa, seguindo as recomendações da bibliografia da especialidade.

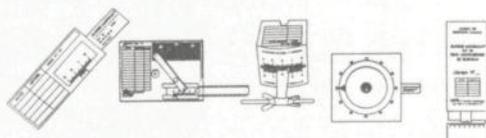
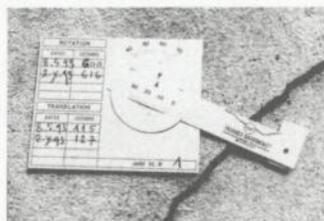
3 Técnicas de Diagnóstico das Causas da Fissuração

A informação obtida pela observação e eventual instrumentação das paredes e, em particular, das fissuras, só tem interesse se puder conduzir às causas das anomalias, o que é feito com recurso às técnicas de diagnóstico, domínio que transcende o presente trabalho. Recordar-se apenas que o processo de diagnóstico da fissuração é semelhante ao que se aplica a diversas outras anomalias e que, não obstante as diferenças na formulação dos diversos autores, deve ter sempre as seguintes etapas fundamentais [8]:

- Contactos iniciais, definição do problema, definição contratual;
- Visita de reconhecimento ao local;
- Recolha de documentação relativa ao projecto e à obra;
- Entrevistas com projectista, construtor, utentes, etc.;
- Segunda visita para documentar o estado da obra e recolher amostras;
- Pesquisa bibliográfica;



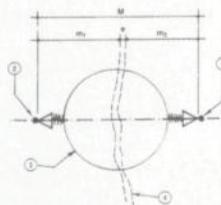
Testemunhos fixos e deslizantes.



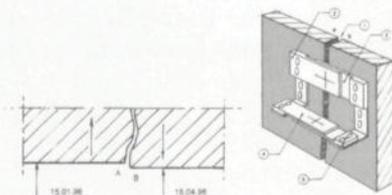
Extensómetros mecânicos.



Paquímetro digital com base de medida triangular.



Fissurómetro digital.



Medição do desnivelamento das fissuras.

Figura 2: Exemplos de equipamentos e procedimentos para acompanhamento da evolução das fissuras em paredes [1].

- Terceira visita (eventual) para testes *in situ*;
- Investigação relativa às situações menos usuais;
- Preparação de relatório final;
- Apoio técnico à resolução de problemas legais e do eventual litígio.

Bonshor [2], referindo-se especificamente ao caso da fissuração, define etapas muito claras, a seguir indicadas, em que é evidente a preocupação com o perigo das conclusões precipitadas e erróneas, resultantes duma deficiente fundamentação e de opiniões pré-concebidas:

- Apreciação geral do edifício e das zonas envolventes;
- Observação das fissuras e registo das características respectivas;
- Primeira estimativa da gravidade das fissuras e investigação das causas, com esforço proporcional à gravidade pressuposta nesta fase;
- Distinção entre as fissuras originadas pelo próprio elemento fissurado e as originadas por elementos confinantes, identificando, neste caso, se as cargas ou deformações têm origem interna ou externa ao edifício;
- Primeira estimativa das variações dimensionais devidas à variação da temperatura e da humidade, incluindo movimentos iniciais irreversíveis, verificando se estes valores correspondem à fissuração observada e se podem explicar coerentemente o seu aparecimento. Verificar se a idade das fissuras é coerente com a cronologia das causas apontadas;
- Verificar a hipótese de uma explicação química para a fissuração;
- Busca de um mecanismo físico que possa estabelecer uma relação causa-efeito para cada potencial causa identificada nesta primeira parte da investigação, rejeitando as causas para as quais não for encontrado esse mecanismo. Rever as restantes causas para confirmar ou eliminar evidências da sua efectiva actuação;
- Verificação pormenorizada da consistência dos mecanismos e das relações causa-efeito das causas que ultrapassaram os processos de eliminação precedentes, verificando se a explicação só é consistente com a contribuição de várias causas em simultâneo;
- Rever as causas apuradas no processo de sucessiva eliminação, sem desprezar a hipótese da sua actuação simultânea, nem a hipótese de o aprofundamento sucessivo da investigação vir a indicar que a análise e pressupostos iniciais têm que ser repensados;
- No caso de haver fortes indicações de que as causas estejam ligadas a movimentos de fundação, ponderar a necessidade de monitorar os mo-

vimentos, distinguindo as situações de deformação do terreno por causas ligadas ao edifício (assentamento resultante das cargas impostas) dos movimentos alheios ao edifício (consolidação ou empolamento).

A maior dificuldade reside, em geral, na obtenção de conclusões inequívocas e devidamente fundamentadas, pelo que os investigadores fazem uso de diversas ferramentas de auxílio nesta tarefa: listas e tabelas de verificação, fichas de diagnóstico e reparação, bases de dados, árvores de falhas, árvores de diagnóstico ou decisão e sistemas periciais, que constituem o método mais promissor neste domínio, em particular quando se aproximam do raciocínio humano, com recurso às técnicas de inteligência artificial, permitindo tratar dados ambíguos ou imprecisos.

4 Nota Final

O projecto de reabilitação de fissuras em paredes não estruturais é um processo complexo que obriga a um esforço prévio de diagnóstico, para o qual é necessário recolher um vasto leque de informação sobre as fissuras, os elementos construtivos fissurados e a sua envolvente. Essa recolha de informação é muitas vezes desordenada e ineficaz. No presente artigo não se propõe um método específico para essa tarefa mas recordam-se várias técnicas, a partir das quais leitor poderá construir, com coerência, o seu guião.

5 Bibliografia

- [1] Silva, J. Mendes. *Fissuração das alvenarias. Estudo do comportamento das alvenarias sob acções térmicas*. Tese de Doutoramento – Universidade de Coimbra, Coimbra, 1998.
- [2] Bonshor, R. B. & Bonshor, L. L. *Cracking in Buildings*. BRE, Garston, 1996.
- [3] Thomaz, Ércio. *Trincas em edifícios. Causas, prevenção e recuperação*. Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo; Inst. de Pesq. Tecnológicas, IPT/EPUSP/PINI, S. Paulo, 1989.
- [4] Drège, Jacques *et al.* *La pathologie des ouvrages de bâtiment*. Éditions WEKA, Paris, 1997.
- [5] Grimm, C. T. *Masonry Cracks: A Review of the Literature*. ASTM STP 992. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1988.
- [6] CIB – W086. *Building Pathology - A State-of-the-art Report*. CIB Report, Publication 155. Delft, Netherlands, June 1993.
- [7] BRE – Digest 343. *Simple measuring and monitoring of movement in low-rise buildings. Part 1: cracks*. BRE, Garston, 1989.
- [8] Grimm, C. T. *Masonry Failure Investigations*. ASTM STP 778. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, 1982.

ANOMALIAS MAIS COMUNS NAS FACHADAS DE EDIFÍCIOS DO CONCELHO DE GUIMARÃES

Luís Bragança*

Correio electrónico: braganca@civil.uminho.pt

Manuela Guedes de Almeida†

Correio electrónico: malmeida@civil.uminho.pt

Ricardo Mateus‡

Correio electrónico: ricardomateus@civil.uminho.pt

António Silva§

Correio electrónico: antoniosilva@civil.uminho.pt

Resumo

Com este trabalho, pretende-se aprofundar a temática da conservação/manutenção dos edifícios ao nível da sua envolvente vertical, fazendo uma listagem das avarias que podem surgir neste elemento, discutindo as eventuais causas que estarão na sua origem.

Esta listagem será realizada através da observação e análise de patologias existentes em edifícios situados no Concelho de Guimarães. Pretende-se também determinar as degradações típicas em cada um dos tipos de revestimento utilizados.

Palavras-chave: Anomalias de Fachadas, Reabilitação de Fachadas.

1 Introdução

O objectivo da indústria da construção é a realização de um produto que satisfaça a funcionalidade requerida pelo dono da obra, as necessárias condições de segurança para o efeito das acções tanto naturais como humanas, com características de durabilidade que permitam a redução da deterioração ao lon-

* Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

† Prof.^a Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

‡ Assistente Estagiário do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho.

§ Eng.^o Civil, colaborador do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho.

go do seu ciclo de vida. Para além de ter de reunir estas valências o produto deve ser compatível com os interesses económicos do Dono da Obra, ser esteticamente agradável e compatível com a sua envolvente e possuir o menor impacte ambiental possível. De todos estes seis vectores aquele que indubitavelmente ocupa primordial importância no mercado da construção nacional é o económico, sendo lamentavelmente menosprezados os vectores da durabilidade e de impacte ambiental. É generalizado o erróneo conceito de não se admitir que periodicamente seja necessário efectuar alguns investimentos de modo a salvaguardar a correcta conservação dos edifícios.

Os edifícios possuem uma vida útil limitada e seguem um processo de envelhecimento desde a sua construção até à sua reabilitação e demolição. Inevitavelmente, com o passar dos anos, os edifícios tendem a deteriorar-se, através das acções físicas, químicas e mecânicas a que estão submetidos, chegando a atingir um estado de degradação que não é compatível com o conforto e a segurança estrutural previstos durante a fase de projecto, podendo mesmo em casos extremos verificar-se a sua ruína total ou parcial.

Aceitando que a vida útil de um edifício de construção recente se desenvolve num período de 50 até 100 anos, facilmente constatamos que o período mais alargado e conseqüentemente onde ocorrem maiores investimentos, corresponde às fases de utilização, exploração, manutenção e reabilitação. Racionalizar este período de vida através de uma gestão concertada, apoiada no bom conhecimento das características técnicas do edifício e de uma manutenção adequada, é imprescindível para se obterem as melhores condições de serviço ao menor custo [1].

A reabilitação de um edifício pode-se definir como um conjunto de trabalhos periódicos programados ou não programados que visam a recuperação e/ou a modificação de uma funcionalidade principal (a sua habitabilidade) por meio de uma série de actuações sobre os elementos construtivos danificados pelo uso ou pela falta de manutenção. Através de uma adequada manutenção dos edifícios, na qual são considerados aspectos económicos e funcionais, é possível controlar a evolução da sua degradação.

Num edifício, e salvo raras excepções, os elementos que tendem a apresentar avarias mais prematuramente são aqueles que integram a sua envolvente. A fachada, elemento fundamental da envolvente vertical de um edifício, actua como barreira protectora às variações atmosféricas, estando portando sujeita a fortes agressões físicas, químicas e mecânicas (chuva, vento, poluição, acções de gelo/degelo, variações de temperatura, choques acidentais, entre outros), o que se traduz no aparecimento de patologias da mais diversa ordem. Deste modo, a fachada é o elemento construtivo que se degrada mais rapidamente e que carece de um maior número de intervenções de conservação durante a vida de um edifício.

Antes de se iniciar o estudo das patologias mais correntes nas fachadas dos edifícios do Concelho de Guimarães importa em primeiro lugar caracterizar a estrutura da produção da indústria da construção em Portugal, comparando-a com a dos países da Europa Ocidental e Europa Central.

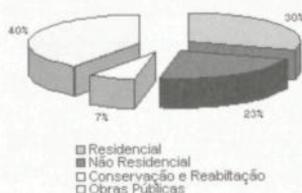
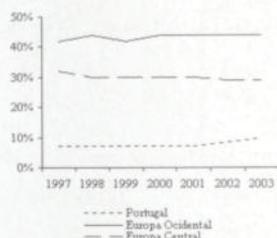


Figura 1: Peso da conservação e reabilitação de edifícios no mercado da construção [2].

Figura 2: Estrutura da produção da indústria de construção portuguesa [3].

Em Portugal o sector produtivo da conservação/reabilitação apresenta uma quota de mercado que não chega aos 10 % do total do sector da construção civil e obras públicas, enquanto que nos restantes países europeus este sector ronda em média os 35 % (Figuras 1 e 2). Esta diferença justifica o estado de degradação avançado não só das fachadas como também dos restantes elementos construtivos de grande parte dos imóveis nacionais.

Apesar da baixa representatividade deste sector é ainda preciso ter em consideração que grande parte do mesmo corresponde às obras de conservação e manutenção promovidas pelos organismos públicos com vista à recuperação do património histórico nacional. Esta situação não é causada pela ausência da necessidade de realização deste tipo de trabalhos pois, o parque habitacional existente em Portugal, segundo dados que remontam a 1996, necessita de um investimento de aproximadamente 25 000 000 € nas áreas de reabilitação e manutenção, embora no referido ano tenham sido investidos pouco mais de 1 450 000 € [4].

Em Portugal, a reduzida expressão e expansão do sector produtivo da conservação/reabilitação é explicado por vários factores do passado e alguns do presente, destacando-se a antiga política portuguesa de arrendamento aliada às altas inflações registadas nas décadas de 70 e 80 que inviabilizavam a execução de obras de manutenção por parte dos proprietários.

Tendo em conta o estado avançado de degradação de muitos dos imóveis do parque habitacional nacional, a tendência será o crescimento gradual do sector da reabilitação, essencialmente devido a investimentos privados, para

atender às necessidades do mercado, e aos apoios técnico-financeiros por parte do estado, como por exemplo, os programas RECRIA e Polis. A médio prazo o mercado da reabilitação tende a ser um importante concorrente do mercado da construção nova.

2 Caracterização do Parque Habitacional do Concelho de Guimarães

De modo a caracterizar-se o parque habitacional do Concelho de Guimarães e compará-lo com o parque habitacional nacional, usar-se-ão os dados recentemente apresentados pelo Instituto Nacional de Estatística (I. N. E.), no Recenseamento Geral da Habitação (R. G. H.), de 2001 [5].

O parque habitacional registou uma forte expansão na última década, com a edificação de $\frac{1}{5}$ do total dos edifícios existentes, e um acréscimo de 20,5 % nos alojamentos e 10,4 % nos edifícios.

De acordo com os resultados apresentados, existiam em Portugal 3 149 973 edifícios e no Concelho de Guimarães 38 894. Consideraram-se como edifícios recentes todos aqueles que foram construídos a partir de 1946 pois, a partir desta data grande parte das construções partilha das mesmas soluções tecnológicas. São objecto de estudo neste trabalho todos os edifícios construídos a partir dessa data. O peso dos edifícios recentes é de 80,3 % em Portugal e de 83 % em Guimarães, o que surpreende, numa primeira análise, por se tratar de uma cidade milenar (Figuras 3 e 4).

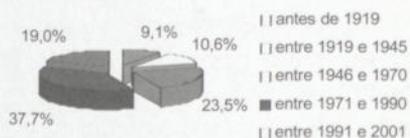


Figura 3: Ano de construção dos edifícios em Portugal [5].

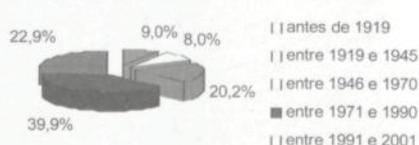


Figura 4: Ano de construção dos edifícios no Concelho de Guimarães [5].

De acordo com os dados do I. N. E, cerca de 49 % dos edifícios nacionais construídos nesse intervalo de tempo necessitam de algum tipo de reparação. A realidade no Concelho de Guimarães não é diferente da realidade nacional onde também cerca de metade dos edifícios construídos nesse período carece de algum tipo de intervenção (Figuras 5 e 6).

Comparando a necessidade de intervenção ao nível da envolvente vertical dos edifícios (paredes e caixilharias exteriores) podemos também verificar que as realidades nacional e do Concelho de Guimarães são muito semelhantes,

onde cerca de 40 % do total de edifícios construídos a partir de 1946 necessita de algum tipo de intervenção (Figuras 7 e 8).

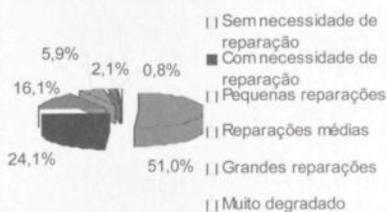


Figura 5: Estado de conservação dos edifícios novos, em Portugal [5].



Figura 6: Estado de conservação dos edifícios novos no Concelho de Guimarães [5].

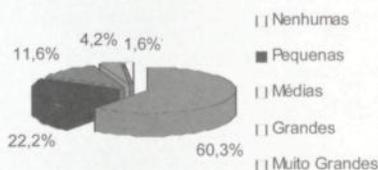


Figura 7: Necessidades de conservação das paredes e caixilharias exteriores, dos edifícios novos, em Portugal [5].

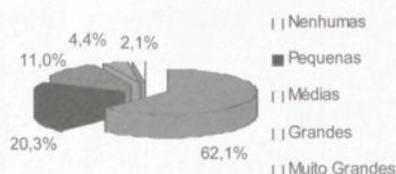


Figura 8: Necessidades de conservação das paredes e caixilharias exteriores, dos edifícios novos, no Concelho de Guimarães [5].

Uma vez que as degradações e o seu grau de gravidade está intimamente relacionado com os materiais de revestimento utilizados na fachada, importa agora definir os tipos de revestimento mais comuns verificados aquando do R. G. H. [5]. Os resultados apresentados relativamente ao tipo de materiais usados no revestimento exterior dos edifícios novos mostram que são quatro os tipos de revestimento mais utilizados, sendo predominante a utilização da pedra (38,2 %), logo seguido por *betão-à-vista* (31,6 %), *reboco tradicional ou marmorite* (24,1 %) e por fim pelos *ladrilhos ou pastilhas cerâmicas* (5,8 %). Apenas cerca de 0,3 % dos edifícios não possui qualquer um destes quatro tipos de revestimentos (Figura 9).

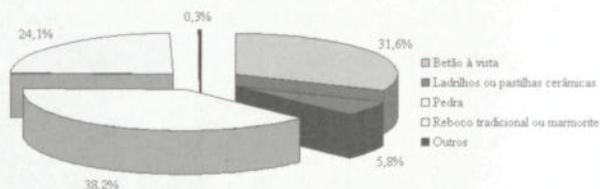


Figura 9: Materiais utilizados no revestimento exterior dos edifícios novos no Concelho de Guimarães [5].

3 Anomalias Mais Comuns nas Fachadas dos Edifícios do Concelho de Guimarães

3.1 Metodologia do levantamento das anomalias

O levantamento das anomalias mais comuns existentes nas fachadas dos edifícios foi realizado por amostragem, tendo sido analisadas um total de sessenta fachadas de edifícios construídos no período de 1946 a 2001, implantados no centro e na periferia da cidade de Guimarães. De modo a que os resultados fossem o mais próximo possível da realidade, a amostra seleccionada incidiu sobre a totalidade dos edifícios implantados em quatro diferentes arruamentos, escolhidos aleatoriamente.

O levantamento foi efectuado por intermédio de uma Ficha de Inspeção onde foram registadas as anomalias encontradas, o seu grau de gravidade, o revestimento utilizado, a orientação da fachada, o ano de construção e o respectivo registo fotográfico.

3.2 Resultados obtidos

3.2.1 Caracterização dos revestimentos de fachada e da idade dos edifícios da amostra

A distribuição percentual por tipo de material de revestimento de fachada na amostra é significativamente diferente dos resultados obtidos no R. G. H. Na amostra, o material de revestimento mais utilizado é o *reboco tradicional ou marmorite* (em 46,5 % das fachadas), enquanto que os resultados do R. G. H. demonstram que o revestimento mais utilizado é a *pedra* (38,2 %). Tal diferença pode ser justificada pelo facto da amostra incidir predominantemente no meio urbano, onde a necessidade de construção em altura inviabiliza a utilização de paredes resistentes de alvenaria de pedra. Com estranheza, a amostra

diverge também bastante dos resultados obtidos no R. G. H. ao nível do acabamento *betão-à-vista*, pois enquanto que no R. G. H. o peso deste acabamento é de 31,6 % na amostra este valor não vai além dos 3,6 %. A maior parte dos edifícios da amostra pertence ao período de construção de 1946 a 1970 (Figura 10).

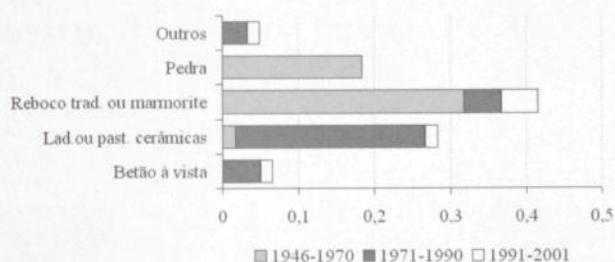


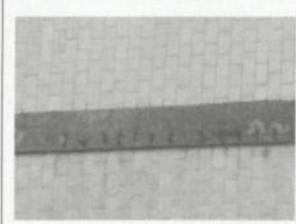
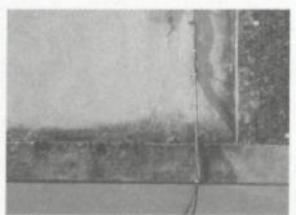
Figura 10: Materiais utilizados no revestimento e idade dos edifícios da amostra.

3.2.2 Anomalias encontradas

Na Tabela 1, encontram-se reunidos cada um dos diferentes tipos de anomalia identificados pelos técnicos do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções da Universidade do Minho (L. F. T. C.), acompanhada por um registo fotográfico.

Na amostra analisada, as quatro degradações que surgem em maior número de fachadas são: a humidade, em 52 % dos casos; seguida pelas avarias nas caixilharias (48 %); pelas avarias nas instalações (45 %); e por fim pelas eflorescências (38 %). Apenas 20 % das fachadas dos edifícios analisados não possuem qualquer anomalia (Figura 11). O gráfico da Figura 12 mostra a expressão de cada tipo de anomalia relativamente ao número total de anomalias encontradas. A humidade é assim a anomalia que se manifesta um maior número de vezes, sendo a causa principal de muitas das degradações encontradas. É de salientar que as fachadas orientadas a Norte, cujos períodos dos ciclos de humedificação/secagem são mais prolongados, são as que apresentam mais anomalias, contribuindo para o destaque da humidade no seio das anomalias encontradas, visto cerca de 80 % destas fachadas apresentarem problemas a este nível. As avarias nas caixilharias ocupam o segundo lugar porque a maioria dos vãos das fachadas dos edifícios construídos há mais de 20 anos empregam caixilharias de madeira cujo estado de conservação é muito fraco na maior parte dos casos. Não foram encontrados grandes problemas nas caixilharias de alumínio.

Tabela 1: Anomalias encontradas.

		
<p>Corrosão das armaduras.</p>	<p>Corrosão das guardas das varandas.</p>	<p>Avarias nas caixilharias.</p>
		
<p>Falta de estanquidade das juntas de dilatação.</p>	<p>Desprendimentos de revestimentos.</p>	<p>Eflorescências.</p>
		
<p>Erosão mecânica.</p>	<p>Fissuras estruturais.</p>	<p>Fissuras não estruturais.</p>
		
<p>Manchas de humidade.</p>	<p>Vegetação parasitária.</p>	<p>Avarias nas instalações.</p>

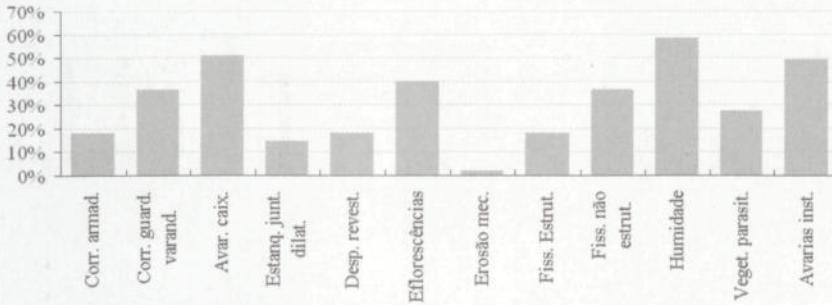


Figura 11: Percentagem de edificios por anomalia.

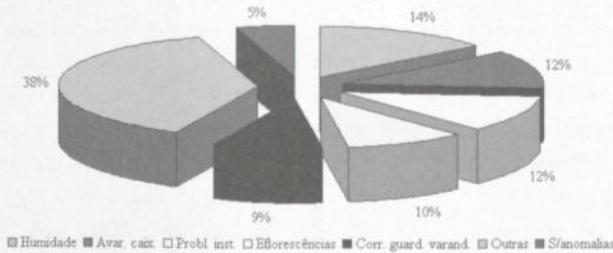


Figura 12: Expressão de cada tipo de anomalia.

3.2.3 Anomalias típicas em cada um dos tipos de revestimento

Nesta secção os dados obtidos são analisados de forma a verificar quais as patologias mais correntes em cada um dos tipos de revestimento de fachada. Para tal, as patologias encontradas foram caracterizadas em função do tipo de revestimento (Figura 13).

Os valores apresentados no gráfico da Figura 13, pretendem traduzir a quantidade de fachadas que possuem a anomalia em causa, relativamente ao total fachadas com um determinado revestimento.

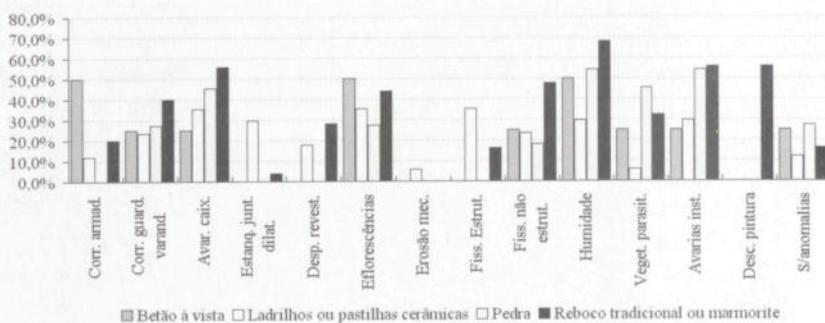


Figura 13: Caracterização das anomalias por tipo de revestimento.

Os resultados obtidos mostram que o tipo de revestimento que levanta menos problemas é a *pedra*, onde cerca de 28 % dos edifícios que utilizam este material não apresenta qualquer anomalia. Tal facto não deixa de ser interessante pois a maior parte dos edifícios que utilizam este material (geralmente através do aproveitamento do paramento exterior das alvenarias resistentes em pedra), corresponde ao grupo dos edifícios mais antigos da amostra, construídos nas décadas de 40 e 50, o que atesta a elevada durabilidade deste material. Apresenta-se a seguir uma breve análise das anomalias que possam estar relacionadas com o tipo de revestimento utilizado.

Corrosão das armaduras

O revestimento que mais padece deste tipo de anomalia é o *betão-à-vista*, onde a anomalia estava presente em 50 % dos casos. A corrosão das armaduras tem origem num erro corrente de construção, isto é, na reduzida espessura da camada de recobrimento que não protege suficientemente as armaduras contra à acção dos cloretos (Cl⁻) e do dióxido de carbono (CO₂). No caso do *reboco tradicional ou marmorite* a incidência deste tipo de anomalia é muito menor (20 %) o que é justificado pela protecção complementar protagonizada pela camada de reboco. É desprezável o número de ocorrências verificadas nos revestimentos de *ladrilhos ou pastilhas cerâmicas* justificado pela elevada impermeabilidade deste tipo de elementos. Não foram encontrados problemas a este nível nas fachadas de *pedra*, pois a maior parte dos casos analisados correspondem à utilização de alvenaria resistente não armada de pedra.

Desprendimentos de revestimentos

Como se pode verificar, o tipo de revestimento que mais problemas apresenta a este nível é o *reboco tradicional ou marmorite* (28 %), logo seguido pelo revestimento de *ladrilhos ou pastilhas cerâmicas* (18 %).

No caso do revestimento em *reboco tradicional ou marmorite*, a causa poderá estar relacionada com a grande permeabilidade destes materiais. Se o revestimento for poroso, a água entranha-se e dissolve os sais existentes no reboco, transportando-os até perto da superfície onde cristalizam devido à evaporação da água. Ao cristalizarem aumentam de volume provocando a delaminação de zonas superficiais do reboco.

O desprendimento de peças cerâmicas poderá resultar de diversos factores, sendo o mais comum a falta de estanquidade das juntas entre ladrilhos que, ao permitirem a passagem de água, facilitam o afluxo dos sais solúveis provenientes do produto de assentamento até à superfície de contacto entre o material de assentamento e as peças cerâmicas, onde cristalizam.

Eflorescências

Esta anomalia é característica do revestimento *betão-à-vista*, onde se manifesta em 50 % dos casos analisados. Também existe um número considerável de fachadas revestidas com *reboco tradicional ou marmorite* com problemas a este nível (cerca de 45 %). O mecanismo de formação dos sais é semelhante ao fenómeno descrito anteriormente mas, neste caso ocorre sobre o paramento exterior, formando manchas de sais. Os revestimentos com menos problemas a este nível são em primeiro lugar a *pedra* e de seguida os *ladrilhos e pastilhas cerâmicas*.

Fissuras não estruturais

Esta anomalia manifesta-se num maior número de vezes no *reboco tradicional ou marmorite*, em cerca de 50 % dos casos. Esta anomalia é corrente neste tipo de revestimentos devido à retracção das argamassas utilizadas como reboco. As argamassas retraem devido à incorrecta dosagem dos seus constituintes e/ou por se aplicar o revestimento sobre o suporte a elevadas temperaturas e/ou não previamente humedecido, o que favorece a rápida evaporação da água necessária à hidratação do cimento.

Manchas de humidade

Esta anomalia manifesta-se principalmente nas fachadas orientadas a Norte (cerca de 80 % destas fachadas apresentam esta anomalia) e em revestimentos com elevada absorção. Os longos períodos de humidificação favorecem o aparecimento de manchas de humidade. Esta anomalia verifica-se em mais de 65 % das fachadas revestidas com *reboco tradicional ou marmorite*. O revestimento menos afectado por este tipo de anomalia é o constituído por *ladrilhos ou pastilhas cerâmicas*.

4 Conclusão

Pela análise dos resultados obtidos verifica-se que apenas 20 % dos edifícios de construção recente implantados no Concelho de Guimarães não necessita de qualquer tipo de intervenção ao nível das fachadas. Este não é um problema associado unicamente à realidade deste Concelho mas sim à de todo o país, pelo que é urgente criar uma legislação adequada, que incentive os proprietários dos imóveis a realizar uma manutenção periódica não só das fachadas do edifício, mas também dos restantes elementos. Muitos dos problemas encontrados nos revestimentos de reboco tradicional podiam ser evitados através da pintura periódica das fachadas. Realça-se que é importante uma escolha criteriosa dos materiais a aplicar no revestimento das fachadas em função da sua orientação, devendo-se aplicar revestimentos mais impermeáveis nas fachadas orientadas a Norte pois, são aquelas que mais sofrem o ataque da humidade. O revestimento com *ladrilhos ou pastilhas cerâmicas* mostra-se adequado a esta orientação. Como o problema da degradação é comum nos edifícios de construção recente, dever-se-á alertar os projectistas, construtores e promotores imobiliários para que cada vez mais se construa com qualidade, preferindo sempre materiais provenientes de empresas certificadas e a adjudicação da construção a empresas certificadas que garantam mão-de-obra qualificada.

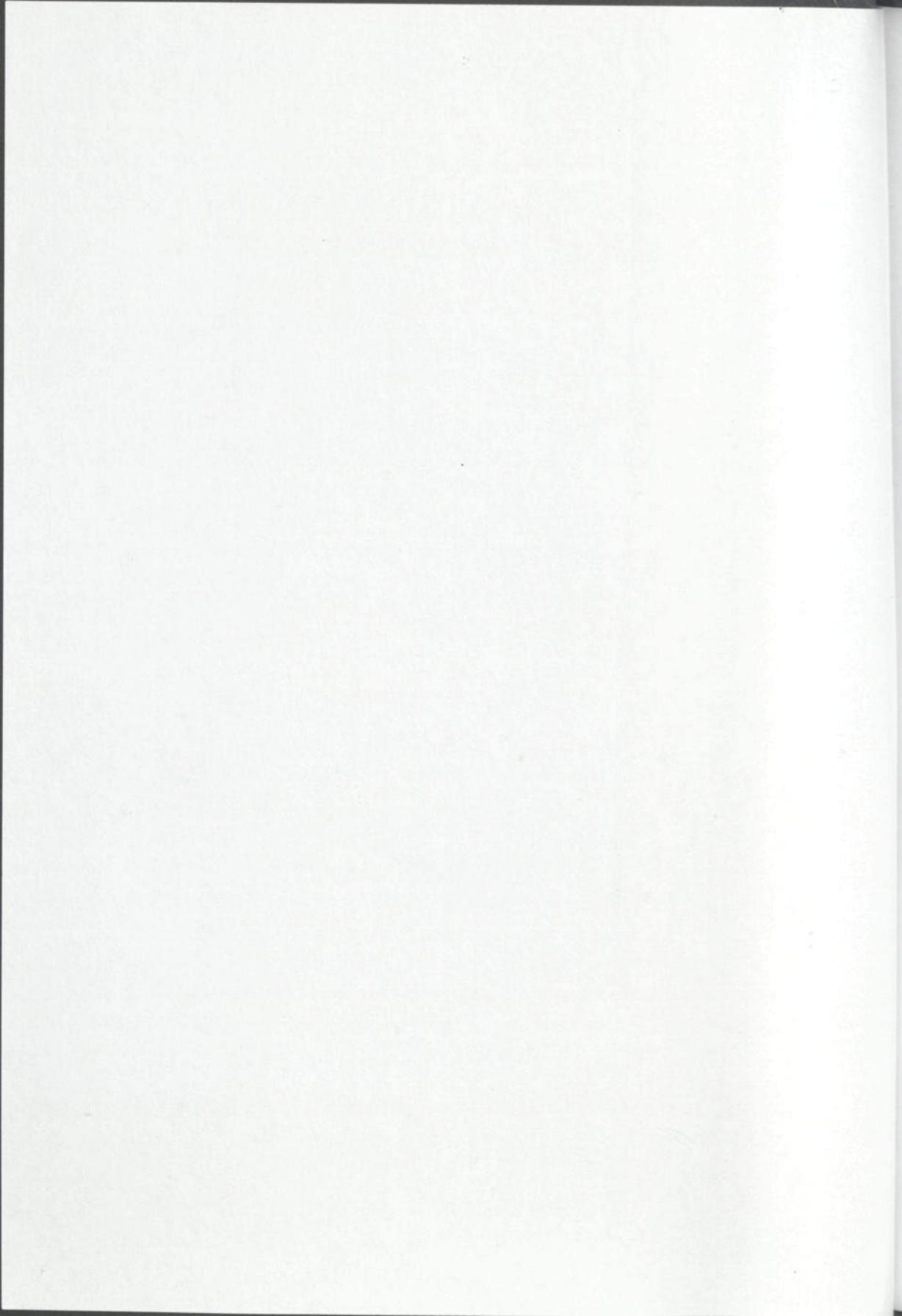
5 Bibliografia

- [1] Boixereu, X. C. *El mantenimiento de edificios*, artigo publicado na revista "Montajes e Instalaciones", edição de Março de 1996.
- [2] Fonte: www.euroconstruct.com, em 2001.
- [3] Piedade, A. *Competividade Indust. e Tecn. na Construção de Edifícios*, Jornada sobre Competividade da Indústria da Construção, Lisboa, 1995.
- [4] Afonso, F. *et al. O Sector da Construção – Diagnóstico e Eixos de Intervenção*, IAPMEI, Lisboa, 1998.
- [5] INE (Instituto Nacional de Estatística), *Recenseamento Geral da Habitação*, Censos de 2001, Março, 2001.



SESSÃO II





TRATAMENTO DA HUMIDADE ASCENSIONAL EM CONSTRUÇÕES HISTÓRICAS

Maria Isabel Morais Torres*

Correio electrónico: itorres@dec.uc.pt

Vasco Peixoto de Freitas†

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

O estudo do comportamento à humidade dos materiais e elementos de construção reveste-se da maior importância para a caracterização do seu desempenho, nomeadamente no que se refere à durabilidade, à estanquidade e à degradação do aspecto.

O problema da humidade nos edifícios tem suscitado desde sempre um grande interesse. Contudo, a explicação científica para as diversas formas de manifestação a que está associada tem sido, muitas vezes, difícil dada a complexidade dos fenómenos.

É importante referir que a maior parte das construções históricas existentes no nosso país apresentam problemas de humidade, em particular de humidade ascensional, que arrasta consigo, não só a degradação dos revestimentos, o aspecto desagradável que advém da conseqüente presença de limos e musgos nas paredes, como também um ambiente demasiado húmido e bastante prejudicial à saúde. Por outro lado, muitas delas foram já alvo de obras de reparação, na tentativa da eliminação do problema, mas, maior parte, sem êxito, pois, até agora, o único tratamento totalmente eficiente é a prevenção.

Palavras-chave: Humidade, Humidade ascensional, Transferência de humidade, Modelação.

1 Introdução

A humidade ascensional, em paredes de construções antigas, manifesta-se quando as paredes estão em contacto com água ou com solo húmido, sempre

* Assistente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

que os materiais constituintes apresentam elevada capilaridade e quando não existe um corte hídrico.

A alimentação de água pode ter duas origens: as águas freáticas e/ou as águas superficiais (Figura 1).

A ascensão capilar progride até que se verifique o equilíbrio entre a evaporação e a capilaridade. Sempre que se reduzem as condições de evaporação com a colocação de um material impermeável, como por exemplo azulejo, a altura da ascensão capilar aumenta até se atingir um novo equilíbrio a uma cota mais elevada (Figura 2).

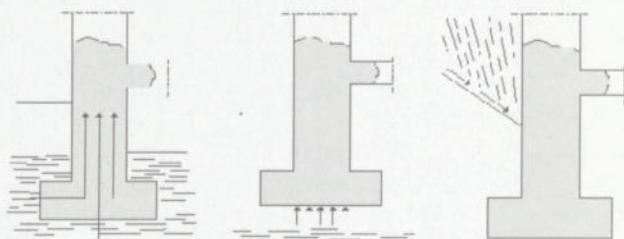


Figura 1: Formas de humificação de paredes em contacto com o terreno.

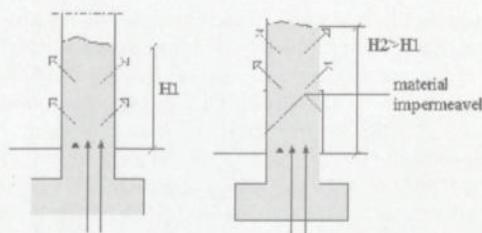


Figura 2: Influência da colocação de revestimentos impermeáveis na altura atingida pela humidade ascensional.

A altura de progressão da humidade ascensional depende das condições climáticas das ambiências (temperatura e humidade relativa), da insolação, da espessura da parede, da porosidade dos materiais e da presença de sais. Na prática, as humidades ascensionais atingem a cota mais elevada no Inverno, quando a humidade relativa do ar está mais próxima da saturação.

A secagem dos materiais depende da concentração de vapor/água na ambiência e na superfície dos materiais, podendo ser calculada pela expressão seguinte:

$$g = \beta (C_s' - C_a') \quad (1)$$

em que,

- g — densidade de fluxo, em $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
- β — coeficiente de transferência superficial de humidade, em m/s ;
- C_s' — concentração de vapor de água à superfície, em kg/m^3 ;
- C_a' — concentração de vapor de água no ar, em kg/m^3 .

Nas construções históricas não há grande diferença entre a temperatura do ar interior e a temperatura da superfície interior das paredes, pelo que quando a humidade relativa é elevada a diferença de concentração $C_s' - C_a'$ tende para zero, bem como o fluxo de secagem.

Por sua vez, a insolação provoca a elevação da temperatura da face exterior da parede, que por termomigração conduz a humidade para o interior, condicionando o comportamento de fachadas com diferentes orientações.

2 Técnicas de Tratamento

2.1 Generalidades

O tratamento de paredes com problemas de humidade ascensional poderá passar pela utilização das seguintes tecnologias:

- Ventilação da base das paredes;
- Execução de corte hidrico;
- Criação de um potencial oposto ao potencial capilar;
- Aplicação de drenos atmosféricos/tubos de arejamento;
- Ocultação de anomalias.

2.2 Ventilação da base das paredes

Visando eliminar o contacto da água líquida com os elementos de construção pode executar-se canais periféricos ventilados (Figura 3). Esta técnica deve ser preferencialmente utilizada quando a cota da fundação da parede for superior à do nível freático.

As valas deverão possuir inferiormente uma caleira de drenagem das águas infiltradas e superiormente serem cobertas mas ventiladas. A sua grande vantagem é possibilitarem a secagem da parede.

No interior da parede pode conceber-se um sistema de ventilação constituído por manilhas de betão associadas a um dispositivo de ventilação mecânica higroregulável.

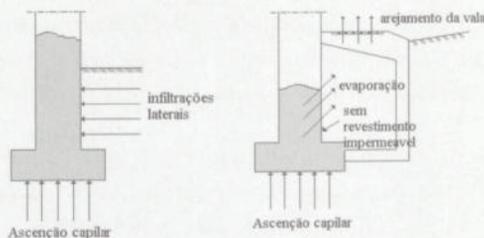


Figura 3: Princípio de funcionamento das valas periféricas ventiladas.

2.3 Execução de corte hídrico

Recorremos a este tipo de solução quando estamos em presença de água cuja fonte de alimentação é o nível freático. Pretende-se com estes métodos estabelecer um corte hídrico na base das paredes, impedindo a ascensão da água. Na prática, podemos optar pela redução da secção absorvente, pela introdução de barreiras estanques ou pela introdução de produtos hidrófugos ou tapa-poros.

2.3.1 Redução da secção absorvente

Esta técnica consiste em reduzir a secção absorvente substituindo parte do material por um espaço de ar. A água absorvida poderá evaporar-se mais facilmente através das aberturas criadas.

Embora seja uma ideia interessante é, obviamente, uma técnica pouco usada por questões arquitectónicas e estruturais e apenas aplicável em certos edifícios.

2.3.2 Introdução de barreiras estanques

Esta tecnologia pressupõe a substituição de parte da alvenaria por material estanque, em toda a espessura da parede. Podem utilizar-se membranas betuminosas ou placas de chumbo, como camadas impermeáveis.

O método de *Schöner Turn* consiste na introdução de chapas de aço inoxidável onduladas, nas paredes afectadas. Esta introdução é executada com a ajuda de martelos pneumáticos. Como se pode imaginar, a aplicação desta tecnologia está restringida a alvenarias executadas com elementos regulares, com juntas contínuas e bem definidas. Tem como limitação as vibrações produzidas pelo martelo.

Massari desenvolveu um método que consiste na execução de carotagens sucessivas em troços de aproximadamente 45 cm a 50 cm de comprimento. Executa-se uma primeira série de furos circulares tangentes uns aos outros. Seguidamente faz-se uma segunda série de furos com centros nos pontos de tangência dos anteriores. Após a limpeza do espaço assim obtido, procede-se ao seu enchimento com argamassa de ligantes sintéticos. Uma vez endurecida a argamassa avança-se para o troço seguinte (Figura 4).

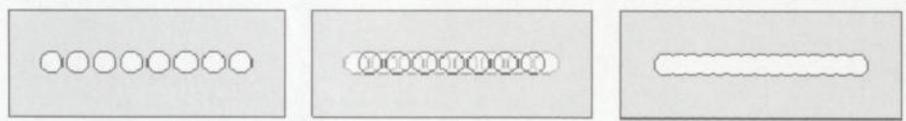


Figura 4: Princípio do método de *Massari*.

2.3.3 Introdução de produtos hidrófugos ou tapa-poros – barreira química

Como vimos anteriormente qualquer das barreiras físicas tem limitações de aplicação. Por outro lado, o aparecimento de novos materiais sintéticos conduziu à execução de barreiras químicas, conseguidas à custa da introdução de produtos que irão criar uma barreira estanque que impedirá a progressão da água.

Estas barreiras devem localizar-se o mais próximo possível do nível do terreno (cerca de 15 cm acima deste). Executa-se furação de acordo com o representado na Figura 5, conforme temos acesso apenas a uma face da parede ou às duas.

Após a execução dos furos procede-se à introdução dos produtos de tratamento por difusão ou injeção:

- **Difusão:** os furos poderão ser horizontais ou inclinados no sentido da base da parede, nos quais são introduzidas garrafas contendo o produto (Figura 6);
- **Injeção:** o produto é introduzido na parede com a ajuda de um equipamento de pressão. A injeção tem a vantagem de facilitar a *expulsão* da água contida nos poros e a penetração do produto.

Existe um vasto conjunto de produtos aplicáveis por injeção ou difusão. No entanto, para que uma barreira química cumpra totalmente os objectivos para que foi concebida, deve ter-se em atenção o seguinte:

- A eficácia de qualquer produto depende de uma boa penetração do mesmo e da continuidade da barreira. Na prática é muito difícil verificar esta continuidade;
- A composição da parede condiciona o produto a aplicar e o modo de aplicação.

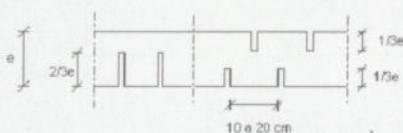


Figura 5: Esquema de furação para introdução dos produtos.

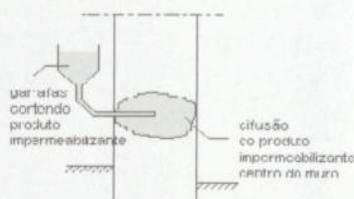


Figura 6: Introdução de produtos de tratamento por difusão/gravidade.

2.4 Sistemas electro-osmóticos

Os sistemas electro-osmóticos criam um potencial eléctrico contrário ao potencial capilar. Utilizam-se técnicas activas semi-passivas e passivas, qualquer delas com eficácia reduzida.

2.5 Drenos atmosféricos / tubos de arejamento

Knappen propõe a introdução de tubos de arejamento com o objectivo de ventilar e cortar o potencial capilar.

Por ser muito económico, este sistema foi muito utilizado, mas com pouco sucesso.

2.6 Ocultação das anomalias

Quando não temos condições objectivas de eliminar as causas que estão na origem da humidade ascensional, pode optar-se pela ocultação das anomalias, executando uma parede no interior.

A nova forra deve estar afastada de 5 cm a 10 cm da parede inicial, sem qualquer ponto de contacto. A sua base deve ser impermeabilizada com argamassas com polímeros. O espaço de ar deve ser ventilado para o exterior (Figura 7).

Os inconvenientes desta técnica, além da redução de área, são a alteração do aspecto e a necessidade de compatibilização com o contorno.

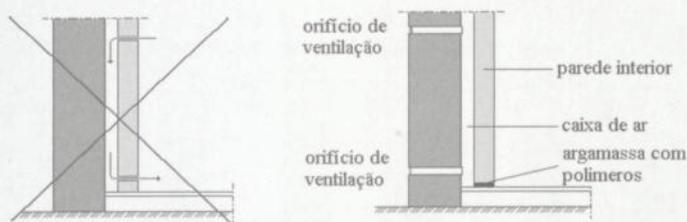


Figura 7: Ocultação das anomalias.

3 Modelação da Humidade Ascensional em Paredes

O programa de computador WUFI-2D, desenvolvido no *Fraunhofer Institute Building Physics*, permite analisar a transferência de calor e humidade em paredes em regime bidimensional. A simulação exige o conhecimento das propriedades dos materiais: densidade, porosidade, calor específico, condutibilidade térmica, factor de resistência à difusão de vapor e difusividade líquida. Necessita também do fornecimento dos dados climáticos do exterior e do interior do edifício.

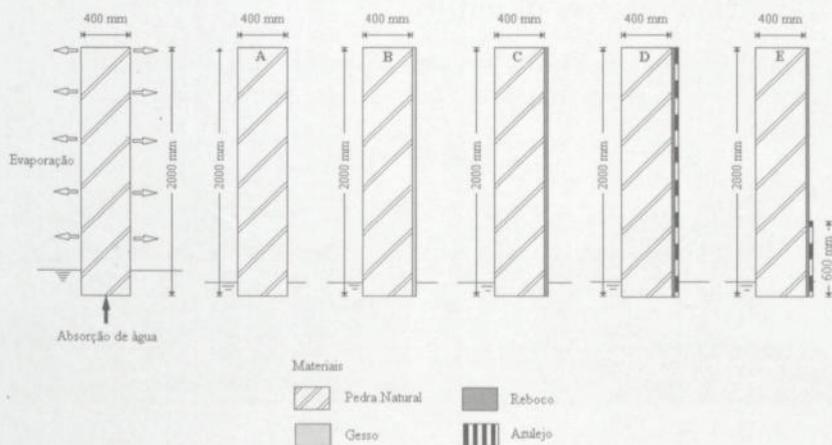


Figura 8: Configuração de paredes objecto de simulação.

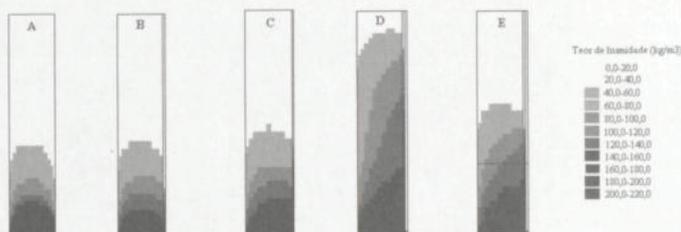


Figura 9: Influência das condições fronteira na cota atingida pela humidade ascensional.

A título de exemplo, apresentamos na Figura 9 os resultados das simulações efectuadas para algumas configurações de parede definidas na Figura 8.

Pode concluir-se que a colocação de camadas pouco permeáveis ao vapor faz aumentar a cota atingida pela humidade ascensional (Configuração D).

4 Proposta de Tratamento da Humidade Ascensional da Igreja de Vilar de Frades

4.1 Descrição sumária do edifício

A Igreja de Vilar de Frades, também designada Igreja do Mosteiro de São Salvador, fica situada em Areias de Vilar, no concelho de Barcelos.



Figura 10: Fachada principal da Igreja. Figura 11: Aspecto exterior da capela-mor.

4.2 Caracterização dos elementos construtivos em análise

As paredes exteriores e os contrafortes são em alvenaria de granito. Existe uma diferença de cerca de um metro entre a cota do terreno que confina as pa-

redes do alçado Norte e da capela-mor e a cota do pavimento interior, pelo que estas paredes se encontram parcialmente enterradas. Por razões de segurança, a fundação dos quatro contrafortes do alçado Norte da Igreja foi reforçada recentemente. O reforço foi realizado com elementos de betão armado adjacentes à parede da Igreja e que contornam a face exterior dos contrafortes.

Os pavimentos interiores são todos em lajeado de granito. O pavimento da nave central foi alvo de uma intervenção recente com vista ao tratamento da humidade.

4.3 Descrição do problema

Nas visitas que realizámos ao edifício verificámos que existiam “manchas verdes” na face interior das paredes da capela-mor, sobretudo até cerca de 1 metro de altura (Figura 12) e que o lajeado dos pavimentos da capela-mor e das capelas laterais se encontravam completamente saturados de humidade (Figura 13), zonas ainda não intervencionadas.

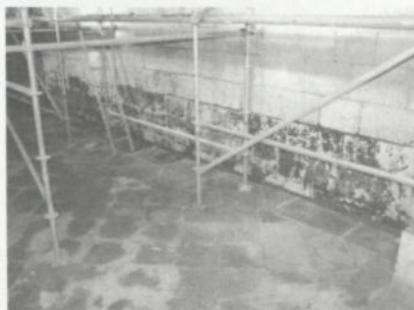


Figura 12: Paredes interiores da capela-mor.



Figura 13: Manchas de humidade no pavimento da capela com Pia Baptismal.

4.4 Causas do problema

A humidade existente quer na base das paredes, quer nos pavimentos que não foram alvo de intervenção, deverá ter origem na ascensão capilar.

Na situação em análise verificámos que as condições de evaporação são desfavoráveis devido à elevada humidade relativa e insuficiente ventilação no interior da Igreja.

Ao executar-se o reforço das fundações dos contrafortes foi colocada uma cortina de betão armado em parte da envolvente da Igreja, que foi posteriormente impermeabilizada. Embora tenha sido previsto uma drenagem periféri-

ca exterior ao reforço, a barreira que foi criada pode condicionar a transferência de humidade.

4.5 Metodologia para os trabalhos propostos

4.5.1 Impermeabilização e drenagem dos pavimentos da capela-mor, das capelas laterais e do transepto

O tratamento face à humidade ascensional dos elementos de construção em contacto com o terreno é complexo. No entanto, foi proposto que os pavimentos em lajeado de granito da capela-mor, das capelas laterais e do transepto sejam impermeabilizados, devendo-se realizar as seguintes operações:

- Levantamento do lajeado;
- Colocação de caixa de areia;
- Colocação de impermeabilização;
- Colocação de uma nova camada de areia;
- Recolocação do lajeado segundo a estereotomia e posições originais.

4.5.2 Ventilação da base das paredes

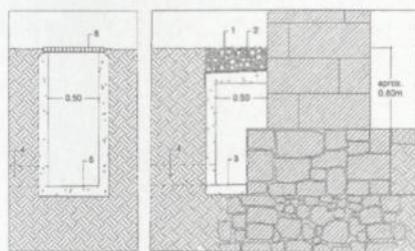
Existem diversas técnicas para o tratamento de paredes sujeitas aos efeitos da humidade ascensional tal como referido no § 2.

De modo a aumentar a capacidade de secagem das paredes em contacto com o solo, propomos a realização de um sistema de ventilação na sua base.

Na face exterior das paredes da envolvente deverá ser criado um canal de ventilação, constituído por elementos prefabricados de betão. Este canal será pontualmente aberto ao ar exterior por intermédio de um dispositivo de ventilação (Figura 14).

O canal deverá contornar as paredes exteriores e os contrafortes. A realização de uma cortina de betão, para reforço das fundações do alçado Norte, impermeabilizou a base das paredes impossibilitando o tratamento desta zona.

A ligação entre o canal prefabricado em betão e as caixas de ventilação deverá ser realizada com tubos de PVC.



LEGENDA:

- 1 - IMPERMEABILIZAÇÃO
- 2 - BRITA OU GODO
- 3 - CANAL DE VENTILAÇÃO EM BETÃO ARMADO PREFABRICADO
- 4 - LIGAÇÃO À REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS
- 5 - CAIXA DE VENTILAÇÃO
- 6 - GRELHA EM AÇO INOX



Figura 14: Pormenor do canal do sistema exterior de ventilação da base das paredes.

Figura 15: Pormenores do sistema interior de ventilação da base das paredes.

Na face interior das paredes a ventilação será executada de acordo o pormenor da Figura 15.

Existirão dois subsistemas distintos no interior da Igreja, ambos com ventilação forçada.

A admissão de ar ao subsistema do alçado Norte será realizada a partir de caixa da rede de ventilação exterior das paredes, junto à fachada Poente do transepto. A exaustão será realizada por um motor de velocidade variável que entrará em funcionamento quando a humidade relativa no exterior da Igreja for inferior à existente no interior da conduta de ventilação.

No subsistema Sul a admissão será feita por rasgos nas pedras dos degraus de duas capelas laterais. Esses rasgos estarão ligados a caleiras prefabricadas em betão, que conduzirão o ar à tubagem de ventilação ao longo do contorno das capelas. A exaustão será realizada para o claustro. Haverá extracção mecânica quando a humidade relativa no interior da tubagem de ventilação for superior à do interior da Igreja.

Cada subsistema de ventilação interior da base das paredes (hidroregulável) incluirá os seguintes equipamentos para controlo do dispositivo de extracção de ar:

- Duas sondas de humidade relativa e temperatura;
- Dois transmissores de humidade relativa e temperatura;
- Um módulo de controlo;

- Um sistema de aquisição de dados.

Uma das sondas será colocada no exterior e a outra no interior da tubagem de ventilação. As sondas serão ligadas a um módulo de controlo que, comparando os valores das duas humidades relativas (interior e exterior), irá ligar ou desligar o dispositivo de extracção do subsistema.

O sistema de aquisição de dados destina-se a armazenar os valores recolhidos pelas sondas para posterior apreciação do funcionamento do sistema.

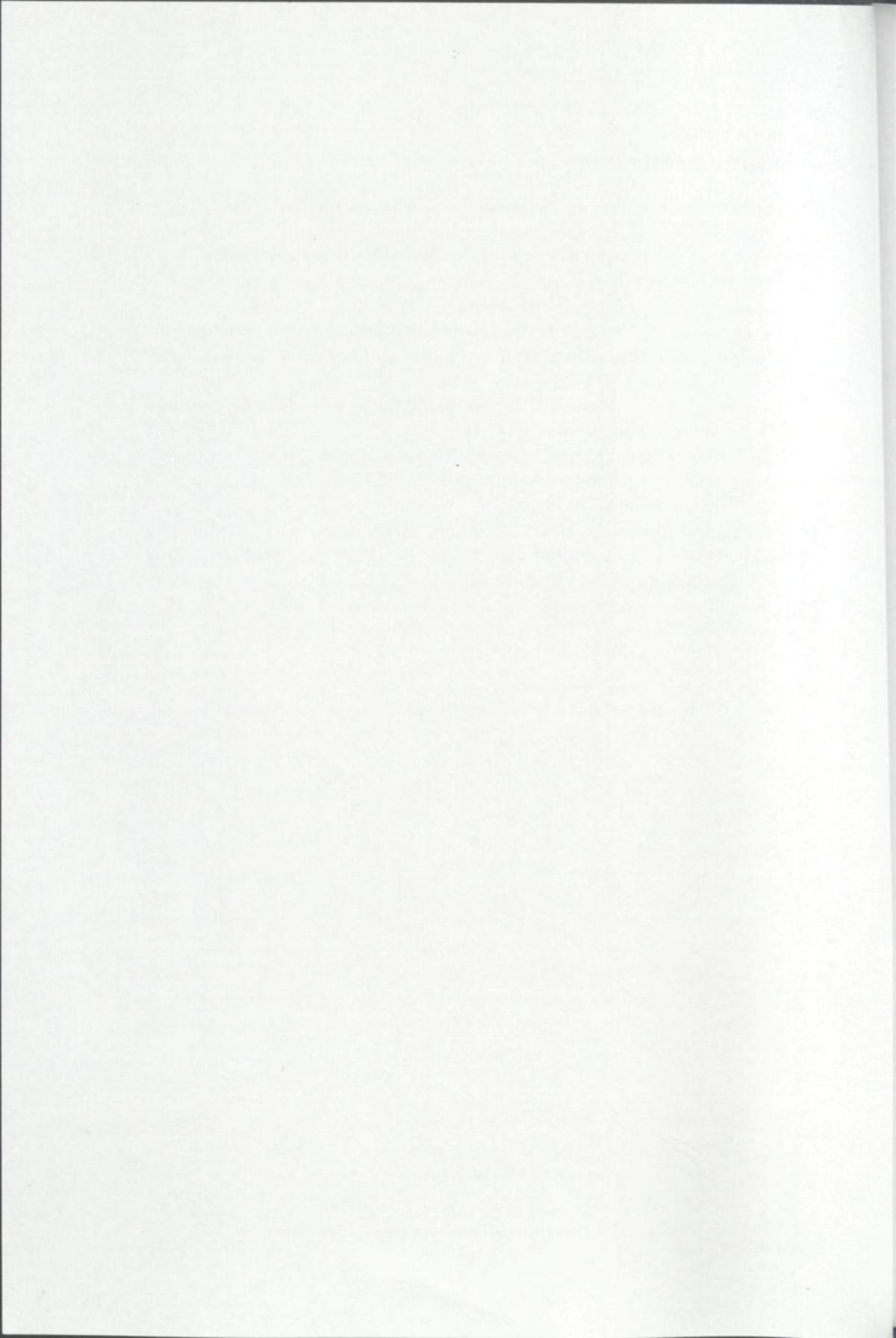
5 Conclusões

As principais conclusões deste trabalho são as seguintes:

- A prevenção constitui a melhor forma de tratamento contra as humidades ascensionais;
- Existem diversas técnicas de tratamento destinadas a construções históricas.
- A utilização de sistemas electro-osmóticos e de drenos atmosféricos/tubos de arejamento conduz a resultados deficientes;
- A ocultação das anomalias implica alteração do aspecto interior da parede e exige a ventilação do espaço de ar;
- A execução de um corte hídrico realizado pela injeção ou difusão de produtos químicos na base das paredes pode ser uma tecnologia interessante, mas cuja eficácia depende do tipo de produto seleccionado, da porosidade dos materiais e ainda do processo de aplicação;
- A ventilação da base das paredes é uma tecnologia simples que é objecto de investigação com vista à quantificação do desempenho das soluções;
- Pretende-se implementar na Igreja de Vilar de Frades um sistema de ventilação da base das paredes, para tratamento da humidade ascensional, que passa pela execução de um canal exterior ventilado naturalmente e pela criação de um dispositivo de ventilação no interior das paredes associado a ventilação mecânica, com um motor de velocidade variável higrorregulável.

6 Bibliografia

- [1] Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) *Les procédés de traitement des maçonneries contre l'humidité ascensionnelle*. Note d'information technique n.º 162. Bruxelles. Nov.-Dez. 1985.
- [2] Freitas, V. *Transferência de humidade em paredes de edifícios*. Tese de Doutoramento. Porto. FEUP. 1983.
- [3] Krus, M. *Moisture transport and storage coefficients of porous mineral building materials. Theoretical principles and new tests methods*. PhD Thesis. Stuttgart. IRB. 1996.
- [4] Torres, M. I. M. *Humidade ascensional em paredes*. Tese de mestrado. Coimbra. FCTUC. 1998.
- [5] Torres, M. I. & Freitas, V. *Experimental study of rising damp in hollow brick walls*. In 12th International Brick/Block Masonry Conference. Madrid. 25-28 de Junho de 2000.
- [6] Freitas, V.; Torres, M. I. M.; Ascensão, A. & Gonçalves, P. *Tratamento da humidade ascensional na Igreja de Vilar de Frades*. Estudos/Património. N.º3, pp. 54-62, 2002.



HUMIDADE EM CONSTRUÇÕES ANTIGAS DO CENTRO HISTÓRICO DE BRAGANÇA

Eduarda Luso*

Correio electrónico: eduarda@ipb.pt

Manuela Almeida†

Correio electrónico: malmeida@civil.uminho.pt

Paulo B. Lourenço‡

Correio electrónico: pbl@civil.uminho.pt

Resumo

Uma das causas mais comuns para o aparecimento de patologias em edifícios antigos é a presença de água. As manifestações patológicas associadas à água dependem da sua origem e da forma como esta penetra e se movimenta no interior dos elementos construtivos.

Constitui objecto desta comunicação a identificação e caracterização das várias formas de manifestação da humidade no interior das casas antigas do centro histórico de Bragança, mais precisamente na Cidadela, e o seu relacionamento com as condições de habitabilidade dos edifícios e hábitos dos seus moradores.

Palavras-chave: Reabilitação, Humidade, Levantamento, Centro Histórico.

1 Introdução

Muitos dos problemas existentes nos edifícios devem-se à presença de humidade que provoca a deterioração dos materiais de construção e proporciona condições insalubres para quem neles habita.

A humidade surgida nas habitações pode ser originada por fenómenos de condensação, por capilaridade, por infiltrações, entre outros. No entanto, as origens das anomalias podem não ser únicas, uma vez que é frequente que dois ou mais tipos de humidade apareçam associados [1].

* Assistente do 1.º Triénio da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança.

† Professora Auxiliar da Universidade do Minho.

‡ Professor Associado da Universidade do Minho.

A eliminação eficaz das manifestações patológicas provocadas pela presença de humidade englobará a elaboração de um diagnóstico adequado e a aplicação de soluções específicas a cada caso, de modo a impedir o ressurgimento de humidade.

A importância de acções de reabilitação do património construído torna relevante a análise da situação que se verifica no interior das habitações de parte do Centro Histórico de Bragança, de forma a avaliar o seu estado de degradação e as suas condições de habitabilidade. Para este efeito foram seleccionadas algumas das casas habitadas da Cidadela, as quais foi possível visitar e analisar. Nas habitações seleccionadas foram efectuadas medições horárias da temperatura ambiente e da humidade relativa do ar durante o período mais gravoso (Inverno).

2 Caracterização da Construção Habitacional da Cidadela

A Cidadela é o núcleo urbano circunscrito pelas muralhas do Castelo de Bragança. As construções da Cidadela são predominantemente de um ou dois pisos, com fachadas planas, de construção económica e que correspondem a populações com poucos recursos económicos. São frequentes as casas térreas, com um soalho interior que divide parcialmente a habitação em dois pisos, aproveitando o desnível da cobertura.

Apesar da lareira constituir um elemento presente na generalidade das habitações, não existem praticamente chaminés. A cozinha não é *forrada*, servindo a própria estrutura de madeira e telhas, de tecto. Em algumas habitações foram retiradas duas ou três telhas na cobertura para facilitar a evacuação dos fumos. Em outros casos, existe um forro, normalmente em aglomerado de madeira, leve e de fácil colocação. Este forro é susceptível a deformações com a presença de humidade e encontra-se amiúde em mau estado.

Os materiais utilizados na construção das paredes exteriores destas casas são fundamentalmente a pedra e o barro. As pedras mais utilizadas são o granito e o xisto. A alvenaria era realizada pelo sucessivo encaixe das pedras de diferentes dimensões, sendo as pedras maiores e mais lisas assentes no paramento exterior. Para preenchimento dos vazios utilizavam-se pedras mais pequenas e, essencialmente, barro, (Figura 1).

As paredes são, normalmente, rebocadas com argamassa de cal, resultando fachadas lisas de cor branca, não se fazendo notar os diferentes pisos caso existam. As aberturas para janelas e portas são suportadas por lintéis em madeira ou em cantaria de pedra. Nas aduelas é usada a pedra ou mesmo a própria alvenaria da parede. As vigas de madeira que suportam o soalho interior

apoiam directamente na alvenaria assim como o vigamento que suporta a cobertura.



Figura 1: Constituição das paredes de alvenaria.

As paredes interiores são em tabique fasquiado, também designado de taipa de rodízio (Figura 2) ou então em tabique não fasquiado. Esta última técnica consiste na construção de um esqueleto com barrotes de madeira, de tal maneira associados que permitem formar uma estrutura [2]. Os espaços vazios são preenchidos com materiais diversos, normalmente barro e palha, excepto nas partes destinadas às aberturas, (Figura 3).



Figura 2: Exemplo de parede interior em taipa de rodízio.



Figura 3: Parede interior com construção tipo *Fachwerk*.

3 Levantamento das Condições de Habitabilidade e Caracterização Higrométrica das Habitações

Com o intuito de estudar os problemas causados pela humidade, procedeu-se à análise de dezasseis habitações localizadas na Cidadela da cidade de Bra-

gança, o que corresponde a 25 % da totalidade dos edifícios habitados, (Figura 4).

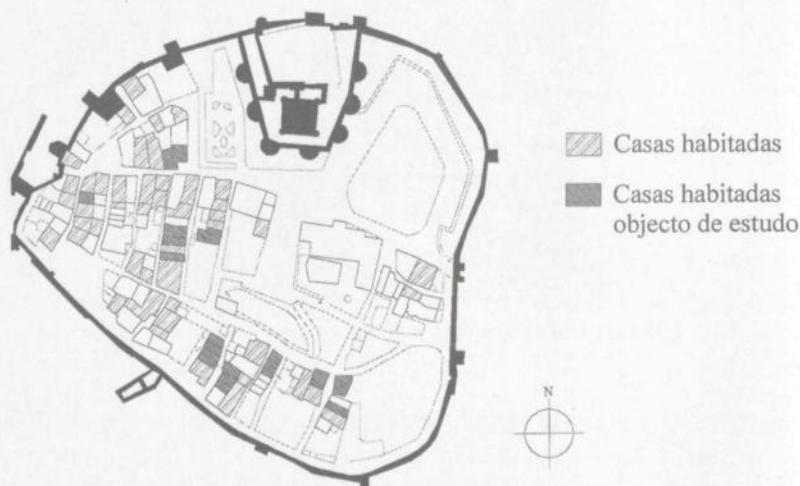


Figura 4: Casos observados no presente estudo.

Para todos os edifícios foram registados, por observação visual e com recurso a informações disponibilizadas pelos moradores, os seguintes dados:

- A constituição e espessura das paredes, o tipo, ocupação e áreas dos espaços habitacionais;
- Os hábitos dos ocupantes, nomeadamente no que diz respeito a sistemas de aquecimento utilizados e reparações efectuadas no edifício;
- A ventilação existente, principalmente em zonas de grande produção de vapor;
- A exposição solar de todas as fachadas;
- A análise exterior do estado da cobertura e do eventual sistema de recolha de águas pluviais.

O registo das anomalias encontradas nas paredes da parte interior do edifício, nomeadamente a existência de manchas de humidade, bem como a sua dimensão e localização na parede, a presença de eflorescências e criptoflorescências e o desenvolvimento de bolores, foi comprovado por registo fotográfico, conforme se ilustra na Figura 5, a título de exemplo.

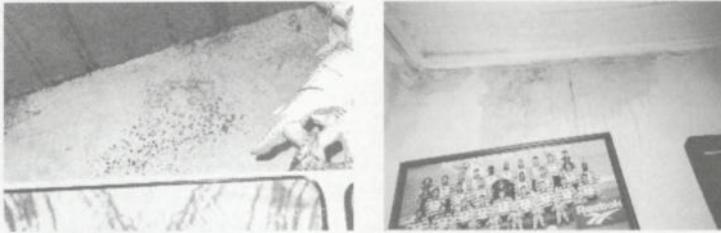


Figura 5: Registo fotográfico de algumas manifestações patológicas provocadas pela presença de humidade nos edifícios em estudo.

Para melhor caracterizar os problemas encontrados procedeu-se também à medição das condições termo-higrométricas do ar no interior das habitações no período considerado mais gravoso, ou seja, durante os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro. Apenas como exemplo das condições encontradas, apresentam-se na Figura 6 os valores horários da temperatura e humidade do ar no interior de uma habitação, ao longo de uma sequência de três dias no mês de Dezembro.

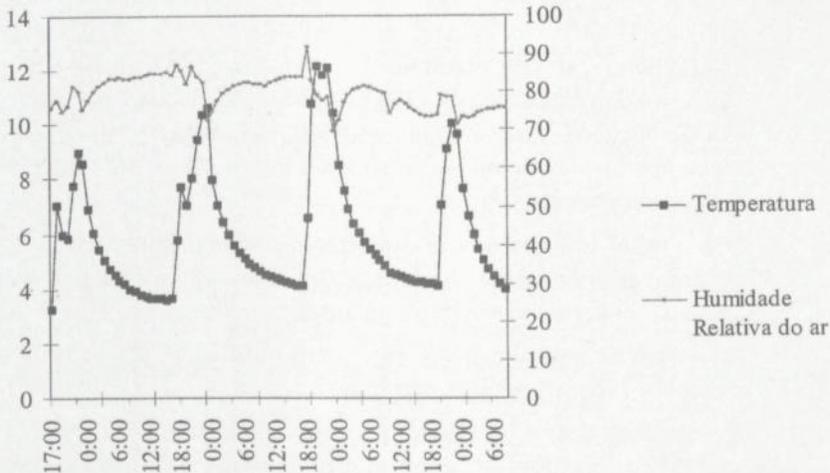


Figura 6: Registo das temperaturas e da humidade relativa numa das habitações em estudo.

Informações detalhadas sobre o levantamento e monitorização efectuadas podem ser encontradas em [3].

4 Análise dos Resultados

4.1 Aspectos gerais

A análise das habitações permitiu salientar os seguintes aspectos:

- Apesar do aspecto degradado de algumas habitações da Cidadela, 61,1 % delas encontram-se ainda habitadas, na sua maioria por população idosa. As habitações recuperadas representam apenas 3,7 % da totalidade dos casos;
- A ocupação dos edifícios não é numerosa. Residem na Cidadela 151 habitantes, numa média de 3 pessoas por fogo. Vinte e um desses habitantes vive sozinho, sendo 15 do sexo feminino e 6 do sexo masculino, o que corresponde a 13,9 % dos casos. A sobrelotação dos espaços não constitui, por isso, um factor de influência no aparecimento de humidade por condensação. As diversas actividades humanas, no entanto, aumentam a quantidade de vapor existente no ar, o que é bastante gravoso principalmente em espaços pequenos;
- Existe falta de ventilação dos espaços. Dentro dos casos observados, em 86,7 % existe pelo menos um compartimento interior sem ventilação;
- Os ganhos solares são reduzidos. As habitações têm, na maioria dos casos, uma orientação Este/Oeste. Mesmo nos casos em que a orientação das fachadas é para o quadrante Sul, as habitações têm ganhos solares reduzidos devido ao sombreamento provocado pelos edifícios construídos em frente;
- Não é usual o recurso a um aquecimento permanente interior. O aquecimento apenas ocorre nos compartimentos em uso e pontualmente, aquando da permanência dos ocupantes;
- O sistema de aquecimento a gás é muito utilizado, provocando um aumento do vapor de água existente no ar;
- A ventilação destas habitações é assegurada apenas pela abertura ocasional de janelas, pois não existem dispositivos mecânicos de ventilação. Em alguns casos, verifica-se também a ausência do exaustor mecânico normalmente usado no fogão das cozinhas;
- A secagem de roupa é, normalmente, feita no interior das habitações em época de Inverno;
- As áreas dos compartimentos são normalmente reduzidas. Dos casos observados, a área média do compartimento que serve usualmente como quarto é de 8,1 m²;

- As coberturas encontram-se muito degradadas, com telhas partidas e com os elementos de madeira que as suportam bastante danificados. Em alguns casos, as caixilharias de janelas e portas encontram-se também num estado muito degradado;
- É frequente não existirem sistemas de recolha de águas pluviais. Nos casos em que existem sistemas de recolhas, verifica-se, em geral, que estão entupidos, degradados ou não dispõem de tubos de queda completos;
- As tentativas de melhoramento das condições da habitação, sem apoio técnico adequado, incluíram intervenções tais como a colocação de novas janelas em alumínio e a colocação de forros na cobertura que impedem a saída de vapor de água do interior. Em diversos casos, as intervenções conduziram a um agravamento da situação existente.

4.2 Medições termo-higrométricas efectuadas

Os registos da temperatura e da humidade relativa do ar nos edifícios observados durante o período referido anteriormente, permitiu concluir o seguinte:

- Em compartimentos com pouco uso foram registadas temperaturas muito baixas. O sistema de aquecimento utilizado é pontual no espaço onde ocorre a permanência do utente. Resultam temperaturas entre 3 °C e 4 °C, tendo-se chegado a registar a temperatura mínima de 1,8 °C. As temperaturas exteriores neste período registaram valores de -2 °C, -3 °C e até -10 °C, no período nocturno;
- Nas habitações onde o aquecimento utilizado é a lenha, registaram-se valores de humidade relativa do ar mais baixos;
- A temperatura é mais elevada nos compartimentos mais utilizados durante o dia, nomeadamente como cozinhas e salas, mantendo-se mais ou menos constante durante a noite. Os valores da humidade relativa do ar registam um padrão inverso, sendo mais elevados nos espaços mais frios e mais reduzidos nos locais onde a temperatura é maior;
- De um modo geral, a humidade relativa do ar registada nas habitações assume valores superiores a 75 %;
- As temperaturas interiores são, com frequência, muito próximas das exteriores, situando-se muito abaixo das temperaturas mínimas de conforto.

4.3 Manifestações Patológicas

Na generalidade das habitações observadas, o aparecimento de manifestações patológicas na parte superior das paredes que contactam com o exterior ou com o edifício contíguo, é a anomalia mais frequente. Estas manifestações de humidade resultam em manchas de várias dimensões, visíveis pela mudança de cor do revestimento. Esta mudança é provocada, essencialmente, pelo escorrimento de água pelas paredes, a qual arrasta consigo sujidade ou outras substâncias que alteram o seu aspecto original.

O aparecimento destas anomalias está relacionado, principalmente, com defeitos ou degradação da cobertura, que provocam esta entrada de água.

Estas manchas são, por vezes, acompanhadas do aparecimento de bolor. Este tipo de colonização biológica aparece, também, com frequência em zonas junto a vãos de janelas e portas, nos cantos e nos tectos, ou então aleatoriamente nas paredes, acompanhada, por vezes, de um forte odor.

Embora esta patologia esteja geralmente associada a compartimentos com grande produção de vapor de água, como cozinhas e instalações sanitárias, nos casos observados estas manchas de bolor localizam-se também em quartos e salas. É de salientar que em 21 % da totalidade das habitações da Cidadela não existem instalações sanitárias, verificando-se que oito destas habitações constituíram objecto deste estudo.

Normalmente as manchas de humidade sem contornos definidos, acompanhadas de bolor, com mais frequência na superfície interior dos elementos da envolvente, nos tectos, nas zonas mais frias ou nos locais pouco ventilados, constituem o sintoma mais característico da existência de condensações.

Em paredes térreas e enterradas, verificou-se a existência de pinturas degradadas, rebocos destacados e ainda de eflorescências com elevada presença de sais.

5 Conclusões

Conclui-se com este estudo que os edifícios da Cidadela da cidade de Bragança, necessitam de reparações urgentes a muitos níveis. Como prioridade está a construção de instalações sanitárias e a reparação ou substituição da cobertura e de elementos degradados (estruturais e não estruturais). Estas intervenções irão melhorar as condições de habitabilidade das habitações e resolver parte dos problemas de humidade surgidos. De facto, a maioria das manifestações patológicas existentes nestes edifícios são provocadas por infiltrações de água pela cobertura e pela fachada, para além dos originados por fenómenos de condensação.

O estado de degradação dos edifícios é generalizado, quer a nível da cobertura, quer das caixilharias de janelas e portas, o que facilita a infiltração de

água para o interior, criando condições insalubres para os ocupantes. Para além disto, os materiais constituintes das fachadas, nomeadamente, as argamassas de cal e também o barro, aplicado nas juntas da alvenaria, têm grande capacidade de absorção de água o que leva a retenções elevadas de humidade nas paredes provocando deformações que afectam a estabilidade de alguns edifícios.

Os fenómenos de condensação estão relacionados com os hábitos dos ocupantes (aquecimento pontual com a utilização de equipamentos a gás e secagem de roupa no interior) e com as condições da habitação (falta de ventilação, reduzida fenestração, entre outros). Para além destes factores, a adopção de soluções que tornam a habitação cada vez mais estanque ao ar, aumenta ainda mais o problema.

Perante isto, é fundamental prover as habitações de uma ventilação adequada, correctamente definida e controlada, de modo a assegurar uma movimentação regular do ar nos vários compartimentos [4]. Para além desta medida correctiva, o isolamento térmico da envolvente, deverá ser reforçado de modo a melhorar o comportamento térmico do edifício [5].

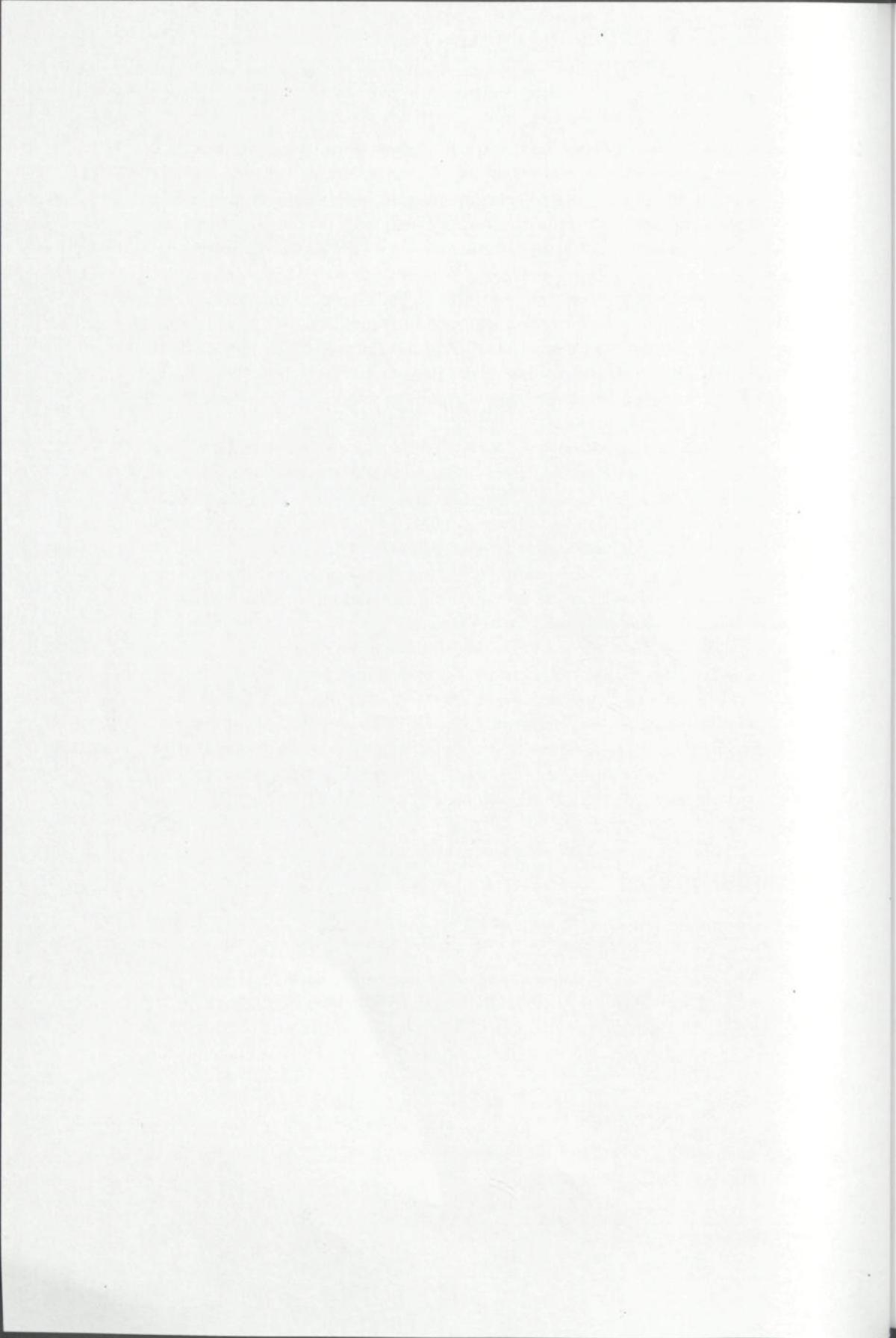
O aumento dos níveis de aquecimento, a par com as medidas anteriores poderá minimizar a ocorrência de fenómenos de condensação e possibilitará o aumento do nível de conforto destas habitações.

No entanto, as medidas de intervenção a adoptar para eliminar a existência de humidade só deverão ser estabelecidas após a análise cuidada das condições específicas de cada edifício, recorrendo, inclusive, a medições e ensaios.

O facto de se tratar de edifícios de valor histórico e cultural, com materiais e técnicas de construção antigas que é necessário preservar, implica que as soluções de reparação sejam pouco intrusivas. Uma boa coordenação entre todos os intervenientes e conhecimentos adequados conduzirão à escolha da melhor solução.

6 Bibliografia

- [1] Henriques, Fernando, *Humidade em Paredes*, Coleção Edifícios, LNEC, 1994.
- [2] Teixeira, Gabriela *et al.* *Diálogos de Edificação*, Técnicas Tradicionais de Construção, Centro Regional de Artes Tradicionais, 1998.
- [3] Luso, Eduarda, *Contribuição para Intervenções no Centro Histórico de Bragança*, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2002.
- [4] Freitas, Vasco Peixoto, *Humidade e Ventilação*, 2000.
- [5] Corvacho, Maria Helena, *Condensações em Edifícios*, 7.^{as} Jornadas de Construções Civas sobre Inovação e Desenvolvimento na Construção de Edifícios, Porto, 1999.



ANOMALIAS MAIS FREQUENTES NA SUPERFÍCIE CORRENTE DE PAREDES DEVIDAS À HUMIDADE

António Vilhena*

Correio electrónico: avilhena@lnec.pt

Resumo

Nos últimos anos tem-se registado um grande incremento do património construído em Portugal; todavia, a qualidade da construção não tem evoluído na mesma relação que o volume de novas edificações, continuando a ocorrer frequentemente anomalias nos mais diversos elementos construtivos.

De todas as anomalias ocorrentes na construção, as devidas à humidade ocupam uma grande percentagem do total, reflectindo-se assim, periodicamente, em grandes custos de trabalhos de reparação. As paredes, elementos constituintes da envolvente exterior dos edifícios, fazem parte da fronteira do edifício com o meio exterior sendo, dessa forma, não só um dos primeiros a contribuir para a obtenção de melhores condições de habitabilidade e de conforto no interior, mas também um dos mais afectados por aquele tipo de anomalias.

Os pontos singulares de paredes, nomeadamente vãos, zonas de ligação com a estrutura, cantos, entre outros, são locais de maior risco de ocorrência de anomalias; a superfície corrente, pelo contrário, seria a zona da parede onde esse risco seria menor. No entanto, verifica-se a ocorrência de um grande número de anomalias também na superfície corrente das paredes.

Destes factos resulta um problema de fundo que consiste na determinação das anomalias devidas à humidade mais frequentes em superfície corrente das paredes e das suas respectivas causas. Nesta comunicação, seguindo uma metodologia de análise de diferentes casos reais, são apresentadas algumas considerações que pretendem clarificar as questões colocadas.

Palavras-chave: Humidade, Anomalias, Paredes, Superfície corrente.

* Estagiário de Investigação do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios, Núcleo de Comportamento das Construções.

1 Introdução

«Pois todos os corpos sendo constituídos de princípios chamados de Stoicheia pelos Gregos, correspondendo ao Calor, à Humidade, à Terra e ao Ar, da mistura dos quais resulta um temperamento natural que produz o Carácter de cada animal; ... ou então quando a Humidade demasiado abundante se insinua também nas condutas dos corpos, modificando a proporção que deve aí existir com a Secura; porque isso faz reduzir a força em todas as outras qualidades, que consiste na proporção que elas devem ter umas em relação às outras.»

Assim referia Vitruvius[†] [1], no seu Livro I, para justificar os cuidados necessários a ter para a escolha de um local saudável para a construção de uma cidade, aquando da conquista e colonização romanas. Na passagem transcrita, são referidos especificamente problemas que poderiam advir para a saúde humana, caso diversos princípios enunciados naquele livro não fossem cumpridos.

No entanto, uma generalização englobando também os materiais de construção e as edificações poderá ser efectuada. Sempre que as proporções de equilíbrio de um elemento, nomeadamente em relação ao teor de água, forem alteradas poderá ser potenciado um estado favorável ao desenvolvimento de diversas anomalias nesse mesmo elemento.

Das anomalias existentes nos edifícios, quer antigos quer recentes, as devidas à humidade ocupam uma grande percentagem do total [2][3], reflectindo-se assim, periodicamente, em grandes custos de trabalhos de reparação.

Embora o desenvolvimento e aparecimento de novos materiais e sistemas de construção, aliados a novas tecnologias e a uma preocupação crescente com a qualidade de produtos e serviços, que é visível, por exemplo, no número crescente de produtos e de empresas certificadas, levasse a prever uma diminuição do número de anomalias devidas à humidade nos edifícios, tal não se tem na realidade verificado. Esta situação é particularmente grave nos elementos da envolvente vertical dos edifícios. Os pontos singulares de paredes, nomeadamente vãos, zonas de ligação com a estrutura, cantos, entre outros, são locais de maior risco de ocorrência de anomalias; a superfície corrente, pelo contrário, seria a zona da parede onde esse risco seria menor. Todavia verifica-se a ocorrência de um grande número de anomalias também na superfície corrente das paredes.

[†] *Vitruvius Pollio Vitruvius* – Técnico militar e engenheiro romano, autor de 10 livros de arquitectura, *De Architectura*, considerada a maior e mais importante obra teórica sobre a arquitectura clássica da antiguidade.

Destes factos resulta um problema de fundo que consiste na determinação das anomalias mais frequentes em paredes, devidas à humidade, e das suas respectivas causas por forma a permitir aos técnicos, quer durante a concepção quer durante a execução, a tomada de medidas que permitam a redução dos riscos de ocorrência de anomalias deste tipo.

Nesta comunicação, seguindo uma metodologia de análise de diferentes casos reais, são apresentadas considerações que pretendem clarificar a questão colocada.

2 Metodologia de análise adoptada

A análise dos diversos casos de edifícios com anomalias compreendeu dois níveis. No primeiro foi feito um levantamento das anomalias ocorrentes nas paredes de cerca de sete dezenas de edifícios, e das soluções construtivas de paredes utilizadas. No segundo procedeu-se ao estudo das anomalias para verificar quais as suas causas possíveis, e deste modo determinar qual a forma de manifestação de humidade [4] em que se estaria em presença.

Esta análise teve por base a visita a edifícios afectados bem como o levantamento bibliográfico de relatos de inspecções e diagnóstico a edifícios com anomalias deste género. As principais fontes de informação foram relatórios sobre anomalias construtivas em edifícios, elaborados no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). O LNEC é frequentemente solicitado para se pronunciar sobre problemas construtivos e funcionais surgidos em construções e em especial em edifícios. Este facto permite aos técnicos que aí desenvolvem actividade, incluindo o signatário, um contacto muito próximo com as anomalias em edifícios, tendo sido produzidos, ao longo dos anos, inúmeros relatórios com relatos das anomalias observadas e das suas causas possíveis, indicando-se ainda soluções de reparação.

A caracterização construtiva baseou-se na descrição dos componentes das paredes afectadas pelas anomalias, verificando-se o tipo de material utilizado no tosco da parede, o tipo de revestimento, a existência ou não de lâmina de ar, a existência de isolamento térmico e a localização da parede no edifício (enterrada, em contacto com o solo ou elevada).

3 Análise das anomalias

As situações de anomalias analisadas em cada um dos edifícios, foram apenas as ocorrentes em superfície corrente de paredes e foram registadas de acordo com a lista de sintomas apresentada no quadro.

O registo das anomalias foi efectuado numa base de dados elaborada para o efeito, que permitiu a contagem dessas anomalias em função da origem da humidade. Os resultados dessa contagem, ordenados de acordo com as formas de

manifestação da humidade, são apresentados na Tabela 1, expresso em percentagem.

Tabela 1: Frequência dos sintomas das anomalias função da origem da humidade [%].

Formas de manifestação da humidade Anomalias	Humidade de obra	Humidade do terreno	Humidade de precipitação	Humidade de condensação	Humidade higroscópica	Causas fortuitas	Total
Manchas	0,0	2,6	14,0	14,8	0,4	0,4	32,3
Água líquida	0,0	2,6	7,0	1,7	0,0	0,9	12,2
Eflorescências Criptoflorescências	0,9	1,7	2,6	1,7	0,9	0,0	7,9
Fendilhações	10,5	2,6	2,6	0,0	0,4	0,4	16,6
Destaques	0,0	0,0	3,5	0,0	0,4	0,0	3,9
Empolamentos	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	1,7
Degradação	0,0	3,5	2,6	0,9	0,0	0,0	7,0
Vegetação parasitária Colonização biológica	0,0	0,0	5,2	13,1	0,0	0,0	18,3
Total	11,4	13,1	39,3	32,3	2,2	1,7	100,0

A análise deste quadro permite verificar, conforme era expectável, que a anomalia mais corrente é o aparecimento de manchas nos paramentos das paredes.

Outra das anomalias mais comuns relaciona-se com o desenvolvimento de vegetação parasitária e o início de colonização biológica. Estes elementos necessitam da presença de humidade para se desenvolverem, facto que ocorre sempre que se dá a humedificação dos paramentos quer por condensação quer pela presença de água resultado de infiltrações ou roturas.

O aparecimento de fendilhação, como fenómeno associado à humidade, resulta da perda de água muito rápida, especialmente dos revestimentos de ligantes hidráulicos, que conduz a uma retracção elevada, ou a ciclos de humedecimento e secagem, que provocam variações dimensionais dos componentes das paredes.

Verifica-se também que o principal tipo de humidade que dá origem a anomalias na superfície corrente de paredes é a devida à precipitação e não de condensação, ao contrário do que em princípio seria de esperar. A análise dos diversos casos de estudo permite concluir que este facto fica a dever-se essencialmente à má concepção e execução das paredes; a utilização de revestimentos com elevados teores de ligante e a falta de cuidados na cura desses revestimentos, que conduzem à conseqüente fendilhação, a execução de paredes sem descontinuidades (sem a existência de uma lâmina de ar entre panos de alvenaria), a execução de paredes de panos únicos, são apenas alguns dos facto-

res que concorrem para o humedecimento dos paramentos das paredes e mais tarde para a infiltração de água no interior da edificação.

A humidade por condensação é a segunda causa mais comum do aparecimento de anomalias, não sendo no entanto a sua gravidade tão grande como no caso da humidade de precipitação.

Algumas das origens de humidade não provocaram certos sintomas que se previam. Tal facto poderá estar associado a diversos factores, nomeadamente:

- Todos os edifícios analisados já apresentavam mais de um ano de construção, sendo as anomalias unicamente imputáveis à humidade de construção a fendilhação dos revestimentos de paredes, empolamentos do revestimento por pintura e o aparecimento de algumas eflorescências (dois casos); a ocorrência de manchas de humidade ou mesmo o aparecimento de água no seu estado líquido só ocorre, em geral, nos tempos imediatamente a seguir à construção.
- A humidade devido a causas fortuitas poderá causar um quadro sintomatológico bastante alargado, no entanto, as anomalias devido a este factor têm origem em factores que ocorrem pontualmente, em termos espaciais e temporais, devido principalmente a defeitos de construção, falhas de equipamento, acidentes ou faltas de manutenção. No caso dos edifícios estudados, tal facto só ocorreu em 2 edifícios, resultado de roturas de canalizações de drenagem de água residuais.
- Relativamente à humidade por higroscopicidade, esta deve-se particularmente à existência de sais solúveis nos materiais de construção ou no solo. Logo o aparecimento destes casos está relacionado com a concepção das soluções e a sua execução.

Outra abordagem interessante que se poderá realizar relativamente à problemática das anomalias devido à humidade na superfície corrente de paredes é o relacionamento das anomalias com as soluções construtivas das paredes. É um dado adquirido que uma parede simples de alvenaria de tijolo cerâmico ou de betão de espessuras correntes está mais sujeita a condensações, e consequentemente ao surgimento de anomalias relacionadas com esta forma de humidade, do que uma parede dupla com lâmina de ar e isolamento térmico, devido à sua menor resistência térmica. Contudo, relativamente a outras formas de manifestação de humidade, é mais difícil afirmar qual o sistema de parede em que o risco de ocorrência de anomalias é superior devido à maior diversidade de factores que lhes estão associados.

A lista seguinte apresenta o conjunto de soluções construtivas de paredes[†] observadas nos casos de estudo:

- P.1 – Parede de alvenaria de tijolo cerâmico simples com revestimento de argamassa de ligante hidráulico pintado;
- P.2 – Parede de alvenaria de tijolo cerâmico simples com revestimento de pedra fixado indirectamente;
- P.3 – Parede de betão simples;
- P.4 – Parede de betão + pano de alvenaria de tijolo cerâmico com revestimento de argamassa de ligante hidráulico;
- P.5 – Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico com lâmina de ar, com revestimento de argamassa de ligante hidráulico;
- P.6 – Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico com lâmina de ar e isolamento térmico no interior, com revestimento de argamassa de ligante hidráulico;
- P.7 – Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico com isolamento térmico no interior, com revestimento de argamassa de ligante hidráulico;
- P.8 – Parede dupla de alvenaria de tijolo cerâmico com isolamento térmico no interior, com revestimento de placas de pedra coladas.

Na Tabela 2 pode observar-se a distribuição da origem das anomalias ocorrentes em função das soluções construtivas de paredes observadas. Refira-se que para algumas das soluções construtivas acima mencionadas o número de casos verificados é pequeno não sendo, portanto, representativos os dados disponíveis relativamente a essas soluções construtivas. Em alguns edifícios encontraram-se mais do que uma solução construtiva de parede (por exemplo no caso das paredes de pisos enterrados e de pisos elevados).

Na elaboração daquele quadro considerou-se que o risco de ocorrência de anomalias devido à humidade era igual para qualquer das soluções apresentadas. Não foram consideradas as anomalias devidas a causas fortuitas pois a sua ocorrência não depende do sistema construtivo da parede mas sim de diversos outros factores.

Também este quadro apresenta resultados interessantes. Se o analisarmos por forma de manifestação da humidade, verifica-se que para as humidades de precipitação e de condensação nenhuma solução construtiva de parede se destaca. Repare-se que nas soluções P.2 e P.8 as percentagens são tão elevadas re-

[†] São apenas indicados os revestimentos exteriores, devido serem estes que têm maior influência na ocorrência de anomalias devido à humidade. Em paredes de panos múltiplos, o primeiro pano referido é respeitante ao pano exterior.

lativamente à humidade por condensação devido aos poucos casos disponíveis para análise e às poucas anomalias detectadas.

Tabela 2: Frequência da ocorrência de anomalias associadas a um tipo de humidade em função das soluções construtivas de paredes [%].

Soluções construtivas \ Formas de manifestação da humidade	Humidade de obra	Humidade do terreno	Humidade de precipitação	Humidade de condensação	Humidade higroscópica
P.1	27,3	9,1	31,8	27,3	4,5
P.2	0,0	0,0	40,0	60,0	0,0
P.3	0,0	60,9	34,8	0,0	4,3
P.4	0,0	60,0	40,0	0,0	0,0
P.5	12,9	9,7	38,7	35,5	3,2
P.6	15,8	0,0	47,4	36,8	0,0
P.7	0,0	0,0	53,8	46,2	0,0
P.8	0,0	0,0	33,3	66,7	0,0
Total	7,0	17,4	40,0	34,1	1,5

Nos dados referentes à humidade de condensação, as soluções de parede dupla não obtêm melhores resultados do que as de parede simples. As razões para a ocorrência de condensações estão aliadas à produção de vapor de água nas edificações associada à baixa taxa de renovação do ar (sistemas de ventilação desadequados). A má concepção de sistemas de ventilação (quer natural como forçada), aliada a hábitos instituídos pelos utentes dos espaços, permite a ocorrência deste tipo de anomalias mesmo com soluções construtivas onde tal não seja à partida previsível. Nas soluções P.7 e P.8, a continuidade entre o meio exterior e o interior da edificação permitida pelo sistema construtivo existente, facilita a humificação dos diversos componentes resultando no aumento das respectivas condutibilidades térmicas, permitindo por esse motivo o aparecimento de condensações mais facilmente no paramento interior da parede.

A humidade de precipitação é uma das formas de manifestação da humidade que se verifica que afecta todos os sistemas, incluindo os sistemas com pano duplo de alvenaria (P.5 a P.8). Tal como referido, as soluções P.7 e P.8 permitem a continuidade entre o meio exterior e o interior; as soluções P.5 e P.6 são afectadas principalmente pelo mau revestimento exterior e pela falta de drenagem da caixa de ar, o que não permite o escoamento da água que atinge aquele espaço.

Relativamente à humidade do terreno, verifica-se uma ocorrência preferencial nas soluções em betão armado. Tal situação fica a dever-se ao facto destas

soluções serem as mais correntemente utilizadas em paredes enterradas, estando por isso mais sujeitas a este tipo de humidade. A ocorrência deste tipo de humidade está também associada a erros de concepção da impermeabilização e de isolamentos de paredes em contacto com o solo.

A inexistência de dispositivos que evitem o contacto da água com as paredes e que permitam a sua drenagem, ou a falta de colocação de elementos de corte de capilaridade nas paredes dos pisos térreos irá permitir sempre a ocorrência de anomalias devidas a água do terreno.

No que diz respeito à humidade de higroscopicidade, os dados obtidos são poucos para a elaboração de uma análise detalhada; no entanto nos casos analisados verificou-se que a origem dos sais eram os materiais utilizados na execução da parede.

A humidade de obra verificou-se apenas em três soluções construtivas; tal facto não é representativo relativamente à realidade, visto o universo de estudo não abarcar edifícios recentemente (leia-se com menos de um ano) executados.

Por último, verifica-se que a distribuição das frequências totais por tipo de humidade, apresentam a mesma tendência apresentada no quadro 4.4, mas registando valores ligeiramente diferentes. Esta situação é resultado do número de casos para cada tipo de solução construtiva ser diferente, reflectindo desta forma o peso associado não só ao tipo de humidade mas também à frequência da utilização das soluções construtivas.

É importante salientar que as anomalias associadas a algumas das formas de manifestação de humidade não se encontram suficientemente estudados devido à falta de representatividade dos casos analisados; este facto verificou-se relativamente à humidade de construção e à humidade por higroscopicidade.

4 Conclusões

Pretendeu-se nesta comunicação relacionar quer as anomalias quer os sistemas construtivos com as formas de manifestação da humidade e determinar quais as principais causas das anomalias devidas à humidade na superfície corrente de paredes.

Na análise realizada verificou-se que, no universo de casos estudados, a principal causa de anomalias é a humidade de precipitação. Tal facto fica a dever-se, essencialmente, a erros de concepção das soluções construtivas de paredes e de ventilação dos espaços, aliados à má execução dos revestimentos exteriores que permitem a humidificação do suporte e, conseqüentemente, o aparecimento de anomalias no interior da edificação, e ainda à falta de manutenção a que alguns edifícios são votados.

A humidade por condensação é a segunda causa mais comum do aparecimento de anomalias, não sendo no entanto a sua gravidade, em termos sintomatológicos, tão grande como no caso da humidade de precipitação. Verifi-

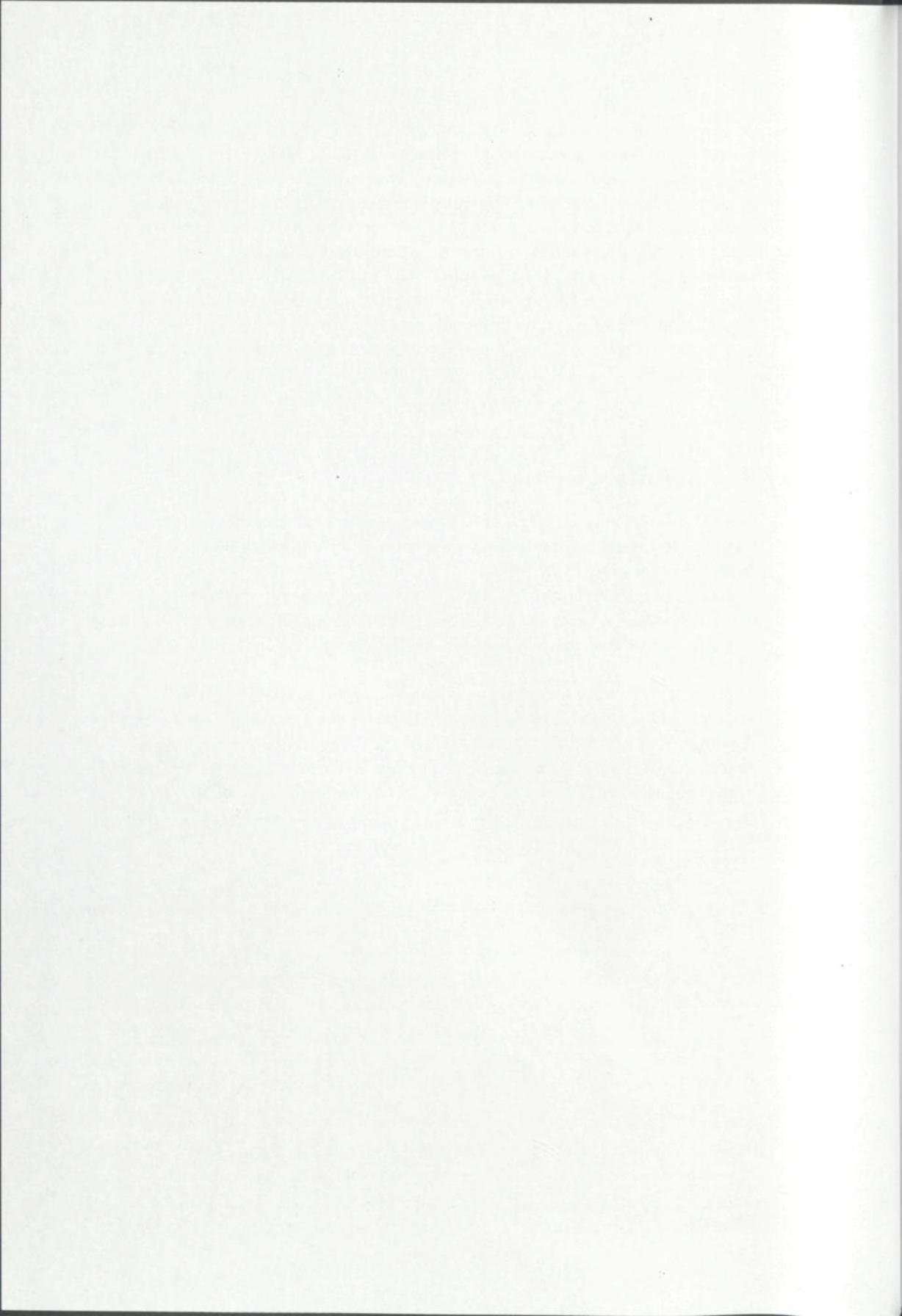
cou-se, em alguns casos, que o tipo de utilização dada aos espaços pelos utentes dos mesmos é responsável pelo aumento grave da humidade relativa do ambiente pontenciando com isso o aparecimento de novos casos de patologia.

A qualquer uma destas causas está quase sempre associado o desenvolvimento de vegetação parasitária e o início de colonização biológica. Estes elementos necessitam da presença de humidade para se desenvolverem, facto que ocorre sempre que se dá a humedificação dos paramentos quer por condensação quer pela presença de água resultado de infiltrações ou roturas.

Por fim, outra das principais conclusões a reter é a não distinção da frequência da ocorrência de anomalias em função dos sistemas construtivos. Esta situação é mais verificável no caso da humidade de precipitação e de condensação.

5 Bibliografia

- [1] Rua, Maria Helena *Os dez livros de arquitectura de Vitruvius*. Lisboa: Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção do Instituto Superior Técnico (ICIST), 1998.
- [2] Pontes, J. Pereira & Manso, A. Costa *Anomalias mais frequentes em edifícios antigos em Lisboa*. Lisboa: LNEC, 1994. Proceedings do 2.º Encontro – Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, vol. II, pp. 777-784.
- [3] Andrade, F. O. *Humedades em la edificacion*. Sevilla: EDITAN, 1994.
- [4] Vilhena, António *Anomalias devidas à humidade na superficie corrente de paredes*. Lisboa: LNEC, 2002. Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Física, Área de Especialização: Ambiente em Edifícios.



PATOLOGIAS ASSOCIADAS A CONDENSAÇÕES

Vasco Peixoto de Freitas*

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Eva Sofia Barreira†

Correio electrónico: barreira@fe.up.pt

Pedro Filipe Gonçalves‡

Correio electrónico: pfgoncalves@portugalmail.pt

Resumo

A má concepção, a deficiente execução e o envelhecimento dos materiais originam diversas patologias na envolvente dos edifícios.

Os novos materiais, cujas características e formas de aplicação não são plenamente conhecidas, quer pelos projectistas quer pelos aplicadores, aliados à falta de pormenorização construtiva, estão na origem de novas patologias, que requerem o desenvolvimento de metodologias de estudo mais aprofundadas.

Serão apresentados alguns casos relativos a patologias associadas a condensações superficiais e internas, que foram estudados nos últimos anos pelo Laboratório de Física das Construções – LFC, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Palavras-chave: Patologia, Condensações, Estudo de Casos.

1 Introdução

A má concepção, a deficiente execução e o envelhecimento dos materiais originam diversas patologias na envolvente dos edifícios.

Os novos materiais, cujas características e formas de aplicação não são plenamente conhecidas, quer pelos projectistas quer pelos aplicadores, aliados à falta de pormenorização construtiva, estão na origem de novas patologias,

* Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

† Assistente Estagiária da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

‡ Eng.º Civil.

que requerem o desenvolvimento de metodologias de estudo mais aprofundadas.

Serão apresentados alguns casos relativos a patologias associadas a condensações superficiais e internas, que foram estudados nos últimos anos pelo Laboratório de Física das Construções – LFC, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Para permitir a sistematização da informação, todos os casos estudados são apresentados sob a forma de Fichas de Patologias, que incluem quatro campos: descrição da patologia, sondagens e medidas, causas e soluções de reparação (Figura 1).

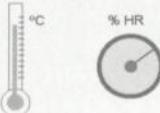
Descrição da patologia 	Causas 
Sondagens e medidas 	Soluções de reparação 

Figura 1: Modelo de uma Ficha de Patologia.

A descrição da patologia consiste na síntese dos problemas observados, privilegiando-se a informação gráfica. As imagens são sempre incluídas, uma vez que permitem identificar, de forma inequívoca, a anomalia em causa. Para que a descrição fique completa, além da observação visual das patologias e do seu registo fotográfico, é essencial a análise de documentação relativa à edificação afectada e também a obtenção de testemunhos dos utilizadores dos edifícios, bem como daqueles que tenham estado envolvidos na sua concepção, construção ou em posteriores intervenções.

No campo designado sondagens e medidas, são indicadas as acções necessárias para um exame mais detalhado da anomalia (análise física), com recurso a ensaios.

Com base nos dados recolhidos é então possível fazer um diagnóstico definindo as causas e finalmente apresentar algumas soluções de reparação. Nos trabalhos de reparação a efectuar, interessa adoptar procedimentos que assegurem resultados satisfatórios a longo prazo, muito embora seja sempre difícil uma resolução total dos problemas associados ao comportamento da envolvente dos edifícios sem uma intervenção global.

2 Condensações Superficiais

As patologias associadas às condensações superficiais constituem um grave problema, afectando um grande número de edifícios de habitação em Portugal.

2.1 Descrição da patologia

A humidade de condensação superficial encontra-se geralmente associada ao aparecimento de manchas de bolores (Figura 2). Existe maior humidificação nas zonas em que o isolamento térmico é menor (pontes térmicas), designadamente em elementos estruturais e parapeitos, e em zonas onde a ventilação é insuficiente.



Figura 2: Manchas de humidade devidas a condensações superficiais em elementos construtivos.

2.2 Sondagens e medidas

É necessário caracterizar, do ponto de vista higrotérmico, o elemento afectado, devendo efectuar-se um conjunto de medições que permitam conhecer a temperatura superficial e o teor de humidade das paredes, a temperatura e a humidade relativa ar e a ventilação do compartimento. As medições devem prolongar-se por um período tão extenso quanto possível, durante a época do ano que se considere mais gravosa.

Devem reunir-se dados relativos ao tipo de ocupação dos espaços, nomeadamente, número de residentes, hábitos de aquecimento e ventilação, etc.

2.3 Causas

A ocorrência de condensações superficiais depende, sobretudo das condições de ocupação (produção de vapor), ventilação, isolamento térmico da envolvente, temperatura ambiente interior e higroscopicidade dos revestimentos.

2.4 Soluções de reparação

Alguns dos aspectos a considerar de modo a solucionar os problemas associados a condensações superficiais são os seguintes:

- Garantir uma temperatura média no interior de pelo menos 17 °C, recorrendo ao aquecimento dos edifícios;
- Garantir uma ventilação geral e permanente, limitando superiormente e inferiormente o caudal de ventilação. Os caudais de ventilação devem estar compreendidos entre 0,7 e 0,8 renovações por hora;
- Localizar as entradas de ar nas salas e quartos, preferencialmente auto-reguláveis e com tratamento acústico adequado. Aplicar dispositivos de extracção de ar nas casas de banho, mesmo com vãos exteriores;
- Assegurar um caudal permanente mínimo de 60 m³/h nas cozinhas;
- Limitar o coeficiente de transmissão térmica *K*;
- Tratar as pontes térmicas, preferencialmente recorrendo ao isolamento térmico pelo exterior. Não sendo possível pormenorizar soluções estáveis pelo exterior, é preferível, do ponto de vista construtivo, a sua correcção pelo interior;
- Uniformizar o isolamento da envolvente e evitar heterogeneidades;
- Limitar a produção de vapor no interior;
- Impor um valor mínimo para a inércia higroscópica nos edifícios.

3 Condensações Internas – Estudo de Casos

Tomando como base algumas das patologias associadas às condensações internas que foram estudadas pelo LFC, são de seguida apresentados seis exemplos analisados de acordo com o princípio das Fichas de Patologia proposto no § 1.

- Degradação de um revestimento de pavimento à base de resinas *epoxy*;
- Anomalias num revestimento de ladrilhos vinílicos sobre suporte de aglomerado de cortiça;
- Condensações internas numa cobertura em terraço;
- Degradação de pavimento térreo com revestimento em madeira;
- Degradação de uma cobertura com revestimento em zinco;

3.1 Degradação de um Revestimento de Pavimento à Base de Resinas *Epoxy*

3.1.1 Descrição da patologia

O pavimento de um laboratório situado no 1.º andar, com um revestimento à base de resinas *epoxy*, apresentava deformações constituídas por *bolhas* que se encontravam preenchidas com água (Figura 3). A patologia observava-se com maior incidência sobre a zona técnica.



Figura 3: Aspecto das *bolhas* no pavimento do laboratório.

3.1.2 Sondagens e medidas

Foi feita a medição da temperatura interior do laboratório e da zona técnica, situada no piso inferior, bem como da temperatura na laje.

Procedeu-se também à medição do teor de humidade do betão celular, que constituía a camada de enchimento e que apresentava um teor de humidade próximo do equilíbrio higroscópico. A camada de argamassa que servia de suporte ao revestimento *epoxy* encontrava-se também *seca*.

3.1.3 Causas

A acumulação de água observada era devida à ocorrência de condensação entre as duas camadas que constituíam o revestimento de base *epoxy*.

As condensações ocorreram pelas seguintes razões:

- No Inverno a variação de temperatura entre o dia e a noite no interior do edifício era grande, devida ao aquecimento intermitente. A temperatura nocturna da zona técnica e do laboratório situava-se entre 12 °C e 15 °C, enquanto que durante o dia atingia 28 °C na zona técnica e 24 °C no laboratório. Pelo contrário, o centro da laje encontrava-se a uma

temperatura constante de cerca de 20 °C, devido à inércia térmica (Figura 4);

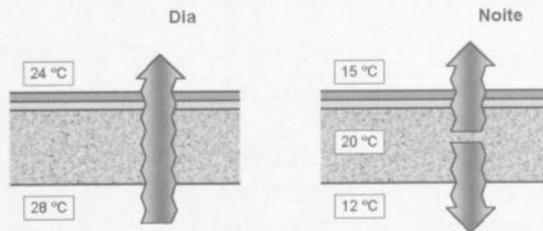


Figura 4: Fluxo de vapor na laje do laboratório.

- Durante o dia desenvolvia-se um gradiente de temperatura e de pressões, originando um fluxo de vapor ascendente;
- Durante a noite verificava-se um arrefecimento superficial da laje do pavimento, provocando um fluxo ascendente, gerado pelo gradiente de temperaturas entre o centro da laje ($\approx 20\text{ °C}$) e o pavimento do laboratório (Figura 4). Nesse período, o revestimento do pavimento funcionava como um pára-vapor colocado na *face fria* do elemento construtivo, gerando condensações, que ocorriam entre a camada de base (primário) e a camada de acabamento do revestimento;
- A camada de base era permeável ao vapor, mas impermeável à água líquida, como foi constatado *in situ*, enquanto que a camada de acabamento era impermeável ao vapor e à água líquida. As condensações levavam à passagem do vapor de água a água líquida não havendo a seguir qualquer movimento possível para a água depositada (Figura 5);

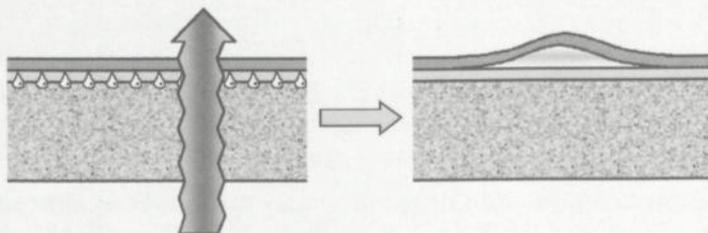


Figura 5: A condensação surgiu entre as duas camadas de revestimento.

- O crescimento das *bolhas*, que progredia com o tempo, resultou de uma acumulação contínua de água condensada, sem possibilidade de redistribuição;
- O betão celular, sendo uma camada com alguma capacidade de isolamento térmico, impedia uma dissipação rápida de calor e reforçava o papel de *condensador* da superfície fria do pavimento.

3.1.4 Soluções de reparação

A resolução do problema passa pelo aquecimento contínuo do laboratório, ou pela substituição do revestimento por outro que seja permeável ao vapor ou ainda pela colocação de uma barreira pára-vapor.

3.2 Anomalias num revestimento de ladrilhos vinílicos sobre suporte de aglomerado de cortiça

3.2.1 Descrição da patologia

Num edifício do tipo hoteleiro com revestimento de pavimento com ladrilhos vinílicos sobre suporte de aglomerado de cortiça e base em PVC, observou-se que no R/C havia uma descolagem generalizada do revestimento, quer nas zonas de pavimento térreo, quer nas zonas de pavimento sobre a garagem ou sobre a zona de instalações técnicas.

Observava-se o *empolamento* do centro do ladrilho a que se seguia a sua total descolagem. As juntas apresentavam uma ligeira variação de tonalidade associada ao aparecimento de humidade. Quando se retiravam os ladrilhos eram visíveis as gotículas de humidade na zona de colagem (Figura 6).

Foi utilizada uma cola à base de soluções aquosas de resinas acrílicas para fixação do revestimento.



Figura 6: Descolagem do revestimento nas salas de trabalho sobre a garagem.

3.2.2 Sondagens e medidas

Foram efectuados registos de temperatura e humidade relativa no interior de diversos compartimentos e nos vários pisos. Registou-se a situação do edifício desocupado, com o sistema de aquecimento desligado e também a situação de total ocupação com o sistema de aquecimento em pleno funcionamento. Foi também medida a temperatura no interior do pavimento térreo, a cerca de 0,15 m de profundidade, e o teor de humidade no pavimento do R/C.

3.2.3 Causas

A descolagem do revestimento do pavimento deve-se ao aparecimento de humidade no plano de colagem.

3.2.3.1 Pavimentos sobre a garagem e zonas técnicas

O edifício não tinha ocupação e aquecimento contínuo, pelo que, no Inverno, a temperatura do ar e da superfície do revestimento era baixa. A cave apresentava uma pressão de vapor mais elevada do que o R/C. Nestas circunstâncias a difusão de vapor ocorria da cave para o R/C. Ao encontrar o revestimento vinílico sobre cortiça e base em PVC, que funcionava como barreira pára-vapor, geravam-se condensações na zona do plano de colagem.

3.2.3.2 Pavimentos térreos

O solo era arenoso e verificou-se que o massame estava seco nas zonas em que se retirou o revestimento.

A ausência de uma barreira pára-vapor possibilitava o movimento do vapor de água por termomigração da zona quente para a zona fria. O vapor ao encontrar o revestimento do pavimento (impermeável ao vapor) condensava. Esta condensação era facilitada pela baixa temperatura do ambiente no interior do edifício quando não estava ocupado (9 °C). A condensação sob os ladrilhos gerava o aparecimento de água livre que actuava sobre a cola acrílica. Este fenómeno era mais intenso junto ao contorno devido ao arrefecimento provocado pelas pontes térmicas.

3.2.4 Soluções de reparação

A solução de reparação passa ou pela substituição do tipo de revestimento ou pela colocação de uma barreira pára-vapor numa posição adequada.

3.3 Condensações internas numa cobertura em terraço

3.3.1 Descrição da patologia

Nos compartimentos anexos a uma piscina com cobertura em terraço, observava-se na Primavera a formação de bolhas de água no tecto (Figura 7). A laje do tecto apresentava a seguinte composição: laje estrutural, camada de be-

tão leve e impermeabilização. As condições higrotérmicas desses espaços eram gravosas, com elevadas temperaturas e humidades relativas.



Figura 7: Degradação do tecto falso de um dos compartimentos anexos à piscina.

3.3.2 Sondagens e medidas

Foram realizadas sondagens para conhecer a composição da cobertura e mediu-se a temperatura e a humidade relativa no interior dos compartimentos.

3.3.3 Causas

Tratava-se de um fenómeno de condensação superficial associado às condensações internas que ocorriam na cobertura, sob a impermeabilização.

A humidade condensada durante o Inverno era transportada para o interior dos compartimentos no início da Primavera, quando as condições de temperatura invertiam o sentido do fluxo de vapor (Figura 8).

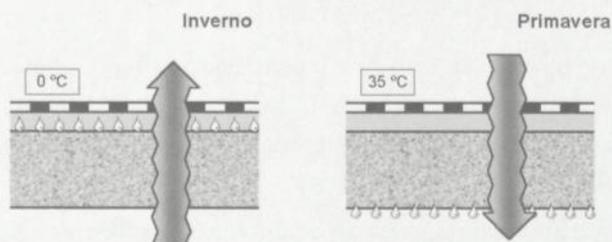


Figura 8: Fluxo de vapor durante o Inverno e Primavera.

3.3.4 Soluções de reparação

A solução de reparação passa pelo reforço do isolamento térmico da cobertura através da realização de uma cobertura tipo invertida.

3.4 Degradação de pavimento térreo com revestimento em madeira

3.4.1 Descrição da patologia

Um pavimento térreo com revestimento em madeira (soalho), apresentava deformação e levantamento das régua, apodrecimento da madeira, manchas de cor mais escura na zona da fixação, etc.



Figura 9: Pavimento térreo de madeira degradado devido à humidade.

3.4.2 Sondagens e medidas

Foram medidas as condições higrotérmicas das ambiências, temperatura e teor de humidade superficial dos elementos construtivos e temperatura e teor de humidade das interfaces do pavimento em madeira.

3.4.3 Causas

As razões para a existência de condensações na face inferior da régua de madeira foram as seguintes:

- A ausência de um pára-vapor eficaz permitiu a difusão de vapor do pavimento térreo para a caixa de ar;
- A humidade relativa na caixa de ar, entre o isolamento térmico e o revestimento do pavimento em madeira, era muito elevada, uma vez que esse espaço não era ventilado;
- A temperatura na face inferior do pavimento em madeira era inferior à do pavimento térreo (aquecimento intermitente), o que gerava condensações (Figura 10);
- A deposição da humidade de condensação criou condições para a degradação dos pavimentos em madeira;

- As condensações tiveram origem no aquecimento intermitente na ausência de um pára-vapor no piso térreo.

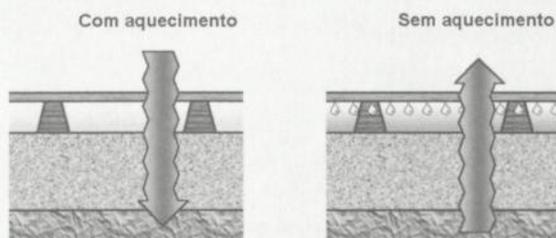


Figura 10: Fluxo de vapor de água com e sem aquecimento.

Mesmo que o pavimento térreo inclua uma camada na sua composição que impeça a passagem de água líquida, pode continuar a ocorrer difusão de vapor por termomigração.

3.4.4 Soluções de reparação

A correção do problema implica a execução de uma barreira pára-vapor sob o massame térreo.

3.5 Degradação de uma cobertura com revestimento em zinco

3.5.1 Descrição da patologia

A cobertura de um edifício, revestida com chapas de zinco, apresentava perfuração pontual das chapas de zinco que revestem a cobertura e manchas de corrosão generalizada na superfície interior das chapas de zinco (Figura 11).

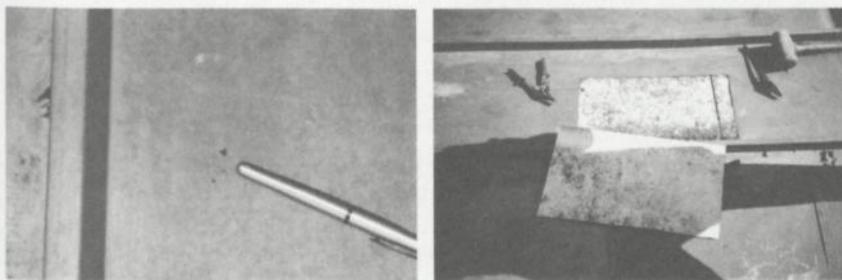


Figura 11: Patologias observadas na superfície exterior das chapas de zinco e aspecto da sondagem realizada na cobertura.

A cobertura era constituída por uma laje horizontal aligeirada, uma camada de forma em betão celular, uma camada de regularização em betonilha, isolamento térmico (placas de aglomerado expandido de cortiça) e revestimento de chapas de zinco apoiadas directamente sobre as placas de cortiça.

3.5.2 Sondagens e medidas

Efectuaram-se ensaios sobre amostras recolhidas em duas zonas distintas da cobertura: numa zona em que a chapa apresentava perfuração e noutra onde não existiam sinais de degradação. Foram recolhidas amostras da chapa de zinco e das outras camadas que constituíam a cobertura.

Nas zonas em que as chapas de zinco se encontravam perfuradas, os teores de humidade da cortiça, da betonilha e do betão celular eram superiores ao teor de humidade higroscópico.

3.5.3 Causas

A perfuração das chapas de zinco tinha origem, essencialmente, num processo de corrosão originado pelos cloretos e sulfatos, provenientes do aglomerado de cortiça e do betão celular da camada de forma, e transportados pela água. A presença de água líquida no interior da cobertura devia-se à condensação do vapor de água que, por difusão, atravessava os elementos que a compoñham. A grande quantidade de vapor de água condensado teve origem, numa primeira fase, na secagem do betão celular.

Como foi executado o revestimento em zinco sem que o betão celular estivesse em equilíbrio higroscópico, a sua secagem originou condensações internas, sobretudo nos primeiros anos. Esse vapor, ao atingir a superfície fria das chapas de zinco, *praticamente impermeáveis*, condensou. Uma vez que as chapas estavam em contacto directo com o aglomerado de cortiça, não existia possibilidade de ventilação.

3.5.4 Soluções de reparação

Para diminuir o risco de ocorrência de condensações internas deve criar-se um espaço de ar ventilado adjacente ao revestimento em zinco e diminuir os fluxos de vapor em jogo. A existência desse espaço de ar ventilado obriga à criação de uma estrutura de suporte, constituída por elementos de madeira, onde devem ser fixadas as chapas de revestimento.

3.6 Condensações internas em sistemas ETICS

3.6.1 Descrição da patologia

Num conjunto habitacional, observou-se o levantamento do revestimento em madeira do pavimento do R/C, junto às paredes exteriores.

As fachadas estavam revestidas por um sistema de isolamento térmico pelo exterior, constituído por reboco delgado armado sobre poliestireno expandido – ETICS.

Verificou-se que a anomalia só ocorria junto às fachadas onde foi aplicado, até cerca de 1 m de altura, um revestimento cerâmico sobre o ETICS (Figura 12).



Figura 12: Fachada do edifício.

3.6.2 Sondagens e medidas

Os teores de humidade medidos na base da parede, junto à laje do R/C, eram muito elevados.

3.6.3 Causas

A presença de água na interface entre o revestimento cerâmico e o sistema ETICS, resultou da ocorrência de condensações devidas à difusão de vapor por secagem dos materiais (Figura 12).

3.6.4 Soluções de reparação

Não é possível aplicar uma camada impermeável ao vapor de água sobre o sistema ETICS.

4 Conclusões

O crescente número de novos problemas na envolvente dos edifícios obriga a um estudo detalhado das patologias, para dar resposta às exigências, cada vez maiores, dos utilizadores.

Torna-se, por isso, fundamental a criação de um *Catálogo de Patologias da Construção*, cujo objectivo essencial consiste na sistematização e divulgação da informação.

5 Bibliografia

- [1] Freitas, V. P. *Humidade e Patologias – Últimos Desenvolvimentos*. 6.^{as} Jornadas de Construções Civas, 1998, pp. 33-48.
- [2] Freitas, V. P. *Patologia da Construção*. 7.^{as} Jornadas de Construções Civas, 1999, pp. 3-18.
- [3] Freitas, V. P. *Building Pathology Due to Internal Condensation*. Workshop Regional dos Grupos de Trabalho do CIB W086 CIB W086, 2000.

- [4] Freitas, V. P. *Relatório HT - 069/97*, Porto, 1997.
- [5] Freitas, V. P. *Relatório HT - 124/00*, Porto, 2000.
- [6] Freitas, V. P. *Relatório LFC/IC - 002/90*, Porto, 1990.
- [7] Freitas, V. P. *Relatório LFC/IC - 006/93*, Porto, 1993.
- [8] Freitas, V. P. *Relatório LFC/IC - 017/95*, Porto, 1995.
- [9] Freitas, V. P. *Relatório LFC/IC - 021/96*, Porto, 1996.
- [10] Freitas, V. P. *Relatório LFC/IC - 055/98*, Porto, 1998.

IMPORTÂNCIA DA VENTILAÇÃO NAS CONDENSAÇÕES SUPERFICIAIS

Medição das Renovações Horárias pela Técnica PFT

Manuel Pinto*

Correio electrónico: mpinto@dcivil.estv.ipv.pt

Vasco Peixoto de Freitas†

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

A humidade no interior dos edifícios é o resultado do equilíbrio entre a produção de vapor e a ventilação, sendo assim, as condensações podem resultar de uma ventilação reduzida e não homogénea dos espaços das habitações.

As recomendações técnicas e normalização sobre ventilação existentes em Portugal propõem taxas médias de uma renovação por hora nos compartimentos principais (quartos e salas) e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço (cozinhas, instalações sanitárias e lavandarias).

Admite-se que estas taxas não estejam a ser satisfeitas em grande parte dos edifícios de habitação construídos recentemente em Portugal. A adopção de sistemas de *ventilação geral e permanente* é fundamental.

Com o objectivo de aquilatar a implantação das taxas anteriores realizou-se um ensaio num apartamento T2 equipado com um sistema de ventilação do tipo *misto* (admissão e exaustão natural auxiliada por extracção mecânica descontinua na cozinha).

O ensaio foi realizado recorrendo ao método do gás traçador, mais concretamente à técnica PFT (*Perfluorocarbon Tracer*). É uma técnica relativamente recente, desenvolvida no início da década de 80 nos EUA, baseada numa metodologia experimental *in situ* muito simples, pois, consiste, essencialmente, em distribuir cápsulas emissoras e receptoras do gás traçador pela zona a estudar e posteriormente analisar as cápsulas receptoras.

Palavras-chave: Ventilação, Habitação, Renovação horária (RPH), PFT.

* Prof. Adjunto da Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Departamento de Engenharia Civil.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

1 Introdução

A adopção de caixilharias com estanquidade melhorada reduziu a permeabilidade ao ar da envolvente, tendo como consequência o aparecimento, cada vez mais frequente, de condensações superficiais [1].

O controlo dos caudais de ventilação é um factor fundamental na resolução dos problemas de conforto, podendo hierarquizar-se a origem das causas que regulam a condensação superficial do seguinte modo [2]:

- Isolamento térmico;
- Sistema de ventilação;
- Natureza dos revestimentos interiores;
- Orientação.

As recomendações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) [3] e a normalização existente na área da ventilação natural de edifícios de habitação [4], estipulam taxas médias de uma renovação por hora — RPH [h^{-1}] — nos compartimentos principais (quartos e salas) e quatro renovações por hora nos compartimentos de serviço (cozinhas, instalações sanitárias e lavandarias).

Admite-se que grande parte dos edifícios de habitação recentemente construídos não cumpram estas taxas. É necessário implementar sistemas de ventilação geral e permanente com admissão contínua de ar através dos compartimentos principais e exaustão de ar nos compartimentos de serviço.

2 Método do Gás Traçador

O método do gás traçador consiste na introdução no compartimento a ser testado de uma determinada quantidade de um gás pouco comum na atmosfera — gás traçador —, registando-se a evolução da sua concentração ao longo do tempo. Em sistemas que recorrem a ventilação natural, com infiltrações e exfiltrações, o método do gás traçador é o único que pode ser usado para medir a distribuição dos fluxos pelos espaços dos edifícios. Dependendo do tipo de controle e injeção podemos ter a seguinte classificação [5]:

- **Técnica do decaimento:** uma adequada quantidade de gás é libertada no espaço a medir. É estabelecida uma concentração inicial uniforme recorrendo a ventiladores. O decaimento da concentração do gás ao longo do tempo é registado de forma a obter a taxa de renovação por hora. É o método mais usado, mas tem como desvantagem a pequena duração do ensaio pelo que a taxa de renovação de ar obtida é característica somente daquele espaço de tempo (ex.: 1 hora);

- **Injecção constante:** o gás é libertado a uma taxa constante e a variação da concentração ao longo do tempo é registada. Pode ser usado para medições prolongadas;
- **Injecção pulsada:** uma pequena quantidade de gás é libertada no espaço. O decaimento da concentração do gás ao longo do tempo é registado. Este método é usado em curtos espaços de tempo (tem a mesma desvantagem que a técnica do decaimento);
- **Concentração constante:** o gás é libertado, sob controle, no espaço de modo a que se obtenha uma concentração constante ao longo do tempo. A variação da taxa de libertação de gás é registada. Pode ser usado para medições prolongadas.

3 Introdução à Técnica PFT

3.1 Desenvolvimento da técnica

Durante os últimos anos a *técnica do gás traçador passivo* tem-se tornado bastante difundida internacionalmente, devido principalmente ao reduzido sistema experimental *in situ* e também devido ao facto de ser possível efectuar os ensaios em edifícios ocupados e em períodos alargados de tempo, o que permite aquilatar as reais taxas de ventilação de habitações ocupadas.

Esta técnica, a qual é denominada frequentemente por PFT devido ao tipo de gás usualmente empregue (*Perfluorocarbon Tracer*), foi criada nos EUA [6] e posteriormente aplicada e desenvolvida em várias instituições europeias [7].

A técnica do gás traçador passivo é uma variante da técnica da injeção constante e consiste na emissão continua do gás traçador, por exemplo Perfluorobenzeno (C_6F_6) — PB e Perfluorometilbenzeno (C_7F_8) — PMB, através de cápsulas emissoras. O gás contido nas cápsulas emissoras está na fase líquida e é disperso no ar ambiente através de várias técnicas: permeância através de uma membrana, através de um tubo capilar e mais recentemente inserindo um fio no tubo capilar o que permite uma emissão ajustável. Esta última técnica permite uma emissão homogénea proporcional ao volume da zona a estudar — *técnica da emissão homogénea* [8].

A recolha do gás é realizada passivamente através de cápsulas receptoras contendo um adsorvente, por exemplo carvão activado (poroso).

Na figura seguinte dão-se exemplos de uma cápsula emissora e receptora [7, 9].

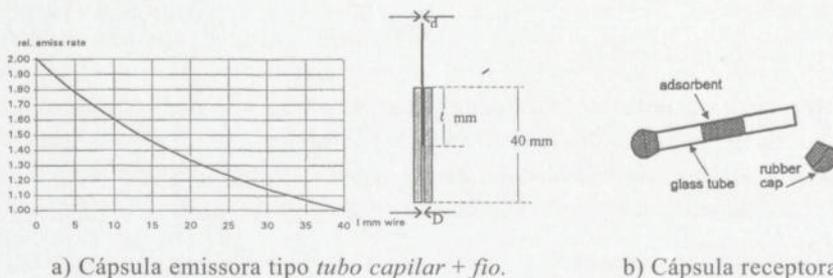


Figura 1: Exemplo de cápsula emissora e receptora.

3.2 Metodologia de cálculo

O princípio em que se baseia a técnica da emissão homogénea consiste na divisão do objecto a medir em várias zonas e injectar o gás traçador em cada zona com uma taxa proporcional ao volume das mesmas.

Se a mistura ar-gás traçador é uniforme em cada zona — concentração igual em todos os pontos — então a concentração (C_p) em cada zona é proporcional à idade média do ar nessa zona [8].

A idade média de uma partícula é o tempo que esta demora desde a entrada no compartimento até ao ponto em estudo.

No processo laboratorial a quantidade de gás traçador (M_p [g]) recolhida nas cápsulas receptoras é analisada, usando cromatografia gasosa, e a concentração média (C_p [g/m³]) é calculada a partir da taxa de recolha (κ [m³/h]) e o tempo de ensaio (T [h]):

$$C_p = \frac{M_p}{\kappa T} \quad (1)$$

A idade média do ar (τ [h]) é calculada a partir da concentração (C_p) recolhida pelas cápsulas receptoras na respectiva zona:

$$\tau_p = \frac{C_p}{E/V} \quad (2)$$

em que (E/V) é a taxa de emissão homogénea do gás traçador [g/h·m³].

Por fim, a taxa média de renovação por hora (RPH) de um edifício é obtida da seguinte forma:

$$RPH = \frac{1}{\sum V_i \tau_i / \sum V_i} \quad (3)$$

em que V_i e τ_i são, respectivamente, o volume e a idade média do ar em cada zona do edifício.

Na figura seguinte apresenta-se o princípio de análise da quantidade (M_p [g]) contida nas cápsulas receptoras [5]. Na primeira fase usa-se um cromatógrafo, este tem por objectivo separar os vários gases da amostra e assim isolar o gás traçador. A segunda fase consiste na quantificação do gás traçador e é realizada por um detector de captura de electrões. Esta quantificação é efectuada pela medição da captura de electrões, proporcional à quantidade de gás, quando este é sujeito a uma corrente eléctrica contínua.

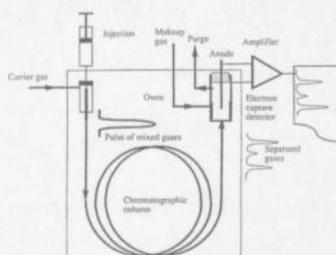


Figura 2: Princípio da cromatografia gasosa com um detector de captura de electrões.

4 Trabalhos desenvolvidos neste domínio

4.1 Investigação experimental internacional

Como referido anteriormente, o método da injeção constante, no caso em estudo PFT, permite estudos com intervalos de tempo prolongados, à semelhança do método da concentração constante, mas apresenta uma grande vantagem em relação a este, o dispositivo experimental *in situ* é muito mais simples. Tendo em conta as razões apresentadas, a nível internacional, principalmente nos países nórdicos, tem havido um largo uso deste método. Na Tabela 1 apresenta-se uma análise comparativa de estudos alargados no tempo e com um número bastante significativo de casos [10].

Tabela 1: Estudos internacionais recorrendo à técnica PFT.

	Dinamarca 1991	Finlândia 1992	Suécia 1994	Noruega 1998
Casos de estudo	123	242	1143	344
Período de medição	1-2 semanas	—	1 mês	2 semanas

4.2 Investigação nacional

A nível nacional o estudo das renovações horárias de habitações, recorrendo ao método do gás traçador (técnica do decaimento), tem sido reduzido.

Desenvolveram-se alguns trabalhos essencialmente teóricos [11, 12], outros de índole mais experimental, refira-se o trabalho [13], em que foram ensaiados uma moradia e 6 apartamentos, com RPH a variar entre $0,34 \text{ h}^{-1}$ e $1,48 \text{ h}^{-1}$. Numa tentativa de caracterizar as infiltrações médias anuais ensaiaram-se 12 moradias [14], obtendo-se RPH a variar entre $0,12 \text{ h}^{-1}$ e $1,20 \text{ h}^{-1}$.

Recentemente levou-se a efeito uma campanha experimental [15] que teve como objectivo fazer um levantamento dos sistemas de ventilação implantados em condições reais de utilização (analisaram-se 4 apartamentos com ventilação mecânica e 2 com ventilação natural). Retira-se deste trabalho que os sistemas mecânicos quando não estão em funcionamento não permitem uma ventilação adequada.

Está em curso um trabalho abrangente que tem por objectivo estudar as condições de conforto, ventilação e os respectivos sistemas, de um apartamento [16, 17].

Mediram-se, por exemplo, os seguintes parâmetros:

- Taxas de ventilação – RPH (recorrendo à técnica do decaimento);
- Caudais em condutas: instalação sanitária e cozinha;
- Permeabilidade de componentes da habitação: portas de patamar, janelas, caixas de estore, grelhas de admissão de ar e condutas de betão.

Consideramos que é fundamental medir as reais condições de ventilação de edifícios habitacionais ocupados durante um período alargado de tempo.

5 Trabalho Experimental Realizado

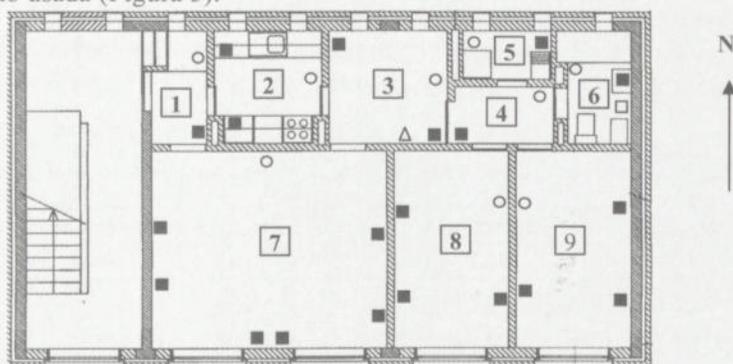
5.1 Descrição do edifício e do apartamento estudado

Com o objectivo de aquilatar a implantação das taxas de ventilação referidas anteriormente, durante um período alargado de tempo, realizou-se um ensaio (01/05/2002 a 18/05/2002), recorrendo à técnica da emissão homogénea, num apartamento T2. As características do edifício e apartamento são descritas a seguir:

Localização:	Vila Nova da Telha – Maia;
Cércea de edifício:	Garagem + 3 pisos;
Altura do apartamento:	2.º andar;

Ano de construção:	2000;
Tipologia do apartamento:	T2 (2 quartos e corredor interior adaptado a quarto);
N.º de pessoas:	1 adulto (2 adultos ao fim de semana) + 3 crianças;
Sistema de ventilação:	Admissão de ar por grelhas auto-reguláveis (1 grelha por quarto e 2 grelhas na sala) de <i>módulo</i> 30 – caudal escoado (m ³ /h) sob a diferença de pressão de 20 Pa; exaustão natural na instalação sanitária (Ø125); extracção mecânica individual e descontínua na cozinha; lavandaria autoventilada (admissão/exaustão através de grelhas fixas);
Características construtivas:	Sem aquecimento central; janelas de guilhotina com protecção interior em portadas (ambas de madeira).

De seguida apresenta-se a planta do apartamento com a localização da instrumentação usada (Figura 3).



Legenda:

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| ■ - cápsula emissora tipo A (PM); | ○ - cápsula receptora; |
| □ - cápsula emissora tipo B (PMB); | △ - medição de T [°C] e HR [%]. |

Figura 3: Planta do apartamento com indicação da posição do equipamento usado.

5.2 Renovações horárias

Os resultados obtidos para várias temperaturas interiores encontram-se descritos na Tabela 2. A diminuição de RPH com o abaixamento da temperatura interior é justificada pela variação da emissão de gás de aproximadamente 5 % por cada grau *Celsius* [9].

Sabendo que as grelhas de admissão garantem 120 m³/h, e tendo em conta que o volume do apartamento é de 160 m³, a taxa RPH esperada seria de 0,75 h⁻¹ (em média para todo o apartamento). As baixas taxas obtidas poderão ser explicadas pela relativa falta de ventilação cruzada, os vãos encontram-se pra-

ticamente numa fachada, orientados a Sul, enquanto que os ventos predominantes se situam entre os rumos N e NW. A falta do efeito de chaminé devido à pequena diferença entre a temperatura interior (16 °C) e exterior poderá também explicar as baixas taxas obtidas (Tabelas 2 e 4).

Tabela 2: RPH do apartamento em função da temperatura interior.

Temperatura [°C]	RPH [h ⁻¹]	Incerteza
12	0,33	± 12 %
14	0,37	
16	0,41	
18	0,45	
21	0,52	

A variação local, em cada compartimento, da taxa de renovação encontra-se na Tabela 3, onde se pode verificar que os compartimentos com maior renovação de ar são a lavandaria e a cozinha.

Tabela 3: RPH em cada compartimento para uma temperatura interior de 16 °C.

Compartimento	N.º	RPH _{local} [h ⁻¹]	Incerteza
Hall	1	0,42	± 0,04
Cozinha	2	0,49	± 0,04
Corredor A (Quarto C)	3	0,40	± 0,03
Corredor B	4	0,37	± 0,03
Lavandaria	5	0,85	± 0,07
Instalação sanitária	6	0,37	± 0,03
Sala	7	0,40	± 0,03
Quarto A	8	0,46	± 0,03
Quarto B	9	0,33	± 0,03

5.3 Condições climáticas ocorridas

As condições climáticas ocorridas no Aeroporto de Pedras Rubras (2 km do local do ensaio) durante o período em análise constam da Tabela 4 (dados obtidos através do Instituto de Meteorologia).

Tabela 4: Vento e temperatura ocorridos no Aeroporto de Pedras Rubras durante o período de ensaio.

Rumo	Vento		Temperatura [°C]	
	Frequência (%)	Vel. média (km/h)		
N	18,4	10,9	Média	13,8
NE	6,6	12,0		
E	10,2	9,0		
SE	4,9	7,4	Máxima	24,0
S	12,3	18,1		
SW	8,1	10,0		
W	6,0	9,0	Mínima	5,9
NW	31,2	17,5		
Calma	2,3	< 1		

6 Conclusões

Utilizou-se o método PFT, pensa-se que pela primeira vez em Portugal, para determinar as renovações horárias de um apartamento T2. Os resultados obtidos eram previsíveis atendendo à época do ano em que o ensaio foi realizado, o que resulta num fraco diferencial entre as temperaturas exteriores e interiores. Por outro lado, a disposição dos vãos não facilita a ventilação transversal dos compartimentos por efeito da ação do vento.

Pretende-se realizar o mesmo ensaio durante o próximo Inverno de forma a compararem-se as renovações horárias em condições ambientais distintas.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração da Câmara Municipal da Maia na solicitação do apartamento ensaiado.

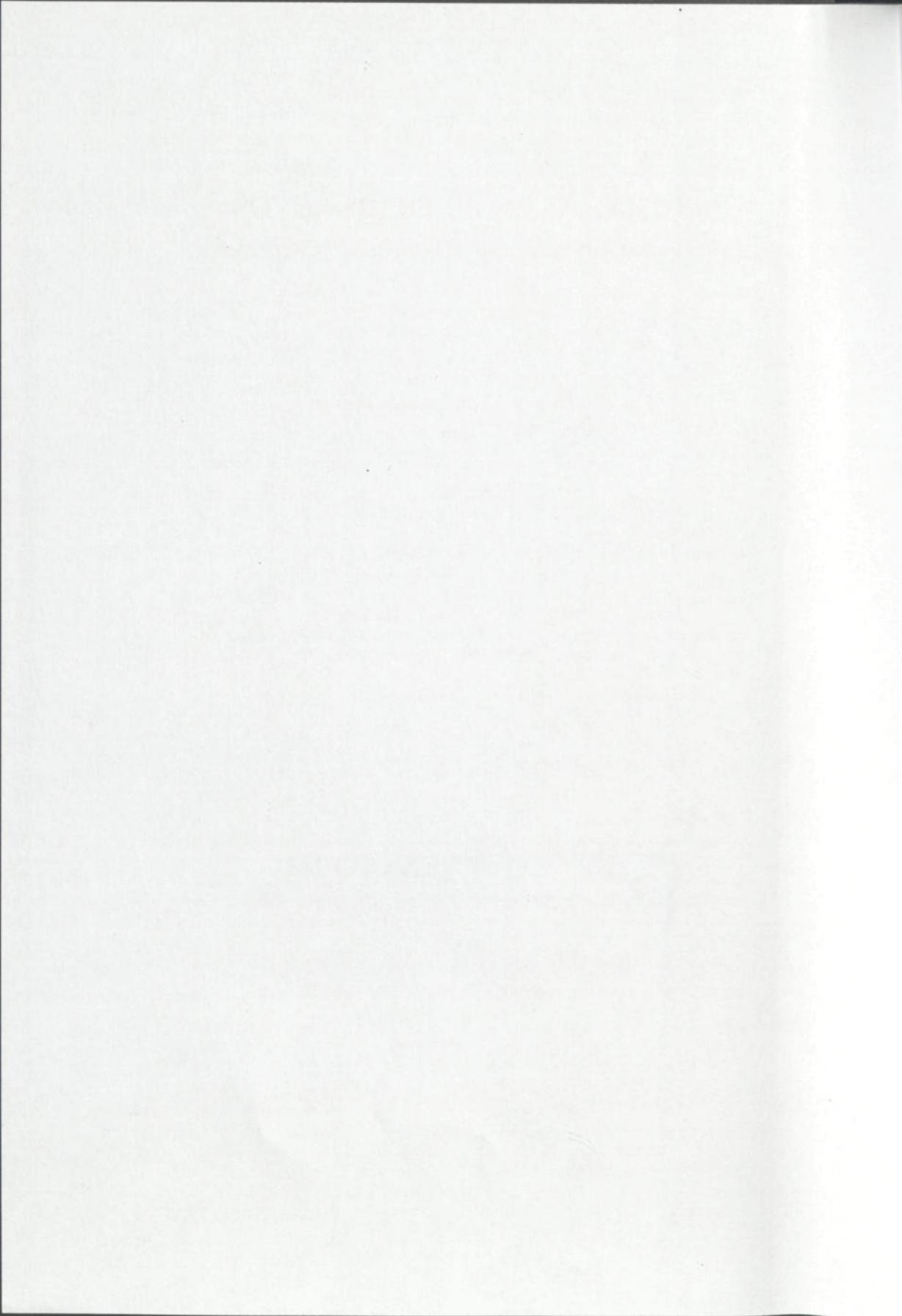
8 Bibliografia

- [1] Piedade, A. Canha & Rodrigues, A. Moret *Deficiências de ventilação na origem de manifestação de humidades em edifícios: um caso de estudo*, Construção 2001 - Congresso Nacional da Construção, IST, Lisboa, 2001.
- [2] Freitas, Vasco Peixoto de *Building condensation. How to solve the problem in Portugal*. 30.º Congresso IAHS, Coimbra, 2002.
- [3] Viegas, João C. *Ventilação natural de edifícios de habitação*. CED 5, LNEC, 1995.

- [4] Instituto Português da Qualidade, NP 1037-1. *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás. Parte 1: edifícios de habitação. Ventilação natural*. Lisboa, IPQ, 2002.
- [5] Roulet, Claud Alain & Vandaele, Luk *Air flow patterns within buildings: measurement techniques*. Technical Note 34, AIVC, 1991.
- [6] Dietz, R. N. & Cote, E. A. *Air infiltration measurements in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique*. *Environment International*, vol. 8, 1982.
- [7] Sateri, J. (editor) *The development of the PFT-method in the nordic countries*. Swedish Council for Building Research, Suécia, 1991.
- [8] Stymne, H. & Boman, C. A. *Measurement of ventilation and air distribution using the homogeneous emission technique - a validation*. *Healthy Buildings '94*, Hungria, 1994.
- [9] Stymne H. *Monitoring of ventilation rate and air distribution patterns in an apartment block using the homogeneous emission technique*. Joint Research Centre, Ispra, Itália, Final report contract n.º 5607-93-11 EI ISP S, 1994.
- [10] Öie, L. *et al.* *The ventilation rate of 344 Oslo residences*. *Indoor Air*, n.º 8, 1998.
- [11] Afonso, Clito *Modelização do movimento do ar no interior de edifícios através do recurso ao método do gás traçador*. Dissertação de mestrado, FEUP, 1986.
- [12] Afonso, Clito *Uma metodologia para a caracterização de fluxos de ar multizona em edifícios*. Dissertação de doutoramento, FEUP, 1989.
- [13] Afonso, Clito & Maldonado, Eduardo *Determinação de níveis de infiltrações típicos em edifícios portugueses*. 3.^{as} Jornadas de Física e Tecnologia de Edifícios, IST, Lisboa, 1988.
- [14] Silva, António Rocha e *Caracterização das infiltrações médias anuais em edifícios portugueses através do método de pressurização*. Dissertação de mestrado, FEUP, 1991.
- [15] Finteiro, António *Diagnóstico das condições de ventilação em edifícios de habitação*. Dissertação de mestrado, FEUP, 1999.
- [16] Viegas, João C. *et al.* *Ventilation of dwellings: requirements and experiments*. 30.º Congresso IAHS, Coimbra, 2002.
- [17] Viegas, João C. *et al.* *Assessment of the performance of natural ventilation in an apartment building*. Roomvent 2002, Dinamarca, 2002.



SESSÃO III



ANOMALIAS EM EDIFÍCIOS NOVOS

Medidas Correctivas e Medidas Preventivas

Álvaro Araújo *

Correio electrónico: alcepi@mail.telepac.pt

Manuela Almeida †

Correio electrónico: [malmeida@civil.uminho.pt](mailto:m Almeida@civil.uminho.pt)

Resumo

Tem-se assistido nos últimos anos, a uma preocupação crescente, por parte dos diversos agentes do processo construtivo (promotores, projectistas e construtores), com as questões relacionadas com a qualidade da construção, mas principalmente por parte dos construtores, com um incremento nos seus métodos de controlo e com a certificação das empresas. Continua no entanto, e apesar do esforço feito na melhoria da qualidade, a verificar-se uma diversidade de anomalias numa série de elementos de construção de edifícios novos e que se traduzem em inúmeras reclamações por parte dos utentes e no descrédito de alguns construtores (é usual a responsabilização única dos construtores pelos defeitos de uma construção, quando em inúmeros casos, essas anomalias resultam de má concepção dos edifícios por parte dos projectistas).

A resolução definitiva de algumas dessas anomalias revela-se por vezes impossível de realizar e noutras situações com custos elevados de reparação. Todo este processo provoca nos utentes dos edifícios um desgaste psicológico, custos e para as empresas construtoras, reclamações, publicação negativa ou até perda de confiança. A adopção, no decorrer de todo o processo construtivo, de medidas e disposições construtivas que minimizem a ocorrência de anomalias, será sempre uma boa opção e que se traduzirá naturalmente, por um lado, por um aumento da qualidade e por outro, por uma diminuição de custos.

Palavras-chave: Reabilitação, Medidas correctivas, Medidas preventivas.

1 Introdução

Nos edifícios de habitação, as anomalias mais correntes e mais complexas, são as que se verificam na sua envolvente exterior, fachadas e cobertura. As

* Eng.º Civil, Alcepi, Projectos de Arq. e Eng., Guimarães.

† Prof.ª Auxiliar da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.

acções físicas a que estes elementos estão submetidos são diversas, sendo de destacar os processos periódicos e cíclicos de *aquecimento/arrefecimento* e os ciclos de *molhagem/secagem* dos materiais de revestimento. As fachadas, são dos elementos mais susceptíveis de anomalias, pelas razões atrás expostas, mas ainda porque num elemento de fachada coexistem normalmente diversos materiais com comportamentos diferentes e nalgumas situações incompatíveis se não há o cuidado de estabelecer juntas entre eles que absorvam as tensões instaladas e originadas por exemplo, por solicitações higrotérmicas.

Deverá assim, haver cuidados especiais ao nível do projecto e da execução destes elementos de construção. A orientação, a cor, a sua composição e modos de ligação, são alguns aspectos que deverão ser tidos em conta.

2 Levantamento de anomalias em fachadas

2.1 Deformação de elementos em consola

Actualmente na concepção dos edifícios, recorre-se usualmente a soluções estruturais com corpos em balanço, utilizando-se sistemas tradicionais de construção, que se mostram em muitas situações inadequadas, quer pelo processo construtivo adoptado, quer pelos materiais utilizados. Nos elementos em consola, em que existem paredes exteriores de alvenaria, a deformação destes elementos, provoca fissuração excessiva nos panos de alvenarias subjacentes. Estas fissuras são provocadas pela deformação da laje que transmite cargas verticais dos pisos superiores aos inferiores, e que podem atingir valores consideráveis. Neste processo de deformação, por efeito da fluência, a alvenaria, no topo da parede, é assim sujeita a excessivas tensões de corte, provocando o seu fendilhamento.

2.2 Acções higrotérmicas

Na alvenaria confinada a uma estrutura de betão armado, verifica-se o desenvolvimento de fissuras que surgem na zona de ligação entre a alvenaria e a estrutura de betão. Como estes materiais têm características diferentes, quando sujeitos a acções higrotérmicas o seu comportamento é obviamente diferente, isto é, a dilatação e retracção destes materiais provoca na zona de ligação com outros materiais, diferentes movimentos. Como a alvenaria é confinada à estrutura, quando esta por efeito de um aquecimento ou arrefecimento experimenta um aumento de comprimento ou diminuição, respectivamente, exercerá sobre a estrutura que não permite a sua livre dilatação/contracção, um esforço de compressão/tracção.

Estes movimentos, aliados à baixa resistência à tracção dos rebocos tradicionais, provocam o seu fendilhamento, de modo a libertar a energia derivada das tensões instaladas.

As fendas devidas a contracções higrótérmicas numa alvenaria confinada, são caracterizadas por uma uniformidade constante de largura de fenda em todo o seu comprimento e localizadas em qualquer ponto de principal restrição ou em mudanças de secção [1]. As contracções são mais gravosas, dado que se transmitem às ligações esforços de tracção. Ao contrário, as dilatações transmitem esforços de compressão que são absorvidos mais facilmente quer pela alvenaria quer pela argamassa de ligação.

As situações em que a alvenaria não é confinada a uma estrutura de betão armado, deverão merecer cuidados especiais na sua execução. Uma anomalia muito corrente, consiste na fissuração que se verifica na alvenaria de enchimento de lajes em consola, principalmente nos cantos, conforme representado na Figura 1.

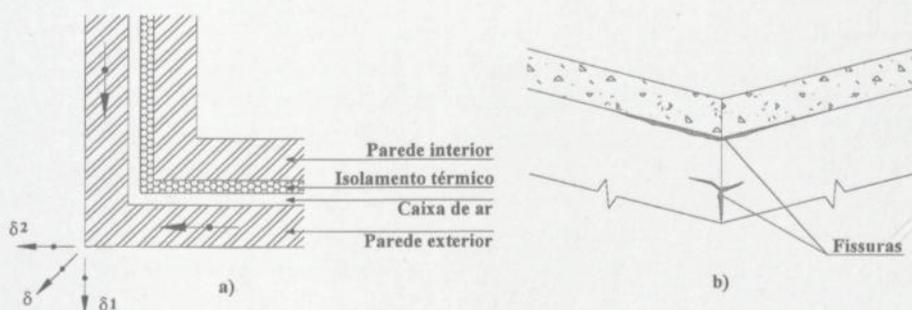


Figura 1: Elemento de parede de enchimento; a) Planta; b) Corte.

Por efeito de dilatações higrótérmicas, existe na ligação das duas paredes esforços com intensidade diferentes (dependendo do comprimento de cada uma das paredes) e com sentidos diferentes (ortogonais entre si). O esforço total resultante, a que corresponde o deslocamento δ , provoca a fissuração esquematizada na Figura 1 e faz com que a alvenaria se *solte* do alinhamento vertical da parede.

2.3 Aberturas e mudanças de secção

As fendas, qualquer que seja a sua origem, formam-se preferencialmente a partir de mudanças de secção. É comum ocorrerem nos pontos mais frágeis das paredes: portas e janelas [1] e distribuem-se preferencialmente nas seguintes zonas [2]:

- Nos ângulos e esquinas dos edifícios, mais intensamente que nas partes centrais destes, dado que crescem os impulsos que se exercem no sentido longitudinal do edifício, resultantes de variações higrotérmicas, e aumentam ao crescer a distância ao centro do edifício;
- Nos pisos superiores, com mais frequência e maiores larguras de fenda, porque ali se somam os efeitos de eventuais assentamentos da estrutura e a influência das temperaturas (zonas mais expostas, nomeadamente coberturas).

Poderão ainda acrescentar-se outras zonas que merecem particular atenção: aberturas (Figura 2a); localização de cortes na parede (Figura 2b); mudanças de largura ou espessura (Figura 2c).

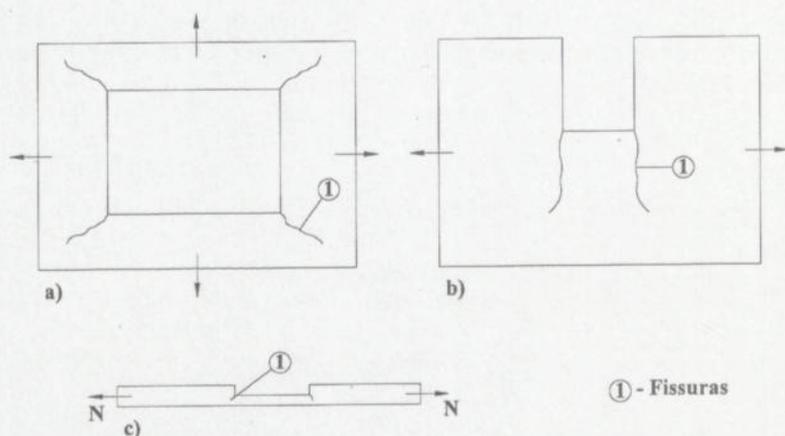


Figura 2: Fissuras que surgem em zonas de mudanças de secção; a) Vão em parede (alçado); b) Corte em parede (alçado); c) Variação de espessura (planta).

3 Anomalias de coberturas em terraço

As coberturas e particularmente as coberturas em terraço visitáveis, são dos mais vulneráveis elementos de construção, uma vez que estão sujeitas a acções climáticas altamente agressivas.

As coberturas estão submetidas não só a variações anuais de temperatura, mas também a flutuações diárias: uma forte chuva após uma forte insolação, representa uma variação tão brusca da temperatura, que é uma verdadeira prova à sua resistência à rotura [2]. Estas variações de temperatura têm como consequência importantes variações dimensionais destes elementos, provocando a destruição do pavimento e em muitas situações, a rotura da própria impermeabilização.

Uma anomalia muito corrente é da resultante da dilatação da camada de regularização na zona de junção com obstáculos (parapeito, platibanda, saliência), de acordo com o esquematizado na Figura 3. A dilatação daquela camada, traduz-se num impulso P , que se exerce sobre o obstáculo e que aliado ao efeito do diferente comportamento térmico da laje e da platibanda (tratando-se de materiais diferentes, têm comportamentos térmicos diferentes), pode dar origem à rotura por corte da impermeabilização, na zona de encosto. Esta situação é detectada com muito frequência, verificando-se nalguns casos uma separação completa da impermeabilização por rotura desta acima e abaixo do nível da camada de regularização e até um deslocamento das platibandas relativamente à laje.

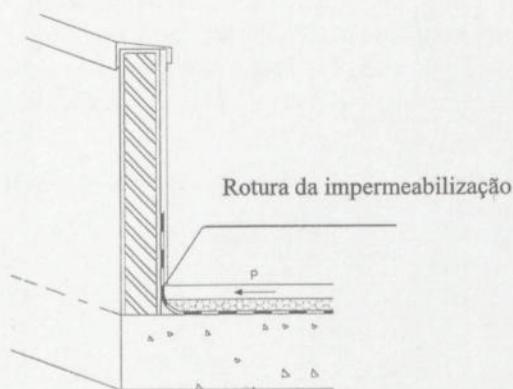


Figura 3: Movimento da camada superior restringida por um obstáculo.

4 Medidas correctivas

A primeira fase de um trabalho de reparação é o diagnóstico, ou seja a determinação da(s) causa(s) que deu origem a determinada anomalia.

O método e os materiais de reparação a utilizar, devem ser assim seleccionados, função da causa mais provável da anomalia, da largura de fendas, da sua evolução no tempo e até do grau de consequências nefastas que provoca na construção.

Uma análise visual cuidada da anomalia, pode desde logo apontar indícios claros da sua origem, ou levar a excluir outras possibilidades: fendas predominantemente verticais no reboco, são muito provavelmente derivadas de alterações do suporte nessa zona. Fendas obliquas, típicas de cisalhamento na ligação alvenaria/viga ou laje de betão, podem ser devidas a movimentos diferenciais daqueles elementos [1]. O desenvolvimento de fendas a partir dos cantos das aberturas, resultam do enfraquecimento do suporte nessa zona [3].

Pode resumir-se, de uma forma um pouco simplista, o tratamento a efectuar em função de largura das fissuras [4]:

- Para micro fissuras (<0,2 mm): pintura e revestimento de impermeabilização;
- Para fissuras com largura entre 0,2 mm e 1 mm: aplicação de uma armadura sobre novo revestimento e pintura armada;
- Para fissuras com largura entre 1 mm e 2 mm: abertura de fissura e obturação com um mastique;
- Para fissuras com aberturas superiores a 2 mm e fissuração generalizada: sistema de isolamento térmico pelo exterior. Este sistema, para além de ser totalmente eficaz e de fácil aplicação na reabilitação de fachadas, apresenta ainda as seguintes vantagens adicionais: melhoria da estanquidade; protecção das estruturas e panos de alvenaria aos choques térmicos; ausência de pontes térmicas e melhoramento geral do isolamento térmico;

Na Figura 4, propõe-se um método para reparação de fissuras, de acordo com o preconizado no DTU 42.1 [5].

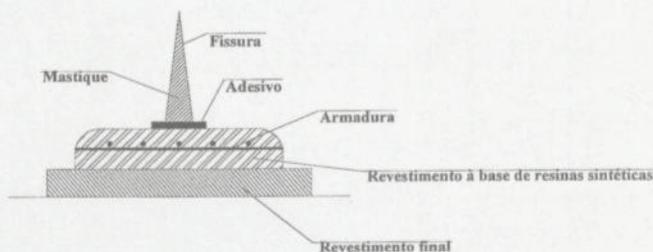


Figura 4: Esquema de tratamento de uma fissura.

Na Figura 5, apresenta-se uma solução para reparação de fissuras que se desenvolvem em panos de alvenaria não confinada a uma estrutura de betão e consiste no travamento dos panos exteriores de alvenaria, na sua globalidade ou em zonas pontuais, com armaduras tradicionais [6] devendo adoptar-se os seguintes procedimentos:

- Execução de pilares com secção transversal superior a 20 cm × 20 cm, localizados nos ângulos e em zona corrente, com um espaçamento não superior a 5 metros. Estes pilares deverão ter 4 ferros de 12 mm e deverão ser chumbados nos elementos de betão armado de suporte de alvenaria (Figura 5a).

- Incorporação na alvenaria de cintas com 10 cm de largura e com 2 varões de 16 mm de diâmetro, (Figura 5c), com espaçamentos máximos de 3 metros.
- Revestimento final das paredes com uma argamassa tradicional, armada com uma rede de fibra de vidro ou metálica.

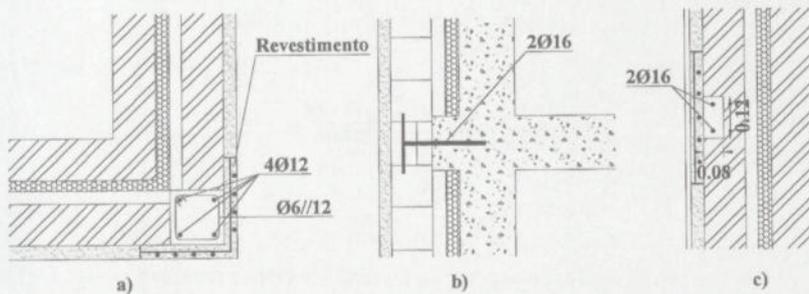


Figura 5: Esquema de armaduras de reforço de uma parede de alvenaria.

Nas coberturas em terraço, as anomalias mais comuns, resultam da ausência de juntas de fraccionamento dos pavimentos e na proximidade de obstáculos. A reparação nestes casos, poderá processar-se da seguinte maneira, de acordo com o esquematizado na Figura 6:

- Abertura a cerca de 10 cm do parapeito ou platibanda de junta com 2 cm de largura, com disco de corte e na profundidade total do revestimento (revestimento propriamente dito e camada de regularização, devendo haver o cuidado de não danificar a impermeabilização) e em todo o perímetro do parapeito;
- Colocação de cordão de poliestireno, a cerca de 1,5 cm do piso final;
- Preenchimento superior da junta com um mastique adequado.

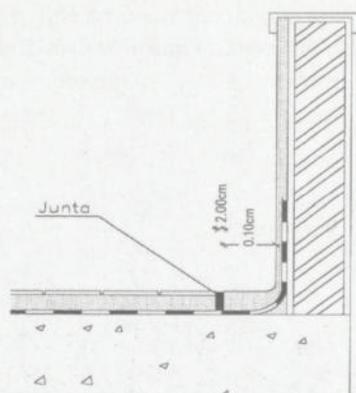


Figura 6: Execução de junta periférica numa cobertura em terraço visitável.

Para reparação da camada de revestimento (pavimento), deverão executar-se juntas, pelo processo atrás exposto, definindo áreas de 16 m^2 ($4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$) e com espessuras da junta de 1 cm [7], preenchidas com um material elástico (mastique).

5 Medidas preventivas

O facto de actualmente se verificarem frequentemente defeitos de construção em edifícios novos, prende-se com vários factores, de entre os quais se destacam: prazos de execução muito curtos; utilização de novos materiais sem pleno conhecimento das técnicas de aplicação mais adequadas; falta de mão-de-obra especializada; projectos de má qualidade com falta de pormenorização e falta de fiscalização no decurso da obra.

Procurar-se-ão referir algumas medidas preventivas e elaboração de pormenores construtivos sobre os elementos da construção onde se verificam maior número de anomalias.

Ao nível do projecto, deverá ser assegurada uma correcta concepção estrutural e um estudo complementar aos estados limites de utilização, de maneira a limitar as deformações de elementos de estrutura (principalmente consolas), que possam afectar paredes de alvenaria.

A adopção de elementos não estruturais (pilares e vigas de travamento) em panos de alvenaria de enchimento de consolas, não só limitam as tensões induzidas na alvenaria pela deformação da consola, como limitam as deformações (dilatações e contracções) provocadas por acções higrotérmicas. Nos panos de alvenaria não confinada, é prudente que a alvenaria seja "armada" conforme indicado na Figura 5.

Relativamente às paredes exteriores mais comuns (parede dupla com caixa ar), existem disposições construtivas, que a serem rigorosamente cumpridas, são uma garantia contra a infiltração de humidade, ainda que o pano exterior apresente fissuração. Apresenta-se na Figura 7, esquematicamente um corte deste tipo de paredes, de acordo com as orientações do DTU 20.1 [8].

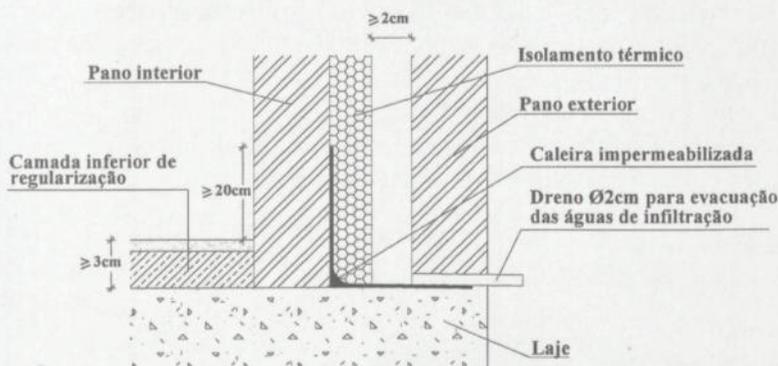


Figura 7: Pormenor da caleira na base de uma parede exterior.

O processo de execução destas paredes deve obedecer às seguintes disposições construtivas:

- Aplicação em primeiro lugar do pano de alvenaria interior e execução de caleira (meia cana) na base da parede, com argamassa de cimento e areia fortemente doseada (450 kg a 500 kg de cimento por m³ de areia);
- Aplicação dos drenos e pintura impermeabilizante da caleira com produtos de base cimentícia, após colocação da primeira fiada do pano exterior;
- Aplicação, em todo o comprimento da parede, de um filme de polietileno que preencha totalmente a base da caleira e que irá permitir a recolha dos resíduos de argamassa de assentamento da alvenaria exterior e que doutra maneira ficariam depositados, impedindo assim a condução das águas de infiltração aos drenos e destes para o exterior;
- Execução do pano de alvenaria exterior, havendo o cuidado de não utilizar argamassa em excesso nas juntas, deixando por assentar, na primeira fiada, um tijolo de 2 em 2 metros. Pelos vazios deixados na primeira fiada, é retirado o filme de polietileno e de seguida colocados, cuidadosamente, os tijolos em falta. De salientar, que nas alvenarias confinadas a uma estrutura em betão armado (situação da caleira inter-

rompida) a impermeabilização da caleira e a execução da meia cana, deve também fazer-se na ligação com os pilares.

Noutros tipos de alvenaria, como a alvenaria de tijolo face à vista, deverão ser executadas juntas de dilatação com espaçamentos máximos de 15 metros [9] e dispostos nos cantos e mudanças de secção de maneira a prevenir as dilatações e retracções resultantes das variações higrotérmicas. Deverão no entanto ser utilizados espaçamentos menores de acordo com a exposição da fachada [10]: 12 m a 14 m no Alçado Norte; 10 m a 12 m no Alçado Este; 8 m a 9 m no Alçado Sul; 7 m a 9 m no Alçado Oeste.

Estes espaçamentos poderão ser aumentados, desde que se prevejam armaduras nas juntas da argamassa de assentamento do tijolo. Na Figura 8, representa-se esquematicamente as zonas da fachada onde devem ser previstas juntas de dilatação.

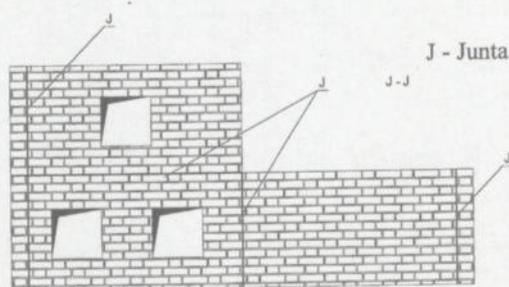


Figura 8: Juntas de dilatação em pontos mais sensíveis da fachada.

Estas juntas deverão ter 20 mm de espessura e ser preenchidas com um cordão de polietileno, posteriormente revestido com borracha de silicone à cor da argamassa das juntas.

Para as coberturas em terraço, propõe-se na Figura 9, um pormenor construtivo, de acordo com as recomendações do DTU 43.1 [11], sendo necessário definir entre o material cerâmico, juntas com 1 cm de largura e com espaçamento máximo L de 4 metros (definindo áreas máximas de 16 m²) e junta periférica com cerca de 2 cm de espessura, de acordo com a Figura 9. As juntas serão preenchidas com um material elástico do tipo mastique, próprio para aplicação em pavimentos.

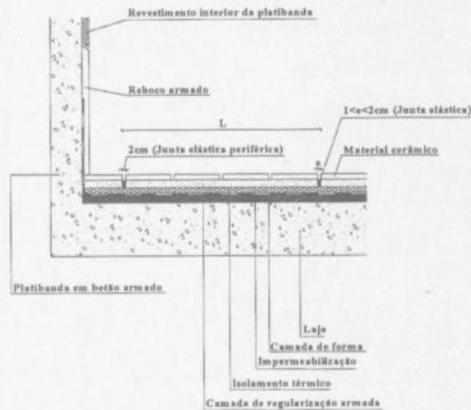
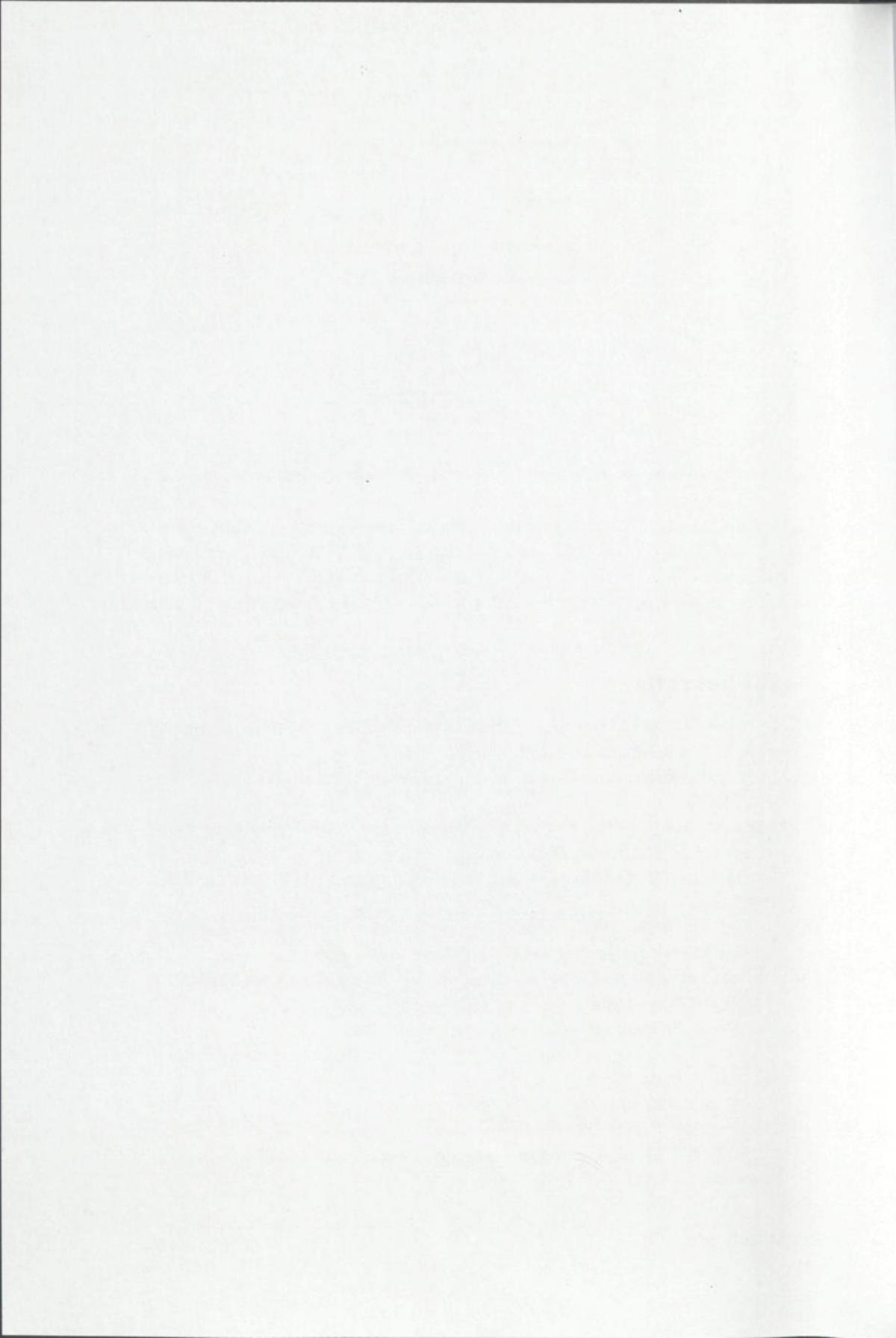


Figura 9: Pormenor de terraço visitável com platibanda em betão armado.

Um dos elementos da cobertura que merece atenção especial, são as platibandas, que quando executadas em alvenaria de tijolo podem apresentar uma série de anomalias. Assim, é prudente que estes elementos sejam realizados em betão armado e perfeitamente solidarizados com a laje de cobertura (Figura 9).

6 Bibliografia

- [1] Bonshor, RB & LL Bonshor, Cracking in de Buildings, *Construccion Research Communications, Ltd*, Londres, 1996.
- [2] Eichler, Friedrich *Patología de la Construcción*. Editorial Blume, Barcelona, 1973.
- [3] Paiva, J. Vasconcelos *Curso de especialização sobre revestimentos de paredes*, LNEC, Lisboa, 2000.
- [4] Logeais, Louis *L'Étanchéité à L'eau des Façades*, E.G. Éditeur, Paris, 1990.
- [5] C. S. T. B. *Réfection de façades en services par revêtement d'imperméabilité à base de polymères*, DTU 42.1, Paris, 1993.
- [6] Freitas, Vasco *Patologia da Construção*, 7.^{as} Jornadas de Construções Cívicas, FEUP, Porto, 1999.
- [7] Pathologie du Bâtiment, *Qualité Construction*, Paris.
- [8] C. S. T. B. *Ouvrages en maçonnerie de petits éléments*, Parois e murs, DTU 20.1, Paris, 1995.
- [9] British Standards Institution, BS 5628, Londres, 1985.
- [10] Deutsche Gesellschaft Fuer Manerwerksbau.
- [11] C. S. T. B. *Étancheté des toitures-terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie*, DTU 43.1, Paris, 1994.



DEFINIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO EM REVESTIMENTOS DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Maria do Rosário Veiga*

Correio electrónico: rveiga@lnec.pt

José Aguiar†

Correio electrónico: jaguiar@lnec.pt

Resumo

Os revestimentos exteriores de paredes assumem grande importância nas intervenções em edifícios antigos. Com efeito, têm um papel fundamental na protecção da alvenaria antiga, condicionam fortemente o aspecto final dos edifícios e podem reforçar a resistência mecânica de alvenarias fracas.

Por estarem muito expostos a acções potencialmente destrutivas, são dos primeiros elementos a mostrar degradação e existe uma grande tendência para os extrair e substituir integralmente.

Contudo, a substituição deveria ser a última opção, porque a ética da conservação exige a preservação dos materiais e tecnologia antiga sempre que possível, mas também porque é difícil especificar argamassas de substituição compatíveis com os elementos preexistentes. Por outro lado, a análise atenta do revestimento antigo mostra frequentemente que a degradação é superficial e que é possível evitar a substituição recorrendo a acções de preservação.

A opção sobre a estratégia de intervenção a adoptar em revestimentos antigos deve basear-se em critérios científicos e histórico-estéticos, tendo em conta o seu valor, o seu estado de conservação real e a disponibilidade de meios, entre outros factores.

Na presente comunicação apresenta-se uma descrição sintética dos rebocos exteriores de edifícios antigos mais correntes em Portugal, estabelece-se uma classificação do seu estado de conservação, discutem-se as estratégias de intervenção a implementar e propõe-se um conjunto de requisitos a exigir aos rebocos de substituição.

Palavras-chave: Conservação, Revestimentos, Estratégias, Edifícios antigos.

* Investigadora Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios.

† Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Departamento de Edifícios.

1 Introdução

Os revestimentos exteriores assumem grande importância na conservação patrimonial: têm um papel fundamental na protecção da alvenaria antiga contra acções climáticas, choques mecânicos, contaminação ambiental; condicionam fortemente o aspecto final das construções (ornamentação, decoração e expressão arquitectural); e está provado que os rebocos podem reforçar significativamente a resistência mecânica de alvenarias fracas aspecto não desprezável, já que as paredes antigas têm, em geral, funções estruturais.

Os revestimentos exteriores estão muito expostos a acções potencialmente destrutivas, pelo que são, naturalmente, dos primeiros elementos a mostrar degradação e existe uma grande tendência para os extrair completamente e substituir por outros novos.

Contudo, a substituição deveria ser a última opção, porque a ética da conservação exige a preservação dos materiais e tecnologia antiga sempre que possível, mas também porque é realmente difícil especificar argamassas de substituição compatíveis com os elementos preexistentes, já que a compatibilidade depende de diversos factores.

Uma análise atenta do revestimento antigo mostra frequentemente que a degradação é superficial e que é possível evitar a substituição recorrendo, por exemplo, a operações de reparação pontuais.

A opção sobre a estratégia de intervenção a adoptar em revestimentos antigos deve basear-se em critérios científicos, tendo em conta o seu valor histórico e arquitectónico, o seu estado de conservação real, a disponibilidade de meios, entre outros factores.

Nos itens seguintes apresenta-se uma descrição sintética dos rebocos exteriores de edificios antigos em Portugal, estabelece-se uma classificação do seu estado de conservação, discutem-se as estratégias de intervenção a implementar e referem-se os requisitos a exigir aos rebocos de substituição.

2 Revestimentos Exteriores de Edifícios Antigos

Nas paredes antigas rebocadas os revestimentos eram geralmente constituídos pelas seguintes camadas principais, com diferentes funções [1]:

- a) **Camadas de regularização e protecção:** emboço; reboco (propriamente dito)[‡]; esboço;

[‡] No restante desta comunicação usar-se-á o termo *reboco* com o significado que em geral lhe é dado actualmente, de revestimento de argamassa no seu conjunto, ou seja, do conjunto das camadas de *emboço*, *reboco* e *esboço*.

b) **Camadas de protecção, acabamento e decoração:** barramento (ou guarnecimento); pintura, em geral mineral; ornamentação.

As camadas de regularização e protecção eram constituídas por argamassas de cal e areia, eventualmente com adições minerais e aditivos orgânicos. Normalmente, as camadas internas tinham granulometria mais grosseira que as externas e a deformabilidade e porosidade iam aumentando das camadas internas para as externas, promovendo assim um bom comportamento às deformações estruturais e à água. Cada uma das camadas principais referidas podia, por sua vez, ser constituída por várias subcamadas. Com efeito, para a mesma espessura total, camadas finas em maior número permitiam uma melhor capacidade de protecção [2] e uma durabilidade superior.

Os barramentos ou guarnecimentos [3] eram constituídos por massas finas de pasta de cal, ou de pasta de cal com pó de pedra, também geralmente aplicadas em várias subcamadas, com finura crescente das mais interiores para as mais exteriores. Estas camadas são muito importantes para a protecção do reboco, verificando-se que, quando se destacam, se assiste a uma degradação rápida do reboco subjacente (Figura 1).

A coloração das superfícies era conferida pela incorporação de agregados com cor seleccionada, de terras ou de pigmentos minerais na última camada de barramento, ou por camadas posteriores de pintura, geralmente de cal, aditivada com pigmentos e outras adições minerais. As superfícies podiam ser ornamentadas (com *stuccos*, *figidos*, *esgrafitos*, etc.), pintadas com policromia e técnicas da pintura mural (a fresco ou a seco) ou simplesmente coloridas de vários modos [4] (Figura 2).

Estes revestimentos, cuidadosamente executados e aplicados segundo as regras da boa arte, tinham grande resistência e durabilidade; a atestá-lo estão tantos exemplos com séculos de existência, que chegaram aos nossos dias em bom estado de conservação (Figura 3).

As texturas e cores tão características, os materiais seleccionados, a tecnologia usada — a boa arte de executar e aplicar, cujos segredos são, hoje, difíceis de penetrar — o bom funcionamento global das paredes gerado pela compatibilidade de materiais e de soluções construtivas, merecem ser preservados, não só porque fazem parte da nossa história e da nossa memória colectiva e caracterizam ambientes, mas também porque são importantes objectos de estudo da própria história dos materiais e das tecnologias da construção.



Figura 1: Revestimento antigo em várias camadas.

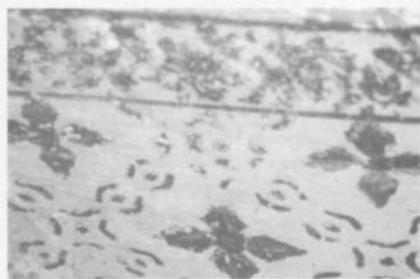


Figura 2: Fingidos de azulejo.

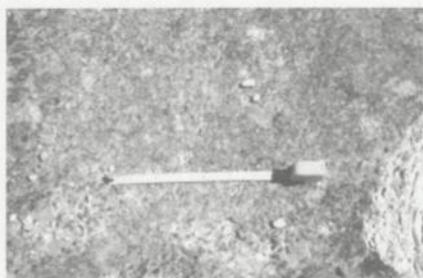


Figura 3: Ruínas de Tróia (séc. I).



Figura 4: Revestimentos de substituição num Forte, com eflorescências e erosão.

3 Opções de Intervenção

Os revestimentos são dos elementos mais sujeitos à degradação e também dos que mais influenciam a imagem do edifício. O desconhecimento da sua constituição e da tecnologia envolvida fazem com que a opção comum para a sua reparação seja a extracção de todo o revestimento e a sua substituição por uma solução corrente e actual, em geral não adaptada ao funcionamento da parede antiga. Muitas vezes, as soluções adoptadas, além de descaracterizarem os edifícios, são funcionalmente desadequadas e têm um desempenho e uma durabilidade inferiores aos preexistentes (Figura 4).

A primeira opção deve ser a conservação do revestimento antigo através de operações de manutenção e de reparação pontual. Se tal for inviável, pode ser apropriada uma consolidação do revestimento existente. Em terceiro lugar, deve encarar-se a substituição parcial em alguns paramentos, com recurso a

revestimentos semelhantes aos antigos. Em último caso, pode de facto ser necessária a remoção e substituição total.

Podem considerar-se, assim, quatro grandes opções possíveis de intervenção, que se caracterizam sucintamente a seguir.

3.1 Manutenção

Para prolongar a vida útil dos revestimentos é importante programar operações de manutenção periódicas, nomeadamente através de operações de limpeza e de tratamento (por exemplo com biocidas), da correcção das situações que podem dar origem a infiltrações de água, que são causa de muitas outras anomalias e da reparação atempada das camadas de acabamento (barramentos e pinturas) que têm uma acção muito importante na protecção das camadas subjacentes. A colmatação de fendas superficiais pode também enquadrar-se em operações de manutenção.

3.2 Reparações localizadas

Quando a severidade das anomalias o justifica devem fazer-se reparações localizadas nas zonas mais afectadas, por exemplo através do tratamento de fendas, da eliminação de sais ou do preenchimento de lacunas, com utilização de materiais semelhantes aos preexistentes [4].

3.3 Consolidação

A consolidação é há muito empregue em outros elementos da construção antiga, como as pinturas murais e a pedra [5], no entanto há muito a fazer para adaptar essa técnica aos rebocos e torná-la viável técnica e economicamente, devido às grandes superfícies envolvidas e à heterogeneidade e friabilidade do material.

No nosso País apenas recentemente se tentaram algumas experiências de preservação dos revestimentos existentes, em vez da sua substituição, tendo-se recorrido a reparações localizadas, aplicação de novas camadas de acabamento, etc.

No entanto, quando as anomalias existentes consistem em perda de aderência ou em perda de coesão, as soluções de maior preservação implicam o uso de consolidantes, sob a forma de *pastas injectáveis (groutings)* que promovam a recolagem entre camadas ou entre estas e o suporte, ou de adesivos, inorgânicos ou mesmo orgânicos, para restituição da ligação entre as partículas do material [6]. Este tipo de técnicas, que reunimos sob a designação geral de *consolidação*, não tem sido, tanto quanto se sabe, aplicado em Portugal no domínio dos rebocos, com excepção de algumas experiências recentes, ainda semi-empíricas [7].

Naturalmente, apenas se justifica recorrer à consolidação de rebocos quando o edifício, ou o revestimento é de valor elevado, quer por razões históricas ou artísticas, quer devido à raridade da técnica ou do material.

3.4 Substituição parcial e substituição total

Quando as anomalias existentes são de severidade elevada, principalmente se os outros factores também forem contrários — valor reduzido do edifício e disponibilidade de meios insuficiente — pode ser necessário substituir parte do reboco ou a sua totalidade. Por vezes, basta substituir a última camada, mais fendilhada ou contaminada por microorganismos, ou uma determinada zona do reboco, por exemplo afectada de forma prolongada por uma infiltração de água. Outras vezes, perante uma desagregação generalizada, por exemplo, impõe-se a substituição total.

Nestes casos, é de primordial importância que os materiais de substituição sejam adequados, sob pena de se correr o risco de acelerar a degradação [8, 9].

É necessário ter critérios bem definidos para decidir quando se justifica fazer opções mais onerosas e complexas, que devem basear-se, fundamentalmente, nos seguintes factores:

- a) Valor do edifício em geral e do revestimento em particular;
- b) Estado de conservação do revestimento;
- c) Disponibilidade de meios, em termos de tecnologia, mão-de-obra, tempo e verbas.

O primeiro factor envolve vários parâmetros — valor histórico, valor arquitectónico, valor artístico, valor de raridade, valor técnico-científico, e, até, valores funcional e económico — que são, em si, relativamente subjectivos e que ainda podem ser ponderados de diferentes formas, dando origem a uma grelha de classificação que faria todo o sentido preparar de forma séria e fundamentada (tem-se conhecimento que um tal estudo está em vias de ser iniciado).

O estado do revestimento existente é um factor relevante e passível de ser avaliado e quantificado.

O terceiro factor é, em princípio, objectivo, mas é necessário um grande rigor para que não se torne um pretexto para legitimar as escolhas mais fáceis, pelo que se deve, de facto, evitar que se torne o factor demasiado decisivo.

4 Estado de Conservação

O estado de conservação dos revestimentos existentes pode ser caracterizado pelos tipos de anomalias que revelam [10] e pelo grau com que se manifestam. Com efeito, enquanto um revestimento fendilhado, mesmo que em grau elevado, pode ser reparado com alguma facilidade, recorrendo a técnicas bastante conhecidas, o mesmo não se passa quando há deficiências de aderência ao suporte ou de coesão entre as partículas, cuja preservação exige o emprego de técnicas mais caras e complexas.

Assim, surge o conceito de severidade da anomalia, que está relacionado, não só com o grau, mais ou menos elevado, da degradação provocada, mas também com a sua reparabilidade.

5 Definição de Estratégias de Intervenção

O cruzamento sistematizado destes aspectos permite o estabelecimento de uma classificação do estado de conservação do revestimento, relacionada com o tipo de intervenção mínimo (isto é, o que se situa do lado da máxima preservação) de que se apresenta uma primeira aproximação na Tabela 1.

Tabela 1: Classificação do estado de conservação do revestimento.

Tipo de Anomalia	Grau	Intervenção Mínima*	Classificação
Fendilhação	Elevado	Reparação localizada	Severidade 3
	Médio	Reparação localizada superficial	Severidade 2
	Reduzido	Manutenção	Severidade 1
Eflorescências e Criptoflorescências	Elevado	Substituição parcial	Severidade 4
	Médio	Reparação localizada	Severidade 3
	Reduzido	Reparação localizada superficial	Severidade 2
Biodeterioração	Elevado	Reparação localizada	Severidade 3
	Médio	Reparação localizada superficial	Severidade 2
	Reduzido	Manutenção (com tratamento biocida)	Severidade 1
Perda de aderência	Elevado	Substituição parcial	Severidade 5
	Médio	Preenchimento de lacunas	Severidade 4
	Reduzido	Consolidação (recolagem ao suporte ou entre camadas)	Severidade 3
Perda de Coesão ou Desagregação	Elevado	Substituição parcial	Severidade 5
	Médio	Substituição parcial	Severidade 4
	Reduzido	Consolidação	Severidade 3
Erosão	Elevado	Reparação localizada	Severidade 2
	Médio	Manutenção	Severidade 1
	Reduzido	Manutenção	Severidade 1

*Após tratamento das causas.

Tabela 2: Critérios gerais de decisão sobre o tipo de intervenção.

Estado de Conservação	Valor do Edifício	Opção de Intervenção	Seleção dos Materiais	Seleção das Técnicas	Outras Exigências
Severidade 1	Elevado	Conservação e manutenção	Compatíveis e idênticos	Tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; Aspecto idêntico
	Reduzido	Conservação e manutenção	Compatíveis	Regras da boa arte	Reparabilidade; Aspecto compatível
Severidade 2	Elevado	Consolidação e/ou Reparação localizada	Compatíveis e idênticos	Tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; Aspecto idêntico
	Reduzido	Reparação localizada e/ou substituição parcial	Compatíveis	Regras da boa arte	Reparabilidade; Aspecto compatível
Severidade 3	Elevado	Consolidação e/ou Reparação localizada	Compatíveis e idênticos	Tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; Aspecto idêntico
	Reduzido	Substituição parcial	Compatíveis	Regras da boa arte	Reparabilidade; Aspecto compatível
Severidade 4	Elevado	Preenchimento de lacunas ou substituição parcial	Compatíveis e idênticos	Técnicas tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; Aspecto idêntico
	Reduzido	Substituição parcial ou integral	Compatíveis	Regras da boa arte	Reparabilidade; Aspecto compatível
Severidade 5	Elevado	Substituição parcial	Compatíveis e idênticos	Técnicas tradicionais e/ou especializadas	Reversibilidade; Aspecto idêntico
	Reduzido	Substituição integral	Compatíveis	Regras da boa arte	Reparabilidade; Aspecto compatível

Naturalmente, a interpretação e quantificação dos factores em presença envolvem aspectos subjectivos e exigem, como sempre, experiência e bom senso do técnico responsável.

Após análise da influência do estado de conservação do revestimento podem definir-se, de forma mais geral, as opções de intervenção e os critérios gerais a ter em conta, cujas bases procuram estabelecer-se no quadro 2, considerando também o factor valor do edifício. O factor disponibilidade de meios não foi considerado, devido à dificuldade de o contabilizar e ao risco de o sobrevalorizar.

6 Requisitos a Exigir aos Rebocos de Substituição

A adequabilidade dos materiais a usar na realização de revestimentos de substituição prende-se com critérios de compatibilidade, funcionais, de aspecto e de comportamento futuro em conjunto, tentando evitar, nomeadamente, o surgimento de fenómenos de envelhecimento diferencial entre novos e velhos revestimentos.

Em trabalhos anteriores estabeleceram-se os requisitos a exigir e analisou-se a razão de ser de cada um deles e da sua quantificação [8, 9, 11], tendo como base o tipo de alvenarias mais correntes no Sul do nosso País: alvenaria irregular de pedra ou mista de pedra e tijolo, com percentagens elevadas de argamassa.

Em síntese, admitem-se os seguintes princípios básicos para a formulação das argamassas de substituição: (i) As características mecânicas devem ser semelhantes às das argamassas originais e inferiores às do suporte; (ii) A aderência nunca deve ter rotura coesiva pelo suporte; (iii) A tensão desenvolvida por retração restringida deve ser inferior à resistência à tracção do suporte; (iv) A capilaridade, a permeabilidade ao vapor de água e a facilidade de secagem devem ser semelhantes às das argamassas originais e superiores às do suporte; (v) Devem adequar-se ao papel funcional e estético das argamassas que substituem (rebocos, juntas, acabamentos etc.); (vi) Devem possuir durabilidades e envelhecerem de forma similar e não devem provocar halos ou alterações de cor em revestimentos adjacentes preservados.

Para diferentes tipos de paredes, por exemplo para alvenarias de pedra aparelhada, estes requisitos deverão sofrer adaptações.

Naturalmente, nos casos de reparações localizadas e de preenchimento de lacunas, os materiais a usar terão que verificar requisitos muito mais rigorosos devendo, nomeadamente, ter composições muito semelhantes aos preexistentes, ao nível dos constituintes — tipo de cal, natureza, granulometria e cor da areia — e da técnica de preparação e aplicação.

Por último, não é demais enfatizar a importância das técnicas de preparação e aplicação das argamassas, decisivas para o desempenho e a durabilidade dos revestimentos, com destaque para a quantidade de água de amassadura, o número e espessura das camadas, o *aperto da massa*, as condições de cura.

7 Referência Especial

Este trabalho enquadra-se no Projecto *Metodologias para a Mitigação do Risco Associado à Degradação das Construções*, em curso no LNEC, co-financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

8 Bibliografia

- [1] Veiga, M. Rosário & Tavares, Martha *Características das paredes antigas. Requisitos dos revestimentos por pintura. PINTUMED. A Indústria das Tintas no início do século XXI*, Lisboa: APTETI, Outubro de 2002.
- [2] Veiga, M. Rosário *Protecção contra a água de paredes de edificios antigos. Avaliação experimental da capacidade de protecção de argamassas de reboco com base em cal*. Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas - REPAR 2000. Lisboa: LNEC, Junho de 2000.
- [3] Gonçalves, Teresa *Guarnecimentos tradicionais para paredes exteriores de edificios antigos*. Lisboa: LNEC, Janeiro de 1996. Relatório 11/96-NCCt.
- [4] Aguiar, José *Estudos Cromáticos nas intervenções de conservação em centros históricos*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Évora, 1999.
- [5] Delgado Rodrigues, J. & Pinto, Ana *Estudo de produtos consolidantes para a Torre de Belém, Intervenção de conservação exterior*. Lisboa: IPPAR, 2000.
- [6] Aguiar, José *et al. Consolidação de revestimentos exteriores (rebocos e barramentos) de edificios antigos. Reflexões para um plano de estudo*. Lisboa: LNEC, Setembro de 2001. Relatório 216/01-NA.
- [7] Aguiar, José *Algumas questões sobre cor e cidade histórica: Évora, exemplar e pioneira (como sempre)*, *Revista centros históricos*: Santarém: AMCH, 2000.
- [8] Veiga, M. Rosário *et al. Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings*. International Seminar Historical Constructions 2001. Guimarães: Universidade do Minho, Novembro de 2001.
- [9] Veiga, M. Rosário & Carvalho, Fernanda *Argamassas de reboco para edificios antigos. Requisitos e características a respeitar*. Cadernos de Edifícios, n.º 2. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002. Em edição.
- [10] Magalhães, Ana Cristian *Patologia de rebocos antigos*. Cadernos de Edifícios, n.º 2. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002. Em edição.
- [11] Veiga, M. Rosário *et al. Metodologias para Caracterização e Conservação de Argamassas de revestimento de Edifícios Antigos*. Relatório final do Projecto OLDRENDERS (co-financiado pela Agência de Inovação). Lisboa: LNEC, Outubro de 2001.

TECNOLOGIA DE UTILIZAÇÃO DE CHAPAS DE COBRE NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS

Luis Bragança*

Correio electrónico: braganca@civil.uminho.pt

Jorge Vieira†

Correio electrónico: jorge.vi@clix.pt

Filipe Ferreira‡

Correio electrónico: aoferreira@netc.pt

Resumo

Este estudo baseia-se na análise da intervenção de reabilitação do edifício *Alfândega Régia – Museu de Construção Naval de Vila do Conde*, enquanto exemplo de intervenção no património arquitectónico que chega até aos nossos dias.

Este projecto não serve apenas para reconciliar uma memória perdida, mas também para impulsionar novos rumos, sendo importante que os edifícios deixem transparecer referências da sua identidade cultural, que neste exemplo, estão claramente presentes através da utilização de diferentes materiais no exterior, surgindo como um recorte uma ponte entre o passado e o presente.

Esta exposição visa estudar o material que reveste todo o novo edifício, o cobre, que sendo um material antigo, surge como marca do presente. Nesta perspectiva apresentam-se alguns dados de interpretação sobre as especificidades a ter em conta na utilização do cobre como revestimento de estruturas, tornando assim possível o desenvolvimento de uma consciência de projecto.

Palavras-chave: Chapas de cobre, Reabilitação, Edifícios Antigos.

* Prof. Auxiliar da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Director do Laboratório de Física e Tecnologia das Construções.

† Arq.^{to}, Técnico Superior na Empresa Zn, Revestimentos em Zinco, L.^{da}

‡ Eng.^o Civil, Assistente Convidado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil.

1 Introdução

A experiência mostra que não existem regras universais de reabilitação. Existem princípios para a conservação e restauro do património construído, como consta na mais recente proposta, a *Carta de Cracóvia* de 2000 [1]. Assim, a aplicação de um material ou de uma tecnologia tradicional como alternativa a materiais ou tecnologias recentes nem sempre é recomendada e nem sempre é desaconselhável.

Torna-se imperioso que, na escolha dos materiais a utilizar, o projectista tenha em consideração as exigências colocadas pelo edifício em questão, tendo como critérios a compatibilidade física e química, as características de envelhecimento e a manutenção que o edifício irá exigir futuramente.

O cobre exerce um papel cada vez mais relevante na conservação do património arquitectónico e na arquitectura moderna graças à sua capacidade de dobrar com facilidade. A título de exemplo pode citar-se o caso particular da técnica de junta agrafada que permite o uso do cobre de forma quase ilimitada. Devido a essa versatilidade, a técnica em questão adapta-se perfeitamente à crescente utilização do cobre no revestimento de fachadas e coberturas.

O cobre é um material especial pelas suas propriedades reconhecidas, onde se realça:

- A alta durabilidade devido à excelente resistência à corrosão;
- A grande facilidade de remoção da corrosão não desejada;
- A boa formabilidade, mesmo na execução dos trabalhos mais difíceis;
- A maleabilidade a baixas temperaturas;
- A economia, dado não necessitar de limpeza ou manutenção;
- A integração harmoniosa com os outros materiais usados na construção, devido à patina natural que realça a sua beleza com a idade.

Inicialmente o cobre apresenta uma cor avermelhada, passando por tons de castanho até adquirir a patina final esverdeada. Em contraste com os revestimentos de tinta, a superfície do cobre é sempre activa. A patina continua a reagir e a desenvolver-se em resposta às solicitações atmosféricas.



Figura 1: a) e b) Aro da porta de entrada principal; c) Pormenor de uma lâmina de cobre de revestimento da proa do *barco*.

2 Cobre, uma Opção

Propriedades do material

As propriedades mais relevantes do cobre são as seguintes:

- O cobre, Cu-DHP, em folha ou rolo para a indústria da construção está regulamentado pela norma DIN EN 1172;
- O grau de pureza Cu-DHP 99,90 % é definido pela norma DIN 1787.

Tabela 1: Propriedades do cobre.

Densidade	8,93 g
Ponto de fusão	1083 °C
Condutibilidade térmica a 20 °C	293-364 W/(m·K)
Condutibilidade eléctrica a 20 °C	14-52 m/(Ω·mm ²)
Coefficiente de dilatação térmica linear ($\Delta T = 100$ °C)	$\Delta L/L = 1,7$ mm/m
Modulo de elasticidade	132 kN/m ²

3 Montagem do Cobre com Outros Materiais

A aplicação do cobre exige cuidados na sua utilização. Uma boa pormenorização do projecto potencia a melhor execução dos trabalhos e garante o prolongamento de vida do material, obtendo-se uma maior rentabilidade do investimento.

A pormenorização passa por uma clara definição da estrutura de suporte, pelo estudo das soluções de ventilação para se evitarem as condensações inter-

nas e pelo correcto dimensionamento das peças de cobre de modo a compatibilizá-las com a sua variação dimensional.

O cobre, quando combinado erradamente com outros metais pode danificá-los devido ao fenómeno de corrosão electroquímica. Há, por isso, algumas noções que necessitam de estar bem claras acerca da montagem do cobre com outros materiais metálicos, de modo a evitar erros comuns:

- A combinação do cobre com chumbo e/ou aço é inofensiva;
- A combinação do cobre com alumínio só é possível quando o alumínio é revestido por uma camada superficial que impeça a condutibilidade eléctrica, para que os escorridos do cobre não tenham reacção electroquímica com o alumínio. O contacto directo dos dois metais deve ser prevenido com a inserção de uma camada intermédia não condutora, como o *neoprene*;
- A combinação do cobre com zinco ou com aço galvanizado deve ser evitada. Por exemplo, no caso de os elementos da cobertura serem em cobre e os elementos verticais de transporte da água ao solo em zinco, os iões de cobre são levados pela água da chuva, que por sua vez são drenados para tubos de queda de zinco, acelerando o processo de corrosão. Se a utilização do zinco for a montante do cobre, a coexistência é inofensiva mas deve-se acautelar para que não existam pontos de contacto entre os materiais.

4 O Tipo de Suporte

4.1 Infra-estruturas e subestruturas

No contexto dos revestimentos com juntas agrafadas, a infra-estrutura é parte integrante de toda a estrutura que funciona como suporte. O revestimento com juntas é fixado à subestrutura.

Na Europa é habitual o uso de madeira tratada como subestrutura nos revestimentos de fachadas e coberturas, devido à facilidade de aplicação das pre-silhas de fixação, às suas boas propriedades estruturais e fácil trabalhabilidade.

Neste trabalho vai-se abordar a tecnologia de aplicação do cobre em fachadas, coberturas acessíveis e coberturas não acessíveis.

4.2 Coberturas não acessíveis

Na *Alfândega Régia – Vila do Conde* existem duas coberturas não acessíveis para as quais a solução de aplicação de lâminas de cobre é constituída por:

- Subestrutura constituída por duplo estrado de madeira (soalho de madeira maciça de carvalho) com régua macheda de 150 mm de largura com 24 mm de espessura; isolamento térmico de poliestireno extrudido com 80 mm de espessura; placas de contraplacado de 16 mm de espessura.



Figura 2: Esquema de suporte para cobertura não acessível.

4.3 Coberturas acessíveis

Embora na obra da *Alfândega Régia - Vila do Conde* não tenha sido realizada qualquer cobertura acessível, durante a realização dos trabalhos, foi equacionada a hipótese de uma cobertura deste tipo, tendo sido discutida a respectiva solução. A concepção deste tipo de revestimento desenvolvida pelo instalador foi a seguinte: O suporte seria constituído pela própria laje, devidamente regularizada e com as pendentes de 1 % mínimas, para garantir a drenagem das águas. A estrutura de suporte das lâminas de cobre, a ser aplicada, seria constituída por barrotos de pinho, seco e tratado contra fungos e insectos, com 80 mm de largura e 100 mm de altura fixados ao suporte, com separação entre eixos equivalente à largura das lajetas a aplicar.

Nota: Entre o metal de revestimento e a subestrutura, deverá ser aplicado um feltro betuminoso com armadura de fibra de vidro levemente calcado (*bituler*), com uma dupla função: impedir o contacto directo com os produtos imunizantes da madeira e servir de dreno caso ocorram condensações internas. O feltro betuminoso servirá de protecção à subestrutura caso a sua montagem se verifique em tempo de chuva.

Entre a chapa metálica de revestimento e o isolamento térmico deverá ser colocada uma tela plástica pitonada, tipo *delta*, com vista a garantir a ventilação da sua superfície inferior.

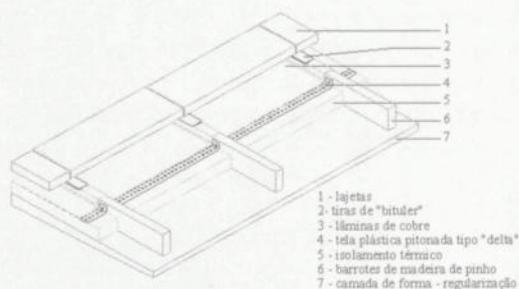


Figura 3: Esquema de suporte para cobertura não acessível.

4.4 Fachadas

Na *Alfândega Régia – Vila de Conde* foi preconizada a seguinte solução para as fachadas revestidas com lâminas de cobre. A subestrutura é constituída por duplo estrado de madeira (soalho de madeira maciça de pinho em tábuas de 150 mm de largura com 24 mm de espessura, colado e pregado para a estrutura; isolamento térmico de poliestireno extrudido de 60 mm de espessura; painéis de contraplacado com 10 mm de espessura) com barrotes em pinho tratado com 60 mm de largura e espessura do isolamento térmico e com espaçamento igual à largura das placas dessas placas (Figuras 5a, 5b e 5c).

Os técnicos responsáveis pelo projecto equacionaram a hipótese de serem realizados painéis em cobre como revestimento das fachadas, para a qual foi estudada a seguinte estrutura de suporte: a subestrutura para painéis seria constituída por suportes metálicos, que funcionam na forma de sistema de componentes descontínuo, necessitando de uma membrana que funcione como corte térmico no componente que liga à estrutura.

5 Ventilação

5.1 Construções ventiladas

A capacidade de ventilação da caixa-de-ar, de modo a retirar qualquer humidade que possa surgir no seu interior, depende de dois factores: a quantidade de humidade e a velocidade com que o ar circula. Isto é garantido pela provisão da câmara-de-ar localizada entre o revestimento metálico e a estrutura, ficando localizadas na subestrutura, entradas e saídas de ar contínuas de modo a garantir o arejamento completo desse espaço. Assim, ao retirar a humidade de dentro do edifício para o exterior, estão-se a evitar as condensações internas.

Nas coberturas devem ser colocadas as entradas de ar o mais baixo possível e as saídas o mais alto possível. Nas fachadas as entradas devem ser colocadas na parte inferior e as saídas na parte superior.

Para reduzir a quantidade de vapor vinda do interior do edifício, deve-se ser colocada uma barreira de vapor sobre o suporte. Sobre esta barreira de vapor deve ser colocado o isolamento térmico, ficando entre este e o estrado de madeira um espaço para ventilação. O isolamento térmico deve corresponder às exigências funcionais do edifício, tendo em consideração as características do seu projecto térmico. Dado tratar-se de um revestimento metálico, geralmente aconselha-se um isolamento constituído por placas de lã de rocha, devido às suas características adicionais de boa absorção sonora.

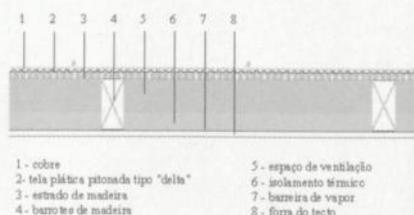


Figura 4: Esquema de cobertura ventilada.

5.2 Construções não ventiladas

As crescentes exigências de maior isolamento térmico, a grande disponibilidade de barreiras de vapor e a quantidade de materiais de isolamento existentes actualmente no mercado, permitem a execução de construções não ventiladas.

Quando construídas apropriadamente as construções não ventiladas oferecem muitas vantagens no caso específico do cobre.

A tendência de utilização de coberturas em cobre não ventiladas é cada vez mais usual devido às propriedades do cobre. O cobre é resistente à corrosão em ambas as suas faces, interior e exterior, enquanto outros metais não. Esta é uma importante vantagem, uma vez que nem a água formada pela condensação nem a água da chuva o conseguem danificar. Quando este material é sujeito a estas condições, forma-se nas faces expostas uma camada oxidada protectora, impedindo a corrosão. É, no entanto, necessária a instalação de uma barreira de vapor eficiente que permita a drenagem da água resultante das condensações de modo a evitar-se a degradação da subestrutura de suporte.

No caso particular da *Alfândega de Vila do Conde* foi adoptada uma solução não ventilada para as paredes exteriores. O sistema construtivo é idêntico ao descrito anteriormente, excepto no que concerne à ventilação. As condensações que possam ocorrer na face interior das lâminas de cobre são canalizadas directamente para o exterior.

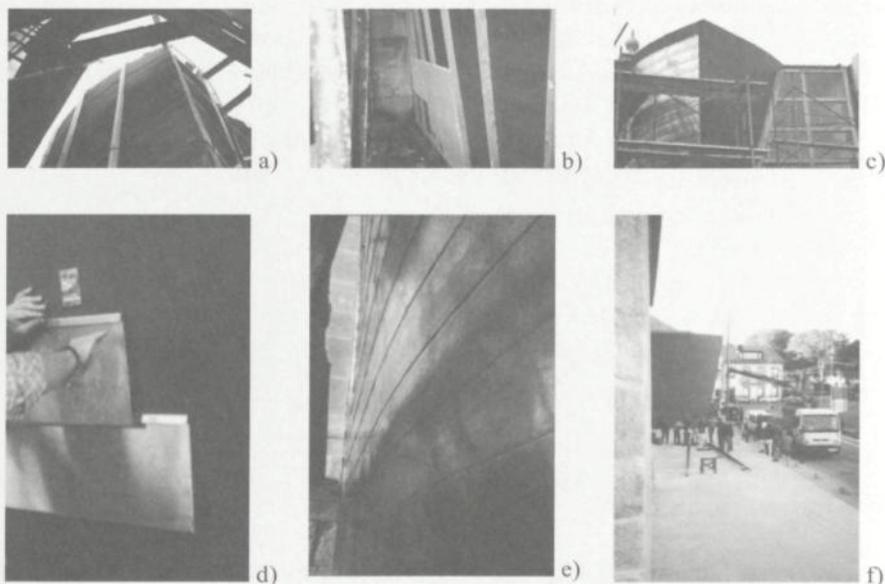


Figura 5: a) Proa com o revestimento com reguado de madeira interior; b) Proa já com a colocação parcial do poliestireno; c) Proa com revestimento em contraplacado e, a cota inferior, com o revestimento final com lâminas de cobre; d) Pormenor da colocação das lâminas de cobre; e) Vista de um pano acabado; f) Vista da proa ao longe.

6 Sistema de Colocação do Revestimento em Cobre

6.1 Coberturas não acessíveis

O valor mínimo da inclinação da cobertura para junta agrafada, com uma junta de 25 mm de altura, é de 3°, de acordo com as especificações da norma DIN 18 339.

Embora, por vezes seja difícil atingir o valor mínimo de inclinação, como por exemplo em palas horizontais, nestas circunstâncias aconselha-se a utilização de bandas de selagem nas juntas, para melhorar a impermeabilidade aos

agentes atmosféricos, ou o aumento da altura da junta, que pode ser feito facilmente até 40 mm de altura.

Todos os materiais estão sujeitos à expansão térmica. No cobre o coeficiente de expansão é relativamente pequeno, numa variação de 100 °C (-20 °C a +80 °C), o valor do coeficiente de expansão do cobre é de 1,7 mm/m, devendo as fixações do material garantir a capacidade de absorção dos movimentos de expansão e de retracção. Assim, as presilhas de fixação devem ser fixadas por pregos de cobre e devem ser colocadas presilhas de fixação deslizantes.

Nota: Não são admissíveis distâncias entre presilhas superiores a 500 mm.

No caso particular da *Alfândega de Vila do Conde* foi utilizada a técnica da *junta agrafada*, sendo as várias lâminas colocadas sobre uma tela plástica pitonada do tipo *Delta* que por sua vez foi colocada sobre duplo estrado de madeira, com placagem de isolamento térmico de poliestireno extrudido 80 mm de espessura entre barrotes com a secção de 80 mm × 80 mm.



Figura 6: a) Pormenor da placagem de isolamento térmico de poliestireno extrudido; b) e c) Pormenor da colocação tela plástica e das lâminas de cobre.



Figura 7: Vista parcial do revestimento final.

6.2 Coberturas acessíveis

No caso particular da *Alfândega Régia - Vila de Conde*, como referido anteriormente, não foi realizada cobertura acessível, mas foi equacionada em projecto uma solução deste tipo. A cobertura acessível teria uma inclinação

mínima de 1 %. Nesta situação, não sendo possível a realização da técnica da junta agrafada, teria de ser utilizado um sistema de batente (cobre juntas) que encaixasse sobre o perfil de cobre.

O perfil deve ficar encastrado entre barrotes de madeira, com cobre juntas, que apresenta um desenvolvimento médio de 150 mm, aplicadas sobre barrotes de madeira.

Devem-se reforçar os apoios das lajetas, com tiras de *bituler* de 80 mm, aplicadas sobre o cobre-juntas, (Figura 3).

6.3 Fachadas

No revestimento exterior das fachadas da *Alfândega Régia – Vila de Conde*, optou-se por um sistema composto de lâminas ligadas entre si por união simples, fixadas ao suporte por presilhas, (Figuras 5a, 5b e 5c) pelo facto das fachadas apresentarem uma superfície curva.

Nos casos de aplicação da técnica de junta agrafada ou sistemas de painéis em fachadas, como revestimentos de fachadas, estes obedecerão a alguns cuidados na sua execução.

O procedimento da técnica de junta agrafada em fachadas é igual ao das coberturas, exigindo-se maior rigor na colocação das presilhas de fixação, pois pequenos desalinhamentos ou dilatações tornam-se mais visíveis.

Deve ser calculado o número de presilhas caso a caso, tendo em consideração a altura do edifício e as acções do vento para este cálculo.

Na colocação de sistemas de painéis, é necessário ter em conta as dimensões dos painéis e a ligação entre eles, devendo o perfil ser reforçado na zona de encaixe com altos na parte interior, para uma melhor fixação.

Os painéis podem apresentar dimensões até 400 mm de largura, mas devido às dilatações recomenda-se que a dimensão máxima do painel seja de 300 mm de largura. Para larguras do painel superiores, deve-se reforçar o perfil por quinagem ou através do reforço do seu interior. As juntas de dilatação têm dimensões entre 0 mm a 30 mm de largura e como complemento do sistema de painel existem diferentes perfis de remate, perfis de cantos interiores e perfis de cantos exteriores. Estes podem formar parte do desenho da superfície da fachada.

A dobragem longitudinal de um painel, embora sendo possível, é difícil de realizar especialmente quando se pretendem obter cantos perfeitamente rectilíneos. Além desta dificuldade existem ainda limitações relacionadas com o reforço dos painéis e com as dimensões do painel, pois só se pode obter no máximo 200 mm para cada lado do eixo. Os perfis de remate de topo obedecem às mesmas regras de aplicação dos outros perfis.

Os painéis podem atingir a dimensão máxima de 4,0 m de comprimento, que é mais do que suficiente para vencer panos entre pisos correntes permitindo uma grande liberdade de desenho.

O sistema de painel, ao estar separado da estrutura secundária, do isolamento térmico e das paredes, garante uma câmara de ar, funcionando como fachada ventilada, tendo como vantagens o aumento da resistência térmica da envolvente opaca e a possibilidade de se empregarem diferentes espessuras de isolamento térmico, sobretudo em obras de reabilitação.

7 Sistema de evacuação de águas pluviais

No desenho do algeroz deve-se ter em conta que são obrigatórias juntas de dilatação de 6 em 6 metros e que devem ser realizadas com junta de *neoprene* com 10 mm para dilatação. Não sendo visível do exterior, ela deve sobrepor no algeroz 150 mm com uma soldadura mínima de 5 mm. Os suportes do algeroz devem ficar a 200 mm de distância da junta (máximo). As embocaduras, na ligação do algeroz, devem ter no mínimo uma área de contacto de 60 % do diâmetro do tubo, bem como serem dotados de ralos de pinha em cobre.

No capeamento de muretes deve ter-se em conta a junta de dilatação de 8 em 8 metros, e os rufos devem ser constituídos por 2 peças: uma primeira aplicada durante a betonagem e a segunda peça durante a finalização dos trabalhos.

8 Conclusões

O acto de intervir no património faz parte de um processo educativo, como garantia da preservação do património construído para as gerações futuras. A presente comunicação tem como finalidade fundamental contribuir como ferramenta de trabalho. A descrição das tecnologias de aplicação do cobre, o seu planeamento e instalação, revestem-se de particular importância para o comportamento físico das construções, sendo o seu conhecimento fundamental para a compreensão do funcionamento da envolvente dos edifícios.

Assim, espera-se que os projectistas, possam aproveitar este estudo como instrumento teórico e prático no sentido de (re)valorizar o acto de projectar.

9 Agradecimentos

Os autores querem agradecer a todos que colaboraram na realização deste artigo em especial ao Eng.º Pedro Príncipe dos Santos da Zn, cujo conhecimento e contributo prático foi determinante na realização do artigo e na execução dos trabalhos na *Alfândega Régia - Vila de Conde*.

10 Bibliografia

- [1] *Cracóvia 2000 – Uma carta para o futuro*, in Monumentos 16 / Março 2002, editado pela Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais.
- [2] *Tejados de cobre* – CEDIC, editado pelo Centro Español de Informacion del Cobre, 1995.
- [3] Röbbert, Fritz *Planning, Designing and Processing, TECU – Copper*, publicado pela KM Europa Metal AG, 3.^a edição, 2000.
- [4] *TECU – Copper, Roofing Manual*, editado pela KM Europa Metal AG.

DIAGNÓSTICO E REPARAÇÃO DE PATOLOGIAS DE REBOCOS EM CONSTRUÇÕES CORRENTES

Pedro Lima Gaspar*

Correio electrónico: pedrogaspar@esoterica.pt

Jorge de Brito†

Correio electrónico: jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

Este artigo propõe e discute um método de levantamento e diagnóstico de patologias em rebocos exteriores aplicados em construções correntes. Este método foi aplicado para apoio a trabalho de campo, durante o qual meia centena de edifícios foi analisada, no âmbito do estudo da durabilidade de rebocos exteriores.

Apresentam-se os resultados da campanha de levantamento, com identificação das principais anomalias detectadas, o seu grau de gravidade, as zonas dos edifícios mais afectadas e a sua evolução no tempo.

Palavras-chave: Diagnóstico, Levantamento, Anomalias, Rebocos, Durabilidade.

1 Introdução

Os rebocos exteriores constituem um sistema cuja complexidade dificulta a previsão do seu comportamento e durabilidade ao longo do tempo, em condições reais de utilização.

Neste domínio, apesar de alguns estudos aprofundados sobre os mecanismos de degradação de rebocos [1, 2, 3], não é ainda possível cruzar os dados recolhidos em campo com o conhecimento das características do material, da sua aplicação e do seu comportamento em determinadas condições ambientais e de uso.

Por outro lado, os trabalhos de levantamento e diagnóstico de patologias em fachadas não incidem geralmente sobre o estudo detalhado dos rebocos exteriores e apresentam uma visão estática dos casos estudados [4, 5], por oposição a uma análise dinâmica ao longo do tempo, que permita fundamentar metodologias eficazes para o aumento da durabilidade dos rebocos através, por

* Arquitecto, Assistente no Departamento de Projecto da FA-UTL.

† Professor Associado no Departamento de Eng. Civil do IST-UTL.

exemplo, do conhecimento do padrão de degradação no tempo, de diferentes tipos de argamassas, de diferentes idades em edifícios distintos.

2 Método de Levantamento e Diagnóstico de Anomalias

2.1 Enquadramento

O método de levantamento, registo e diagnóstico de anomalias em argamassas de ligante mineral que se apresenta foi desenvolvido e aplicado pelos autores com o objectivo de caracterizar a evolução da degradação de rebocos exteriores ao longo do tempo, no âmbito do estudo da durabilidade deste revestimento, em construções correntes [6].

Para o efeito, utilizou-se como referência a listagem das variáveis que mais directamente afectam o tempo de vida dos rebocos, tal como é entendida nos Métodos Factoriais para a estimativa da vida útil de elementos e de acordo com a norma ISO para a durabilidade [7], cujo *draft* se encontra em avançado estado de preparação:

- A: Características do material;
- B: Factores de projecto;
- C: Factores de execução;
- D: Condições ambientais e de exposição;
- M: Manutenção.

2.2 Metodologia

Numa primeira fase, foi elaborada uma “ficha de ensaio” que listava os principais factores que afectavam cada uma das variáveis acima identificadas e os sub-factores passíveis de serem identificados em campanhas de inspecção visual. Esta ficha foi inicialmente aplicada num reduzido número de casos para testar a sua adequação aos objectivos propostos, tendo sido sucessivamente corrigida até se atingir uma versão final.

2.3 Caracterização do grupo de edifícios estudado

Os resultados que se apresentam neste artigo correspondem ao primeiro ensaio da aplicação desta metodologia para um conjunto alargado de edifícios.

Neste sentido, seleccionou-se um universo relativamente homogéneo de construções na zona de Tavira, com as seguintes características:

- a) Todos os edifícios apresentam de técnicas construtivas idênticas;
- b) Todos os edifícios têm uma utilização análoga (hotelaria e turismo);
- c) Todos os casos estudados estão sujeitos a manutenção corrente;
- d) Os rebocos aplicados são ainda os originais, permitindo definir patamares de idade para os rebocos (em intervalos de cinco anos), de acordo com a data de construção dos edifícios.

2.4 Definição da informação recolhida em campo

2.4.1 Características das construções

Para todas as construções, registou-se o respectivo número de pisos, a configuração, o tipo de cobertura, a existência de varandas e saliências, a orientação solar, o grau de exposição/protecção aos ventos dominantes e a existência de edifícios adjacentes em um ou mais lados do seu perímetro.

O registo desta informação foi feito através do preenchimento de tabelas e da utilização de códigos gráficos que permitissem uma rápida descodificação dos levantamentos na fase de interpretação dos dados recolhidos.

2.4.2 Características do material e técnicas de aplicação

Estas categorias são as que maiores dificuldades colocam na implementação de um método de levantamento e diagnóstico visual, pois não se conhecem quais os componentes do reboco efectivamente utilizados, qual a sua proporção (traço) e quais as condições de aplicação e cura. Por outro lado, como sublinham alguns autores [2, 8], mesmo que se procedesse a análises laboratoriais dos constituintes dos rebocos estudados, haveria que considerar que os componentes das argamassas variam ao longo do tempo, só sendo possível determinar a sua constituição no momento da análise.

Para ultrapassar esta dificuldade, escolheu-se uma amostra relativamente homogênea de edifícios de um mesmo contexto de actividade e em relativa proximidade geográfica, o que permitiu a seguinte caracterização:

- a) Técnicas construtivas de baixa sofisticação;
- b) Aplicação feita à mão, por trabalhadores não especializados;
- c) Ausência de controlo de qualidade;
- d) Aplicação de rebocos ricos em cimento, sobre suportes rígidos;
- e) Aplicação de duas a três camadas relativamente delgadas.

2.4.3 Condições ambientais e de exposição

Todos os casos estudados se localizam na proximidade do mar (até 2 km da costa), em zonas relativamente pouco poluídas e com graus de exposição ao sol e aos efeitos combinados de vento e chuva relativamente elevados.

2.4.4 Manutenção

Devido ao sector de actividade a que pertencem (hotelaria), todas as construções estão sujeitas a programas de manutenção regulares que, no caso da envolvente exterior, consistem em pinturas com uma periodicidade entre dois a cinco anos.

2.4.5 Patologias

Apesar das anomalias em rebocos raramente ocorrerem de forma isolada, para efeitos de levantamento procurou-se identificar as principais manifestações patológicas de forma independente entre si (ainda que a sua origem possa ser comum). Posteriormente, para cada manifestação patológica, foi cruzado o seu grau de degradação com a zona da fachada afectada.

Este tipo de registo torna possível, por exemplo, determinar quais as zonas dos edifícios mais afectadas e com que grau de gravidade, ao longo do tempo.

2.5 Apresentação de resultados

2.5.1 Caracterização genérica

Dos cinquenta casos estudados, verificou-se que 87 % apresentam anomalias e que 83 % dos edifícios sem anomalias tem menos de um ano. Confirmou-se ainda a existência de protecção em relação ao vento e à chuva em três quartos dos edifícios sem manifestações patológicas.

As principais anomalias detectadas estão relacionadas com a fissuração de rebocos e com escorrências em varandas e platibandas (Figura 1).

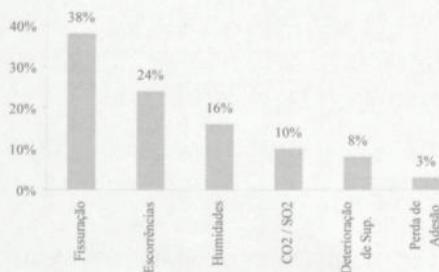


Figura 1: Principais manifestações patológicas de rebocos em fachadas.

A elevada incidência de fissuração prende-se sobretudo com causas externas aos próprios rebocos (como sejam assentamentos diferenciais, movimentos do suporte, fissuração em platibandas, vãos e esquinas), com uma percentagem de incidência de 71 %, contra apenas 29 % de causas de fendilhação decorrente da degradação do reboco, o que indicia uma fraca qualidade construtiva dos edifícios estudados.

As causas das anomalias associadas à escorrência de água decorrem de factores de projecto (deficiente pormenorização e respectiva execução em obra), nomeadamente no que diz respeito à ausência de pingadeiras, juntas em panos de parede e deficiente capeamento de muretes e platibandas em coberturas.

2.5.2 Localização das anomalias

Verifica-se que mais de um terço das anomalias ocorre em panos contínuos de fachada, seguidas das anomalias em zonas junto ao solo (24 %), representando este conjunto mais de metade dos defeitos registados (Figura 2).

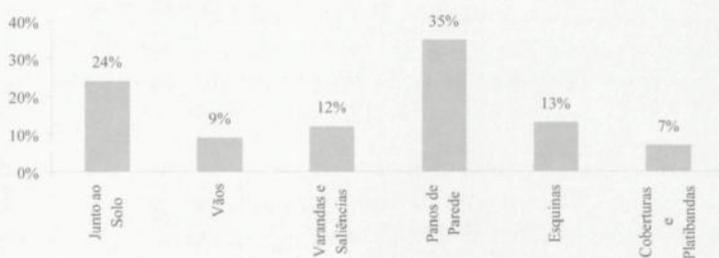


Figura 2: Localização de anomalias de rebocos em fachadas.

As anomalias em esquinas, vãos e coberturas/platibandas representam respectivamente 13 %, 9 % e 7 % da totalidade das deficiências detectadas e estão normalmente associadas a problemas de fissuração por causas externas ao reboco.

As anomalias em varandas e saliências representam cerca de um oitavo dos defeitos detectados e estão normalmente associadas a situações de humidades e escorrência de água.

A evolução no tempo das zonas das fachadas afectadas por defeitos em rebocos encontra-se ilustrada na figura 3, onde é possível distinguir três padrões de evolução das anomalias: uma tendência de crescimento das anomalias relacionadas com os panos contínuos de parede e junto ao solo, uma tendência decrescente das anomalias em elementos excepcionais da construção (saliências e esquinas) e um padrão de crescimento praticamente constante para as anomali-

as relacionadas com vãos na fachada e platibandas.

O pico registado nas anomalias em panos contínuos de paredes em edifícios com rebocos de 5 a 10 anos de idade prende-se com a reduzida dimensão da amostra. De facto, nos edifícios deste período verificou-se uma quase ausência de varandas, o que justifica o elevado peso de anomalias em panos de parede, por oposição à quase inexistência de anomalias relacionadas com varandas.

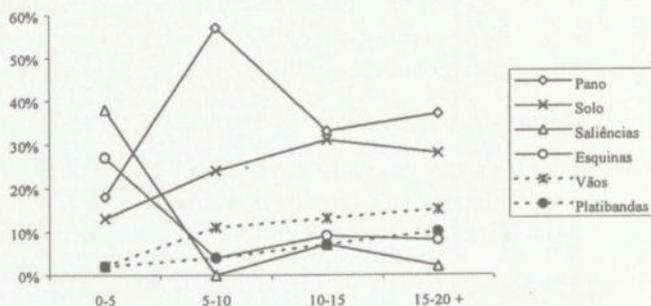


Figura 3: Evolução no tempo das zonas de fachada afectadas.

O padrão de degradação dos rebocos em panos contínuos de fachada e junto ao solo sugere que se tratam de causas inerentes ao próprio reboco (fendilhação por retracção, carbonatação e ataque por sulfatos) ou de efeitos prolongados de agentes externos (como a presença de água e eflorescências junto ao solo). Note-se que estes dados não significam que este tipo de degradação só se manifesta em rebocos com mais de cinco anos, mas somente que em rebocos mais jovens não é detectável por inspecção visual certo tipo de anomalias (por exemplo, micro-fendilhações decorrentes da retracção dos rebocos durante o processo de secagem).

No caso das anomalias em saliências e esquinas, o padrão de degradação registado sugere uma elevada incidência de anomalias prematuras (isto é, em obra nova) que decorre sobretudo de assentamentos diferenciais e fendilhação por causas externas aos rebocos, seguida de causas decorrentes de deficiente pormenorização ou execução (ausência de pingadeiras, rufos e capeamentos). Estas anomalias e a sua rápida diminuição são fáceis de explicar por erros de execução que se fazem sentir e são reparados ainda no período de garantia do edifício.

O padrão de degradação em vãos e platibandas, com uma tendência de crescimento muito ligeira, sugere que se tratam de anomalias presentes em edifícios de todas as idades, cuja evolução é lenta e dificilmente contrariada por acções de manutenção corrente.

2.5.3 Gravidade das anomalias

Para cada patologia foram definidos quatro estados padrão, de acordo com a metodologia adoptada por alguns autores [5, 9, 10], correspondentes às exigências, técnicas e custos dos respectivos trabalhos de recuperação (Tabela 1).

Tabela 1: Níveis de degradação e respectivas técnicas de reparação.

Níveis de degradação	Caracterização	Técnicas de recuperação
Nível 1 - Bom	- Sujidade superficial	- Inspeção visual simples - Limpeza
Nível 2 - Degradação ligeira	- Diferenças de cor e textura - Pequena fissuração - Fungos e líquenes - <i>Graffiti</i> - Pontos de humidade	- Limpeza de superfície com escovagem manual
Nível 3 - Degradação moderada	- Fendilhação localizada - Fendilhação profunda em cantos, vãos ou esquinas - Infiltrações ou manchas de humidade localizadas - Início de eflorescências - Deterioração da superfície	- Avivamento e fechamento de fendilhações - Escovagem de superfície ou limpeza com jacto de água - Substituição de zonas danificadas - Nova pintura
Nível 4 - Degradação generalizada	- Fendilhação generalizada - Delaminação ou pulverização da superfície - Manchas indicadoras de infiltrações generalizadas, com deterioração da superfície - Perda de adesão entre camadas ou entre o reboco e o suporte	- Substituição da zona afectada, com aplicação de novo reboco

A metodologia proposta permite ainda, para cada tipo de manifestação patológica, determinar a evolução ao longo do tempo das distribuições referentes ao grau de gravidade das anomalias.

Analisando os dados referentes aos defeitos identificados em panos contínuos de fachada (Figura 4), pode-se constatar a elevada percentagem de anomalias incipientes em rebocos recentes e a sua tendência decrescente ao longo da vida útil da argamassa. Inversamente, regista-se um aumento súbito das anomalias de nível 2 e 3 (ligeiras e moderadas), para rebocos com 10 anos de vida, para valores que parecem oscilar em torno dos 30 % a 40 % dos casos registados, conforme a argamassa envelhece. Por fim, para defeitos muito graves (que implicam a substituição total ou parcial do reboco) nota-se uma tendência de crescimento do seu grau de incidência, mas não tão acentuada como nas categorias anteriores.

A relativa variação destes dados, com variações estatísticas que contrariam a tendência de evolução da gravidade das anomalias, pode explicar-se por distorções decorrentes do número de casos estudados.

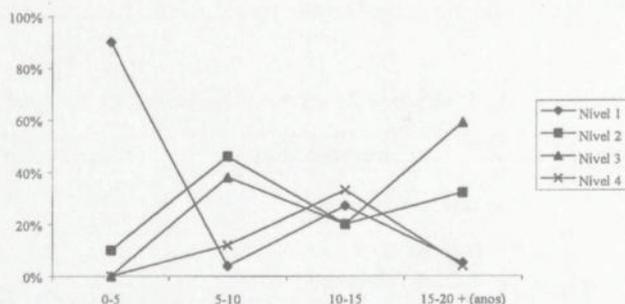


Figura 4: Evolução no tempo da gravidade das anomalias em panos de fachadas.

A evolução do grau de gravidade das manifestações patológicas em rebocos localizados junto ao solo apresenta uma menor dispersão de resultados, como se pode ver na Figura 5.

Neste caso, verifica-se que a totalidade das anomalias que afectam os rebocos nos seus primeiros anos de vida é de muito baixa gravidade (geralmente situações de sujidade decorrentes dos salpicos da água da chuva junto ao solo) e que este tipo de patologia tende a diminuir de forma constante e estabilizar em torno dos 15 anos de vida do reboco.

As anomalias de nível médio apresentam um padrão de crescimento constante até aos 15 anos de vida do reboco, decorrente dos efeitos de degradação nos rebocos provocados pela presença constante (ou regular) de humidade nesta zona da construção.

Para rebocos com mais de 15 anos de vida, verifica-se o acentuar dos estados de degradação com maior gravidade, sugerindo uma passagem das situações de nível 2 para ocorrências de nível 3, isto é, um padrão contínuo de degradação.

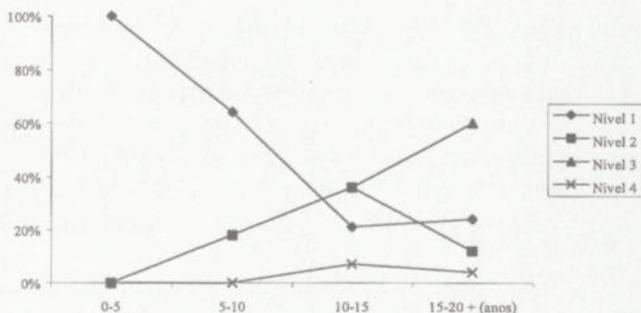


Figura 5: Evolução no tempo da gravidade das anomalias junto ao solo.

3 Conclusão

Neste artigo, descreve-se uma metodologia de diagnóstico de anomalias, tal como foi desenvolvida no âmbito de um estudo da durabilidade dos rebocos exteriores. Esta metodologia distingue-se das restantes pelo seu carácter dinâmico, isto é, pela apresentação de resultados para um dado momento e por permitir análises da evolução dos estados de degradação ao longo do tempo.

A partir do trabalho de campo já realizado, pode-se concluir a elevada incidência de defeitos em rebocos, tanto em obras recentes como em rebocos antigos, entre as quais se destacam problemas de fissuração e defeitos decorrentes de má pormenorização.

É ainda possível distinguir o padrão de degradação das anomalias em rebocos em função da sua natureza, com tendência de diminuição de anomalias de baixo grau de gravidade e de causas externas aos rebocos (por exemplo, decorrentes de assentamentos diferenciais da estrutura) e aumento das anomalias próprias das argamassas, associado ao aumento da gravidade deste tipo de defeitos.

Os resultados apresentados ainda correspondem a um número relativamente restrito de casos estudados, o que se reflecte numa certa variabilidade dos resultados obtidos. No entanto, alargando a base de análise dos casos estudados é possível determinar curvas de degradação associadas às anomalias estudadas, cruzar estes dados com as condições ambientais e de uso registadas em campo e utilizar esta informação na produção de modelos de degradação / durabilidade de rebocos.

4 Bibliografia

- [1] Veiga, R. *Comportamento de Argamassas de Revestimento de Paredes. Contribuição para o Estudo da sua Resistência à Fendilhação*, Teses e Programas de Investigação do LNEC, Lisboa, 1998.
- [2] Tanaka, K. *et al.* *Effect of Repeated Load on Micro Structure and Carbonation of Concrete and Mortar*, 8DBMC, Vancouver, 1999, pp. 256-265.
- [3] Müller, A. & Romagna, R. H. *Reduction of Cracks in Plaster Revetment*, 8DBMC, Vancouver, 1999, pp. 1022-1029.
- [4] Pereira, S. *et al.* *The Occurrence of Pathologies in Residential Buildings, in TMAD, and the Relation with the Orientation*, XXX IAHS - World Congress on Housing, 2002, Vol. 3, pp. 1835-1841.
- [5] Freitas, V. P. *et al.* *Survey of the Durability of Facades of 4.000 Dwellings in Northern Portugal*, 8DBMC, Vancouver, 1999, pp.1040-1050.
- [6] Gaspar, P. & Brito, J. *Metodologia de Cálculo da Vida Útil de Rebocos Exteriores*, Construção 2001, IST, Lisboa, 2001, Vol. II, pp. 609-616.
- [7] ISO 15686 *Building Service Life Planning - Part 1, General Principles*, Draft for public comment, BSI, UK, 1998.
- [8] Nero, G. *Os Rebocos - Parte II* Arquitectura e Vida n.º 21, Lisboa, 2001, pp. 90-95.
- [9] Shohet, M. *et al.* *Deterioration Patterns for Maintenance Management*, 8DBMC, Vancouver, 1999, pp. 1666-1678.
- [10] Gaspar, P. & Brito, J. *Maintenance and Durability or External Mortars and Renders Applied to Field Conditions*, XXX IAHS - World Congress on Housing, 2002, Vol. 3, pp. 1835-1841.

ESTUDO COMPARATIVO DE DIFERENTES ARGAMASSAS TRADICIONAIS DE CAL AÉREA E AREIA

Paulina Faria Rodrigues*
Correio Electrónico: mpr@fct.unl.pt

Resumo

Afim de se compararem diferentes argamassas tradicionais de cal aérea e areia, testaram-se oito composições diferentes, variando a matéria prima (cal aérea) e o traço utilizado.

Apresentam-se os resultados obtidos e ressaltam-se vantagens e inconvenientes relativos à utilização das argamassas com as diferentes cais aéreas aplicadas neste estudo

Palavras-chave: Cal aérea hidratada, Cal viva, Cal micronizada, Cal em pasta.

1 Introdução

Os edificios antigos apresentam geralmente rebocos exteriores com base em argamassas de cal. No entanto, este tipo de argamassas caiu em desuso no nosso país desde o aparecimento das argamassas de cimento *Portland*, tendo-se chegado ao ponto de em várias regiões já existir dificuldade em obter a matéria prima (cal aérea), ligante principal das argamassas antigamente utilizadas.

Pretendendo contribuir para um melhor conhecimento destas argamassas tradicionais, desenvolveu-se um programa experimental no qual foram avaliadas e comparadas algumas características de argamassas com diferentes cais aéreas como único ligante.

Utilizou-se uma cal aérea hidratada em pó, a mesma cal mas previamente misturada com água e utilizada já em pasta, uma cal viva em pedra previamente extinta e uma cal viva micronizada também extinta atempadamente. Como agregado utilizou-se sempre a mesma areia de rio.

Realizaram-se oito argamassas diferentes obtidas com variação do ligante *cal* utilizado nas composições das argamassas e/ou com alteração do traço li-

* Assistente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Materiais e Tecnologias da Construção.

gante: agregado, tendo-se procurado atingir em todas elas um espalhamento comparável.

Foram preparados seis provetes de $(4 \times 4 \times 16)$ cm³ com argamassa de cada amassadura. Todos os provetes foram ensaiados ao fim de dois meses, após uma cura em ambiente seco e controlado. Três provetes foram utilizados para ensaios mecânicos (módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção por flexão e resistência à compressão) e ainda para a determinação da massa volumica e porosidade aberta. Os restantes três provetes, partidos ao meio, foram utilizados para a determinação da absorção de água por capilaridade e para ensaios de resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos.

Apresentam-se os resultados obtidos e as especificidades encontradas com os materiais e composições utilizadas. Saliencia-se a grande importância da resistência à acção dos sais em argamassas especialmente vocacionadas para aplicação em reparação de edifícios antigos, e referem-se ensaios em curso para aprofundar outras características relevantes e ainda não analisadas.

2 Estudo Experimental

2.1 Preparação do material utilizado

Como agregado, e para não se entrar em conta com a variabilidade inerente a esse parâmetro (também tão importante), utilizou-se sempre a mesma areia de rio.

As cais aéreas utilizadas foram:

- Cal aérea hidratada, ensacada em pó, de marca comercial existente no mercado (**ca**);
- A mesma cal aérea hidratada mas previamente misturada com água, resultando numa cal em pasta (**cap**), utilizada ao fim de 12 meses;
- Cal viva em pedra previamente extinta, resultando em outra cal em pasta (**cvp**), utilizada ao fim de 8 meses;
- Cal viva micronizada, comercializada ensacada em pó, previamente extinta (**cvmp**), resultando uma cal em pasta que foi utilizada ao fim de 2 meses.

A partir daqui as argamassas e respectivos provetes passam a ser referidos pelo tipo de ligante que as constitui.

2.2 Preparação dos provetes

Na preparação das argamassas procurou-se obter sempre um valor de espalhamento comparável, entre 66 % e 74 % ($70 \% \pm 4 \%$), realizado de acordo com a ficha de ensaio Fe25 UNL/DEC [1], sendo a compactação dos moldes

realizada mecanicamente, com 20 pancadas em cada uma das duas camadas que preenchem o molde.

Na amassadura das argamassas seguiu-se sempre o mesmo procedimento. A amassadura foi realizada através de uma homogeneização mecânica dos componentes secos de 1 minuto, adição de água e homogeneização mecânica de 2 minutos. Quando era necessário introduzir mais água para atingir o espalhamento pretendido, esta era adicionada e procedia-se a nova homogeneização de mais 1,5 minutos. Nas amassaduras com cal em pasta procedeu-se a uma homogeneização mecânica prévia de 2 minutos só da cal em pasta, seguindo-se depois o procedimento habitual

Os provetes foram sujeitos a cura em ambiente interior não controlado até à data da sua desmoldagem, e daí até à data de ensaio (60 dias) em sala com ambiente controlado a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $50\% \pm 5\%$ HR – cura seca.

Apresentam-se no quadro seguinte as composições de argamassas (dosagem em volume) e espalhamento obtido.

Tabela 1: Composições de argamassas (dosagem em volume) e espalhamento obtido.

Argamassa	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
ca	1	1						
cap			1	1				
cvp					1	1		
cvmp							1	1
areia	2	3	2	3	2	3	2	3
Espalh. (%)	67	74	68	73	66	66	69	68

A trabalhabilidade apresentada pelas diferentes argamassas era de um modo geral bastante boa. No entanto, esta facilidade de manuseamento da argamassa notou-se especialmente no caso das argamassas **cvp**. Por esta razão entendeu-se permitir a estas argamassas o espalhamento[†] mais reduzido.

2.3 Programa experimental e resultados obtidos

Para uniformidade da metodologia de ensaio, todos os provetes foram condicionados em estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ uma semana antes da data de ensaio para atingirem massa constante.

Três dos seis provetes realizados com cada amassadura foram utilizados para ensaios mecânicos (módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tracção

[†] Os valores atingidos para espalhamento destas argamassas mantiveram como valor médio 70 % por se inserir num estudo comparativo mais alargado [2] que inclui outros tipos de argamassas, também com base em cal mas incorporando simultaneamente outros tipos de ligantes. Constatou-se que se se pretendesse unicamente uma comparação entre argamassas puras de cal, se poderia ter estabelecido um valor médio de espalhamento inferior, com vantagens inerentes do ponto de vista tecnológico.

por flexão e resistência à compressão) e ainda para a determinação da massa volumica e porosidade aberta. Os restantes três provetes, partidos ao meio, foram utilizados para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade, e para ensaios de resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos.

Todos os ensaios foram realizados após dois meses de cura dos provetes.

2.3.1 Módulo de elasticidade dinâmico e resistências à tracção e à compressão

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado segundo o procedimento definido na ficha de ensaio Fe08 UNL/DEC [1] e que se baseia na determinação da frequência de ressonância longitudinal, através de equipamento adequado para a emissão de vibrações.

As resistências à tracção por flexão e à compressão foram determinadas segundo os procedimentos definidos na ficha de ensaio Fe27 UNL/DEC [1], sendo a tracção imposta por uma flexão em três pontos e a compressão efectuada sobre cada um dos meios provetes resultantes do ensaio de flexão.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos nestes ensaios.

Tabela 2: Módulo de elasticidade dinâmico e resistências à tracção e à compressão.

Argamassa	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
E (MPa)	1928	2302	2601	2748	1503	1592	2456	2415
Tracção (MPa)	0,35	0,35	0,38	0,30	0,19	0,19	0,39	0,37
Compressão (MPa)	0,73	0,65	0,84	0,64	0,38	0,36	0,70	0,57

Constata-se que, de um modo geral, o módulo de elasticidade dinâmico para o mesmo tipo de ligante é superior para o traço com menor teor em cal (1:3) relativamente ao traço com maior percentagem da mesma cal (1:2). Entre os diferentes tipos de argamassas, verifica-se que os mais baixos valores de módulo de elasticidade dinâmico são apresentados pelos provetes **cvp**, a que se seguem por ordem crescente os provetes **ca**, os **cvmp** e os **cap**. Salienta-se no entanto que todos os valores obtidos se inserem numa faixa de valores baixos entre 1500 MPa e 2600 MPa, o que deste ponto de vista torna este tipo de argamassas compatíveis com suportes antigos.

Relativamente aos valores obtidos nos ensaios mecânicos de tracção por flexão e de compressão verifica-se que para o mesmo tipo de ligante, e como seria expectável, os traços mais fracos em cal (1:3) apresentam valores ligeiramente inferiores aos respectivos traços mais fortes na mesma cal (1:2).

No que se refere à tracção os valores mais altos são apresentados pelos provetes **cvmp**, a que se seguem por ordem decrescente os provetes **cap**, **ca** e por fim os provetes **cvp**. De salientar que todos se inserem numa gama baixa, entre os 0,19 MPa e os 0,38 MPa.

Relativamente à compressão verifica-se que os provetes **cap** e **ca** apresentam os valores mais altos, com valores muito próximos dos provetes **cvmp**, continuando os provetes **cvp** a apresentar os valores mais baixos. Neste ensaio os valores situam-se entre 0,36 MPa e 0,84 MPa.

2.3.2 Massa volúmica aparente, porosidade aberta e capilaridade

Estes ensaios foram realizados de acordo com os procedimentos definidos nas fichas de ensaio Fe01 e Fe02 UNL/DEC [1], através da saturação total em água sob vácuo e método da pesagem hidrostática.

O ensaio para a determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade foi realizado de acordo com os procedimentos definidos na ficha de ensaio Fe06 UNL/DEC [1], colocando um topo dos seis meios provetes de cada amassadura em 2 mm de altura de água potável sobre papel absorvente, dentro de uma caixa fechada, de modo a manter constantes as condições de humidade e reduzir o volume de água evaporada dos provetes. Os provetes foram pesados e os ensaios decorreram até aos provetes ficarem saturados com água absorvida por capilaridade. Os resultados são apresentados num gráfico com a quantidade de água absorvida (kg/m^2) em função da raiz quadrada do tempo ($\text{s}^{1/2}$). A absorção de água foi obtida pelo valor assintótico da curva (kg/m^2) e o coeficiente de capilaridade foi determinado pelo declive do segmento de recta definido pelas pesagens iniciais ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$).

A Tabela 3 e a Figura 1 apresentam os resultados da massa volúmica aparente, porosidade aberta, coeficiente de capilaridade e absorção capilar.

Relativamente aos valores da massa volúmica aparente verifica-se que de um modo geral e como seria expectável, os traços com maior teor em agregado apresentam valores ligeiramente superiores aos apresentados pelo outro traço com o mesmo tipo de ligante. Os valores mais altos de massa volúmica são apresentados pelos provetes **ca** e **cap**, seguidos pelos **cvmp**, sendo os valores mais baixos apresentados pelos provetes **cvp**.

No que se refere à porosidade aberta constata-se que os provetes com valores mais baixos são os **ca**, a que se seguem por ordem decrescente os **cap** e **cvmp**, sendo os valores mais baixos apresentados pelos **cvp**. A variabilidade de valores situa-se entre os 33 % e 38 %.

Tabela 3: Massa volúmica aparente, porosidade aberta e capilaridade.

Argamassa	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
Massa Volúmica (kg/m^3)	1722	1732	1691	1682	1607	1633	1672	1684
Porosidade (%)	33	33	35	35	38	36	35	35
Coef. Capilaridade ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$)	0,46	0,32	0,21	0,19	0,84	0,71	0,32	0,29
Absorção Capilar (kg/m^2)	20,6	17,9	16,8	15,7	21,0	20,6	18,2	17,2

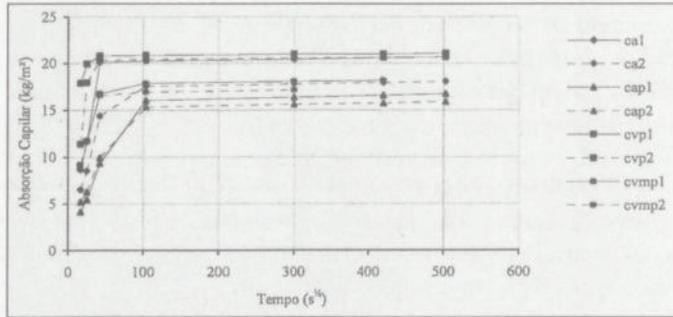


Figura 1: Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade.

Quanto ao coeficiente de capilaridade observa-se que os provetes com maior teor de ligante apresentam maior coeficiente de capilaridade, excepto no caso dos provetes **cvp**, onde a relação é inversa. Proporcionalmente à porosidade apresentada verifica-se que os provetes **cap** apresentam os melhores resultados em termos de coeficiente de capilaridade, seguidos dos **cvmp**, **ca** e por fim os **cvp**. Estes últimos são aqueles em que a absorção de água mais rapidamente ocorre nos primeiros instantes do ensaio, logo, em situação real, estas argamassas mais rapidamente absorvem a água da chuva que nelas incide.

Relativamente à absorção capilar, todos os provetes apresentam valores muito próximos salientando-se ligeiramente pela positiva os provetes **cap** e pela negativa os **cvp**. Em todos os casos e com seria de esperar, os provetes com maior teor de ligante apresentam valores relativamente mais altos que os seus pares com maior teor em agregado.

2.3.3 Resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos

O ensaio de resistência aos cloretos foi realizado de acordo com os procedimentos definidos na ficha Fe12 UNL/DEC [1]. Três dos seis meios provetes de cada amassadura, secos até massa constante após o ensaio de capilaridade, foram imersos numa solução saturada em cloreto de sódio por 24 horas, e de novo secos em estufa até atingirem massa constante. Através da diferença entre as massas secas dos provetes antes e após imersão na solução, determinou-se a quantidade de cloretos retidos, em termos de percentagem em relação à sua massa seca inicial. Os meios provetes foram então colocados numa câmara climática onde foram sujeitos a 50 ciclos diários sucessivos de 12 horas a 90 % HR e 12 horas a 40 % HR (mantendo-se uma temperatura constante de 20 °C), determinando-se semanalmente a perda de massa que ia ocorrendo.

O ensaio de resistência aos sulfatos foi realizado de acordo com os procedimentos definidos na ficha Fe11 UNL/DEC [1]. Os restantes três dos seis meios provetes de cada amassadura, secos até massa constante após o ensaio de capilaridade, foram imersos numa solução saturada em sulfato de sódio por

2 horas e de novo colocados em estufa por aproximadamente 22 horas após as quais são pesados e avaliado o seu estado de integridade. Realizaram-se 5 ciclos imersão/secagem/pesagem, apresentando-se a perda de massa percentual ocorrida ao fim do 5.º ciclo.

Os resultados dos ensaios de resistência aos cloretos e aos sulfatos são apresentados na Tabela 4 e nas Figuras 2 e 3, respectivamente. Nos gráficos, a perda de massa percentual é apresentada em função do número de ciclos entretanto decorridos.

Tabela 4: Resistência à cristalização de cloretos e à acção de sulfatos.

Argamassa	ca1	ca2	cap1	cap2	cvp1	cvp2	cvmp1	cvmp2
Cloret. Retidos (%)	4,7	4,3	4,1	3,8	4,3	4,1	4,3	3,8
Perda Massa Cloret. (%)	34,6	43,7	59,8	56,4	33,4	36,3	67,6	57,1
Perda Massa Sulfatos (%)	40,9	100,0	100,0	100,0	15,2	22,5	66,1	89,8

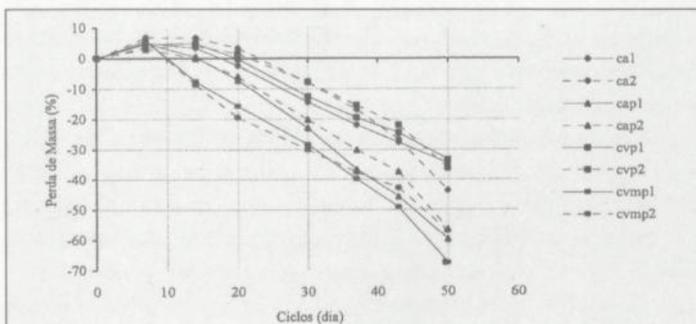


Figura 2: Resistência à cristalização de cloretos.

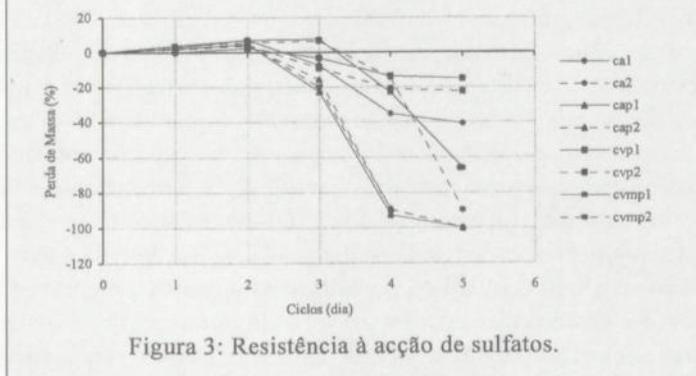


Figura 3: Resistência à acção de sulfatos.

Quanto aos valores obtidos no ensaio de resistência à cristalização de cloretos verifica-se um melhor comportamento dos provetes **cvp** e **ca**, relativa-

mente aos provetes **cvmp** e **cap**. Enquanto os provetes **cvp** e **ca** apresentam uma perda de massa sensivelmente superior no traço com menor teor de ligante, os provetes **cap** e **cvmp** apresentam uma relação inversa, sendo a perda ligeiramente superior quando o teor em ligante é maior.

Relativamente à resistência à acção dos sulfatos constata-se uma resistência superior nos provetes **cvp**, para qualquer dos traços. No caso dos provetes **ca**, também se regista uma resistência importante especialmente para o traço mais forte em ligante. Os provetes **cvmp** também apresentam uma resistência significativa a esta acção, especialmente até ao quarto ciclo.

3 Discussão dos Resultados

Com base nos resultados obtidos nos ensaios efectuados verifica-se que o acréscimo de mão de obra na preparação prévia da cal aérea hidratada para produção de uma pasta (provetes **cap**), não se mostrou compensado por melhorias de características, uma vez que os resultados apresentados pelos provetes **ca** traduzem uma argamassa mais eficiente em termos de resistência aos sais e relativamente semelhante em termos de resistências mecânicas, comparativamente à argamassa **cap**.

Os provetes **cvmp** apresentam características intermédias relativamente à capilaridade e aos sais. No entanto para a utilização deste ligante é imprescindível a extinção prévia da cal viva micronizada em água abundante, pelo que em obra é importante que não se confundam os sacos de cal viva micronizada com os de cal aérea hidratada em pó, muitas vezes até produzidas pelo mesmo fabricante. Por outro lado, como esta cal viva chega à obra micronizada e não em pedra, a sua extinção é facilitada, não necessitando de um período de apagamento em água tão longo como o necessário para a cal viva que chega em pedra.

Os provetes **cvp** apresentam claramente os valores mais baixos em termos de ensaios mecânicos (módulo de elasticidade mecânico, resistências à tracção e à compressão). Paralelamente apresentam valores relativamente superiores em termos de porosidade, com a menor massa volúmica e piores características de capilaridade. Mas simultaneamente são os provetes que apresentam características significativamente melhores no que se refere à resistência aos sais, factor fundamental em argamassas especialmente concebidas para aplicação em suportes antigos.

Também com relativamente boa resistência aos sais e menos bom comportamento face à capilaridade encontram-se as argamassas de cal aérea hidratada comercializada em pó (**ca**). Este tipo de cal tem a grande vantagem de em obra poder ser incorporada na massa como qualquer outro ligante corrente nos estaleiros actuais (caso dos cimentos e das cais hidráulicas), sem necessidade de

processamento prévio (como é o caso da extinção atempada necessária nas **cvp**).

Como dificuldade na utilização das argamassas **cvp** é de referir a necessidade e morosidade da extinção da cal em pedra. Esta situação seria facilitada se, tal como sucede em muitos outros países, esta cal viva fosse extinta *industrialmente* e comercializada já em pasta, sabendo-se a data do início da sua extinção.

No entanto, as argamassas **cvp** apresentam aparentemente ainda outra vantagem relativamente às restantes e nomeadamente às **ca**. Verificou-se durante a preparação e moldagem dos provetes que especialmente as argamassas **cvp** apresentavam uma plasticidade e manuseabilidade excelentes, pelo que poderiam ser aplicadas em condições reais com espalhamentos consideravelmente menores aos utilizados. Dessa forma poderiam manter-se com bons níveis de trabalhabilidade (que permitissem a sua aplicação em obra) mesmo incorporando menor quantidade de água na amassadura, com vantagens inerentes ao nível tecnológico, nomeadamente quanto à retracção, factor tão condicionante neste tipo de argamassas[‡].

Esperava-se que este tipo de argamassas de cal aérea fosse muito susceptível à acção dos sais, devido à sua elevada porosidade e baixas resistências mecânicas. No entanto, a campanha experimental desenvolvida mostrou diferenças significativas de comportamento entre as argamassas resultantes dos diferentes tipos de cal aérea, em que melhores resistências à acção dos sais não estavam directamente relacionados com as mais altas resistências mecânicas. É disto exemplo o caso das argamassas de cal em pasta obtida através de extinção de cal viva em pedra. Esta situação pode ser explicada através da porometria que este tipo de argamassa pode ter, com uma dimensão de poros tal que permita a cristalização dos sais e seu conseqüente aumento de volume, sem exceder significativamente a dimensão do poro onde ocorre.

Este mesmo tipo de argamassa fez sobressair uma característica muito importante, que se refere à excelente plasticidade apresentada pela massa fresca, e que permite aplicar em obra as argamassas com uma menor quantidade de água de amassadura (tal como antigamente eram aplicadas, por aperto à talocha), com vantagens inerentes do ponto de vista das características finais.

[‡] Enquanto em argamassas com ligantes hidráulicos parte da água de amassadura é necessária para a hidratação do ligante, neste tipo de argamassas de ligantes aéreos a cura processa-se por carbonatação do ligante em contacto com o dióxido de carbono do ambiente, pelo que a água (que só pode ser *desaparecer* por sucção do suporte ou evaporação para o ambiente) deverá ser a mínima possível para permitir a aplicação da argamassa.

4 Conclusões

A campanha experimental permitiu verificar a diferente plasticidade conseguida com argamassas de cal e areia de idênticos traços e semelhante espalhamento; fez sobressair a importância deste factor porquanto nas argamassas de maior plasticidade se pode conseguir boa trabalhabilidade com menor quantidade de água de amassadura.

Os resultados dos ensaios efectuados possibilitaram aferir que as melhores resistências à acção dos sais não estavam directamente relacionadas com as melhores resistências mecânicas; surgiu então a porometria como possível explicação para este comportamento diferenciado.

As características apresentadas pelas argamassas de cal ao longo do programa experimental justificam a necessidade de comparar mais alguns parâmetros importantes, para além daqueles a que se chegou com os testes realizados. Deste modo, decorrem ensaios complementares de modo a averiguar o comportamento destas argamassas incorporando menor quantidade de água de amassadura e ainda testes relativos à retracção, aderência, carbonatação, retenção de água e permeabilidade ao vapor.

5 Agradecimentos

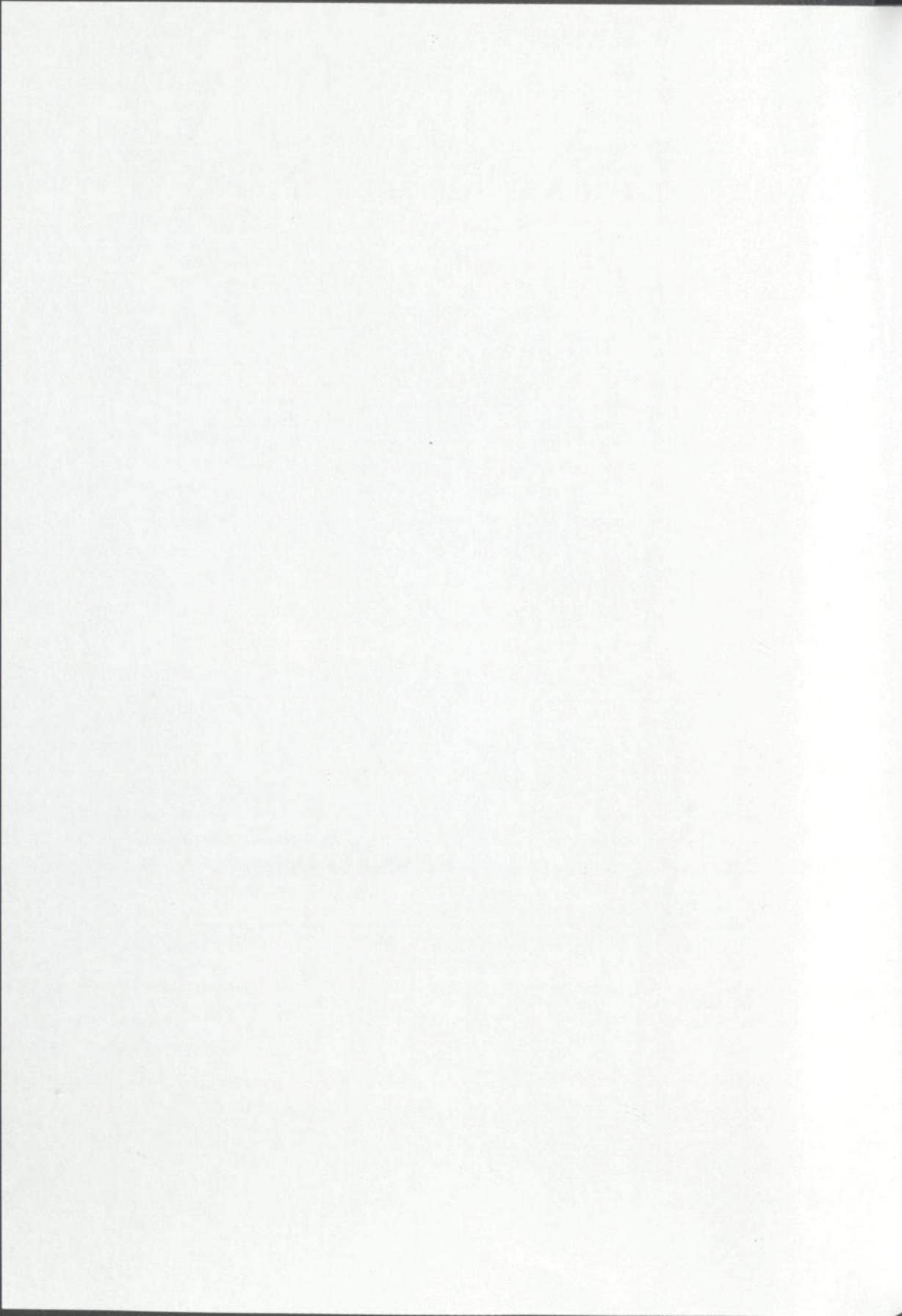
A autora agradece a colaboração no trabalho experimental das alunas Paula Albuquerque e Ana Brás da licenciatura em Engenharia Civil da FCT.

6 Bibliografia

- [1] Henriques, F. *Pedras naturais e artificiais. Análise de argamassas*. Fe 01, 02, 06, 08,11, 12, 15, 19, 25, 27 UNL/DEC UNL/FCT. Caparica, 1996 a 2002 (especificações de ensaio).
- [2] Rodrigues, P. & Henriques, F. *The effect of hydraulic components on lime mortars*, XXX IAHS World Congress on Housing, 2002, Coimbra, Portugal, Eds. O. Ural, V. Abrantes, A. Tadeu, pp. 1711-1718.
- [3] Henriques, F. & Charola, E. *Comparative study of standard test procedures for mortars*, 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlim, 1996 (Moller Druck), pp. 1521-1528.



SESSÃO IV



A QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO/ REABILITAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS

Aníbal Costa*

Correio electrónico: agc@fe.up.pt

Resumo

Apresenta-se nesta comunicação uma reflexão sobre a prática construtiva corrente no nosso País, que conduz, na maioria dos casos, a patologias nas edificações, que podem condicionar o seu comportamento estrutural, obrigando à sua reabilitação e reforço. São apresentados alguns exemplos e tecidas algumas considerações sobre procedimentos a adoptar no sentido de tentar minorar este problema.

Palavras-chave: Durabilidade, Patologias, Qualidade, Reabilitação, Reforço.

1 Introdução

A construção civil em Portugal enferma de muitos vícios que o decorrer dos anos tem vindo a agravar de uma forma perigosa. Com efeito, a generalidade dos intervenientes na construção ainda não considera o projecto e a execução de um edifício como elementos indispensáveis à realização de uma obra com qualidade.

O Engenheiro é normalmente visto, em obra, como um *tipo que faz uns riscos* e para os quais não é normalmente necessário prestar grande atenção. Esta situação é em grande parte culpa dos próprios engenheiros e da confusão que grassa em torno do nome de *engenheiro*, que engloba uma série de *artistas* que gravitam em torno da construção e cuja função é normalmente tentar simplificar processos contribuindo para a degradação da classe. É evidente que a tradição, até cerca de 1900, diz-nos que sempre se construíram casas como se plantaram cebolas no quintal, só que enquanto não apareceu o betão armado as casas eram construídas segundo processos tradicionais, baseados no empirismo, em que as soluções eram baseadas nas formas simples, os materiais empregues eram sempre os mesmos (pedra e madeira) e as casas tradicionais portuguesas ainda hoje atestam essa boa construção.

* Prof. Associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Estruturas.

Com o aparecimento do betão armado, este foi substituindo os elementos interiores mantendo-se, em pedra, as paredes exteriores e resistentes e as formas simples.

Nos últimos anos, com o processo de migrações internas e externas, com o aumento crescente do ritmo de construção foi necessário não só procurar novas técnicas e processos de construção, até então não testados pela experiência, como ajustar a construção aos gostos e formas cada vez mais bizarras que apareceram por esse país fora. Por outro lado, a necessidade de grandes volumes de construção, em prazos relativamente curtos, obriga a que a construção deva ser encarada como uma indústria e não como um processo artesanal. Isto obriga também a que os intervenientes no processo e nomeadamente os técnicos assumam os mesmos métodos de trabalho que se exigem a qualquer outra indústria.

É assim indispensável que aqueles que projectam edifícios o façam assentes em conceitos científicos, partindo de dados físicos e económicos que lhes permitam conceber industrialmente um produto de primeira necessidade e de qualidade garantida.

O projecto e a construção de um edifício, deve ser encarado nos dias de hoje, como a resolução do problema posto pela satisfação das exigências dos utentes no desempenho de determinadas funções para que o edifício é (ou deve ser concebido), (Canha da Piedade, 1995).

Apesar da estrutura do edifício ficar escondida pelos revestimentos é, sem sombra de dúvida, um dos elementos fundamentais na garantia da qualidade, funcionalidade e desempenho durante a vida útil do edifício. Por isso o engenheiro estruturalista terá de ter sempre um papel fundamental na concepção e na execução de um edifício.

Por outro lado o comportamento do edifício ao longo da sua vida útil é extremamente condicionado pela solução estrutural adoptada, reflectindo-se no aparecimento de patologias quando essa solução não é a mais adequada. Nestas situações torna-se indispensável a sua reabilitação e reforço de modo a restabelecer a qualidade que deveria estar associada à construção inicial.

2 Considerações sobre Durabilidade das Estruturas

Deve reconhecer-se que há, em alguns casos, normalmente, uma grande preocupação com o cálculo estrutural do edifício e não se vê essa mesma preocupação com a concepção e a execução, as quais conduzem a que muitas estruturas tenham uma vida útil bastante mais curta que a teoricamente prevista.

Uma boa exposição, ainda que breve, dos aspectos da durabilidade relacionados com o projecto, está contida no *Model Code C.E.B.-F.I.P.90*. Uma informação mais detalhada pode ser obtida no Boletim de Informação n.º 182 do

C.E.B., para além de outros autores que se têm dedicado a esse tema (ACI, 1975; CEB, 1989).

No *Model Code C.E.B.90* são salientados os requisitos básicos a respeitar no projecto no que se refere à durabilidade: *As estruturas de betão armado, devem ser projectadas, construídas e utilizadas, de tal maneira que, debaixo da influência do meio ambiente previsto, mantenha as suas condições de segurança, serviço e aparência aceitáveis durante um período de tempo explícito ou implícito, sem requerer custos anormalmente altos de manutenção e reparação.*

Como é evidente, para que estes requisitos sejam postos em prática é indispensável que os vários intervenientes no processo de construção tenham um papel importante. Assim é necessário:

- a) O proprietário definir o uso do edifício assim como o período de vida útil que deseja para o mesmo;
- b) O projectista executar um projecto que tenha em atenção todos os problemas relacionados com a durabilidade da estrutura. Por outro lado, exigir nos diversos elementos do projecto, o controlo dos materiais usados e prestar a assistência técnica à obra;
- c) O construtor civil deve respeitar todas as disposições de projecto, usar materiais de qualidade e construir segundo as boas normas da construção;
- d) A fiscalização deve controlar a construção alertando para problemas que possam surgir na obra, muitas vezes por má interpretação do projecto por parte do construtor ou por falta de elementos de projecto;
- e) Finalmente, os utilizadores do edifício são responsáveis, não somente pelo uso do edifício mas também pela sua manutenção e reparação ao longo da sua vida útil.

Em geral, o respeito pelas especificações e regulamentações nacionais, RSA e REBAP conduzem a uma vida útil do edifício em torno dos 50 anos. A regulamentação europeia, EC1 e EC2, embora não refiram directamente este valor, baseiam-se nas mesmas considerações. O EC8 introduz um coeficiente de importância (0,8; 1; 1,2 e 1,4) que pretende ter em conta o encurtar desse período de vida útil (0,8) ou o seu prolongamento (1,2 e 1,4) para estruturas especiais ou que devam ficar operacionais na ocorrência de um sismo de grande intensidade.

Como é evidente, a vida útil de um edifício está relacionada com o desejo do proprietário, que pode exigir uma vida útil maior ou menor. Por outro lado, há estruturas que para as quais é preciso prever uma vida útil superior aos 50 anos (barragens, pontes, hospitais, etc.) e outras para as quais deveria ser pre-

visto um período inferior (armazéns, obras provisórias, etc.). Nestes casos os valores das acções previstas no RSA não são aplicáveis.

Os principais elementos relacionados com a durabilidade são os relativos às combinações de transporte de calor, humidade e substâncias químicas, tanto no interior do betão como no intercâmbio com o ambiente em que está situada a estrutura. A humidade, deixando de parte a deterioração do tipo mecânico, é o factor mais importante a controlar. A estrutura deve ser projectada tendo em conta o ambiente e o nível de exposição em que está situada, mas também deve considerar-se a existência de microclimas que podem diferir completamente do meio ambiente habitual. Algumas zonas da estruturas podem ter níveis de humidade consideravelmente mais altos que os outros. Em geral e dado que o betão absorve água com muita mais facilidade que a elimina por secagem, o conteúdo de humidade no betão pode ser bastante mais alto que a humidade relativa ambiental.

A própria disposição da superfície dos elementos de betão, horizontais ou verticais, conduzem a diferenças quanto aos problemas causados pela humidade. Por outro lado, a orientação geográfica de determinadas zonas da estrutura podem fazer, que dentro da mesma, se originem zonas muito mais degradadas que outras. Há situações, de avançados (com cerca de 1,20 m de consola) virados a sul, Figura 1, em que todos os anos se pode extrair *pipas* de água do interior dos apartamentos nessa prumada dos edifícios. Nestes casos, avançados, com paredes exteriores suportadas por lajes em consola, relativamente esbeltas (± 15 cm), que são resolvidas com grandes quantidades de armadura (ex: Ø20//0,10) dão origem a problemas futuros na construção que além de ser uma fonte de preocupações, são um factor a afectar a durabilidade do edifício.



Figura 1: Patologias associadas aos avançados; a) Avançado na fachada; b) Reforço.

Outro factor que influencia a agressividade ambiental é a temperatura. Um incremento de 10 °C na temperatura implica que a velocidade de reacção química passe para o dobro (Calavera, 1990). Um critério importante relacionado com a durabilidade, onde muitas vezes o engenheiro desempenha um pequeno

papel, tem a ver com a escolha da forma estrutural. O projectista deve examinar com rigor se a complexidade das formas estruturais está justificada com o meio ambiente em que está colocada a estrutura. As formas complexas aumentam a possibilidade de danos estruturais, afectando por conseguinte a durabilidade. Um princípio fundamental é que em todas as superfícies de betão devem ser previstos sistemas para eliminar a água depositada.

Um dos problemas que se nota na construção civil, nomeadamente na construção de edifícios, é a falta de qualidade dos materiais, associada a uma mão-de-obra cada vez com pior qualidade. O gosto por construir com qualidade, que se notava nos pedreiros, trolhas, carpinteiros, etc., foi desaparecendo e a tendência de se executar as obras a *metro* piorou a qualidade da construção. Mesmo os grandes construtores, entregam as obras a subempreiteiros, não garantindo assim a qualidade que lhes era habitual. Por vezes acontecem situações em obra quase impensáveis, atentemos na Figura 2, onde as fissuras visíveis na fachada de uma fábrica tinham uma explicação duvidosa e quando se procedeu à abertura das fundações dos pilares se verificou que os mesmos não tinham sapata de fundação. Outra situação frequente é a utilização de vigotas pré-esforçadas para realizarem consolas (beirais e varandas), encontrando-se alguns casos construídos que são verdadeiras *obras de arte*, Figura 3.



Figura 2: Pilares de fachada de uma fábrica sem sapata de fundação; a) Fachada da fábrica; b) Pormenor da *sapata* do pilar.

A qualidade dos materiais também tem piorado. Obter em obra um betão de qualidade (muitas vezes um C20/25 (B25)), é uma tarefa quase impossível nos dias correntes. A areia usada em obra é normalmente muito suja, outras vezes é oriunda de pedreiras, saibrosas e não lavadas. A água é uma mistura de vários produtos químicos e orgânicos com uma composição muito variada.

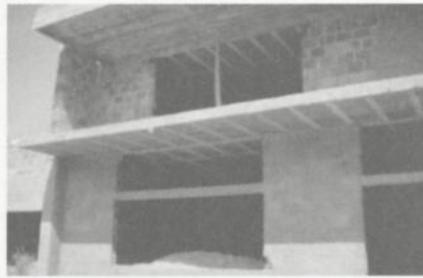


Figura 3: Varanda realizada com vigotas pré-esforçadas.

A sua quantidade é normalmente acima da recomendável ($A/C = 0,4$). A própria qualidade do cimento tem sido posta em causa em algumas obras, para além da tendência de se usar cada vez menos quantidade de cimento por metro cúbico (de 1930 a 1980 houve um decréscimo de 30 %) dado que, teoricamente, a qualidade do betão melhorou, (Calavera, 1990).

A durabilidade de uma estrutura pode ser melhorada respeitando-se algumas regras tradicionais:

- Suficiente quantidade de cimento;
- Baixa relação água/cimento;
- Recobrimentos adequados;
- Emprego de separadores nas armaduras;
- Cura correcta e suficiente da estrutura.

O projectista deve ter sempre presente que os detalhes construtivos além de serem importantes para o funcionamento dos diversos elementos estruturais, e de fazerem parte da boa norma construtiva, são importantes para a durabilidade da estrutura. A colocação correcta da armadura em obra, associada a um betão de qualidade, permite que o betão rodeie completamente a armadura e a proteja de uma forma compacta se esta tiver sido correctamente colocada.

Por outro lado, a verificação da quantidade mínima de armadura em alguns elementos, eventualmente não estruturais, é importante ser verificada. A garantia de armaduras mínimas dispostas por considerações de retracção e variações de temperatura, como garantia do controlo das fissuras, é importante para a durabilidade. As platibandas são elementos em que é fundamental atender a estas questões pois infelizmente na grande maioria dos casos fendilham e trazem problemas estéticos e estruturais ao edifício, Figura 4.

Em casos especiais, deverão ser usadas soluções especiais para garantir a durabilidade do edifício.



Figura 4: Patologias associadas às platibandas.

3 Considerações sobre as Diferentes Soluções Estruturais para Edifícios

A primeira preocupação do Engenheiro que vai projectar um edifício é a escolha de uma solução estrutural adequada que consiga conciliar a resolução dos problemas arquitectónicos e funcionais com a necessidade de garantir resistência à estrutura actuada pelas acções a que irá estar sujeita (Torroja, 1981).

Existe um conjunto de sistemas estruturais básicos que, quer isolados quer combinados, proporcionam variadas possibilidades para a escolha da solução estrutural a adoptar em cada caso (Vale e Azevedo, 1986).

A estrutura de um edifício é um sistema tridimensional complexo formado pela associação de elementos estruturais lineares e laminares dispostos em geral em planos horizontais e em planos verticais.

Existem um conjunto de sistemas estruturais que podem ser utilizados em edifícios para resistirem a acções horizontais e a acções verticais. O processo de concepção da estrutura não consiste necessariamente na escolha isolada de um destes sistemas. Pelo contrário, trata-se de um processo criativo em que a concepção é desenvolvida como resposta a um conjunto de condições impostas ou de restrições. Raramente a escolha cairá numa solução básica, mas poderá ser o fruto da combinação de alguns destes sistemas de modo a se conseguir responder adequadamente às exigências arquitectónicas e funcionais impostas. Existem, por outro lado, limitações de aplicabilidade dos sistemas descritos. A Figura 5 indica (ASCE, 1981) o sistema estrutural mais adequado em função da altura do edifício.

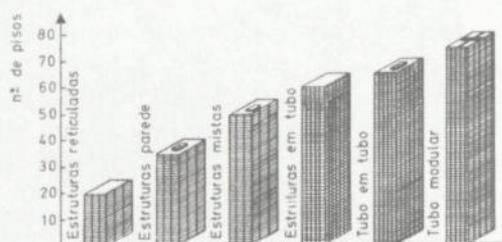


Figura 5: Sistemas Estruturais para edifícios de betão armado.

Como é evidente, quando os edifícios começam a ter maior importância, ou pela sua altura ou pela dimensão, a qualidade dos intervenientes no processo construtivo melhora normalmente, e por consequência a qualidade construtiva é também, normalmente maior.

Mas a maioria das construções que se constroem no nosso País, são estruturas reticuladas moldadas em obra, empregando materiais e métodos de construção de custo e execução normalmente acessíveis em todas as regiões do país.

Na definição da solução estrutural o engenheiro projectista tem um papel fundamental, que deve ser iniciado logo no início do projecto. Assim, quando o arquitecto inicia o ante-projecto ou mesmo o estudo prévio, deve ter o apoio do engenheiro, que vai definido a solução estrutural ao mesmo tempo, que o projecto evolui. Um projecto em que haja colaboração mútua entre o arquitecto e o engenheiro resulta, normalmente, num bom projecto de estruturas e de arquitectura.

Muitas das vezes, por razões várias, o engenheiro só entra no processo, quando o projecto de arquitectura está licenciado. Hoje em dia, os projectos de especialidade dos edifícios, entre eles o de estruturas, só são executados após a aprovação, por parte da Câmara do projecto de arquitectura. Este facto leva a que muitas vezes, até por interesse dos requerentes, o engenheiro projectista só entra no processo nesta fase. Esta situação levanta muitos problemas na concepção estrutural, já que a grande maioria das vezes, muitas das regras fundamentais na execução de um bom projecto estrutural, não podem ser respeitadas, já que existem imposições arquitectónicas. Por exemplo é frequente a caixa de elevadores e a caixa de escadas, que são elementos estruturais importantes na resistência às acções horizontais, estarem situados em zonas não centrais da planta do edifício.

Por outro lado, a articulação entre as diversas plantas dos diferentes pisos em algumas situações é extremamente complexa. As plantas dos diferentes pisos não coincidem, aparecendo situações particulares nos diferentes pisos, por

vezes devido ao arranjo de fachadas, outras vezes devido à existência de recuados, que não têm correspondência com paredes nos pisos inferiores, que dificultam a realização do projecto de estruturas.

Se a todos estes condicionalismos adicionarmos os baixos honorários que normalmente os promotores dos empreendimentos querem pagar aos projectistas, estão criadas as condições para que os projectos de estruturas resultem de má qualidade e por consequência uma má construção. Estas situações são cada vez mais frequentes, até porque os promotores regateiam, muitas vezes, os honorários do projecto, não avaliando o quanto vão pagar a mais na execução da obra e no decorrer da sua vida útil, devido à falta de um bom projecto de execução de estruturas.

Na generalidade dos casos, depois da obra começar a ser construída e enfermado esta de erros graves na concepção estrutural ou no projecto a reabilitação e o reforço que se podem fazer no futuro são sempre soluções que nunca reporão a qualidade inicial que se poderia ter numa obra construída com base num bom projecto de execução.

4 Reabilitação e Reforço

4.1 Introdução

A durabilidade e a segurança das construções é hoje em dia um assunto de indiscutível actualidade e importância. Na sequência de acidentes de maior ou menor gravidade, que sucedem um pouco por todo o mundo e em estruturas de qualquer tipo, a comunidade técnica, os autarcas, os gestores públicos, o poder político e a sociedade em geral, tomam consciência da real importância da qualidade na construção e do seu impacto no quotidiano da sociedade.

É neste contexto que deve procurar novas estratégias nos domínios da investigação, do projecto e da execução de obras, com o intuito de contribuir para que, no futuro, tão infelizes ocorrências possam ser mais controladas ou mesmo evitadas.

Irão ser apresentados dois casos práticos, de reabilitação e reforço de estruturas, em dois edifícios de betão armado, em que a insuficiência da resistência estrutural dos edifícios obrigou a uma intervenção urgente no sentido de evitar danos graves nas pessoas e bens.

4.2 Casos práticos

Na sequência de uma solicitação sobre o pedido de informação relativa à segurança estrutural de um prédio de cave, rés-do-chão e três andares em virtude de uma rotura de um pilar na cave desse edifício, foram efectuadas visitas à cave do prédio e a apartamentos nos vários andares situados na zona da junta

de dilatação do edifício, no alinhamento do pórtico a que pertencia o pilar que colapsou.

Na sequência dessa primeira visita foi verificado que a situação estrutural do edifício era preocupante, tendo-se de imediato tomado medidas nomeadamente o escoramento da zona em causa e o pedido de execução de algumas sondagens ao solo de fundação para se tentar perceber o que se estava a passar.

Das visitas efectuadas ao local e da observação dos danos, foi elaborado um relatório de inspecção, de que se apresentará alguns dos aspectos aí abordados.

Foram efectuados registos, quer de projecto quer fotográficos, que foram apresentados em fichas, de que se apresentam dois exemplos, F1 e F2. Nessas fichas pretende-se apresentar os danos sofridos pelo edifício acompanhados de uma descrição sumária dos factos mais relevantes para esse estudo.

De salientar que o interior do edifício, nos apartamentos visitados e situados na zona da junta de dilatação, não apresentava fissuração relevante nem anomalias indicativas do assentamento sofrido.

No exterior, o desfasamento (cerca de 2 cm) que as tijoleiras de revestimento da fachada do edifício apresentavam na zona da junta de dilatação, correspondia ao desfasamento verificado nas pinturas horizontais de sinalização nos pilares da garagem. No telhado o revestimento (tela asfáltica com revestimento de alumínio) denunciava também esse assentamento, encontrando-se alguns grampos de fixação deste material partidos na zona da junta de dilatação.

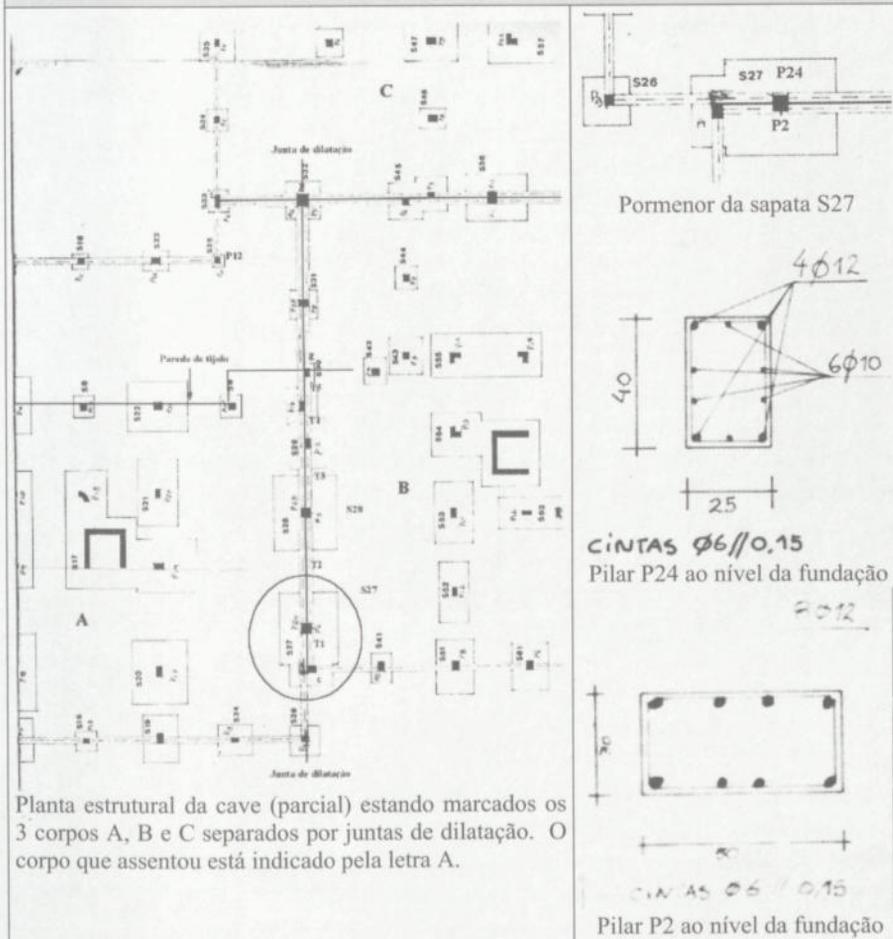
Os danos observados e o relato do construtor, que referiu que a sapata S28, comum aos dois pilares P25 (Bloco A) e ao pilar P3 (Bloco B) foi construída em cima de 4 argolas, com cerca de 4,0 metros de altura e preenchidas com betão ciclópico (ver ficha F1) e que estas argolas foram colocadas de forma simétrica, em relação à junta de dilatação, duas do lado do Bloco A e duas do lado do Bloco B e atendendo ao rigoroso Inverno e ao traçado previsível de uma linha de água existente a poente do prédio, que tudo indica passaria perto da zona da junta de dilatação, levou a que se concluisse que houve uma lavagem da zona da fundação das argolas do Bloco A, que terá originado uma rotura da sapata do pilar P25 e originado a transferência de carga para os dois pilares laterais, P24 e P14, o que terá motivado um excesso de esforço normal nesses pilares, dando origem ao colapso do pilar P24 e ao saltar do recobrimento do pilar P14.

Deve-se realçar que estes dois pilares, atendendo à sua dimensão e armadura, não tinham reserva de resistência.

Para apurar se esta explicação do sucedido, que parecia a mais lógica, em função dos dados disponíveis, era a correcta resolveu-se proceder à execução de sondagens, que foram efectuadas, após um eficiente sistema de escoramento de toda a linha da junta de dilatação, na zona da sapata do pilar P25.

TIPO DE DANO: Colapso de P24

Planta Estrutural das fundações:



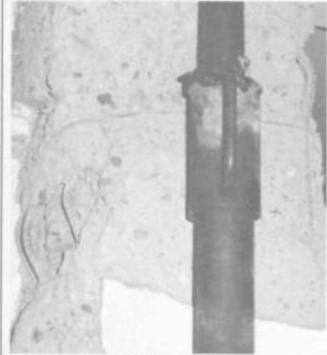
Descrição:

Na planta estrutural aqui parcialmente reproduzida vê-se a junta de dilatação dos edifícios e está marcada a sapata S27 que dá apoio aos pilares P2 e P24. O pilar P24 é o pilar que colapsou, ao que tudo indica por excesso de esforço axial de compressão. Todo o edifício assentou cerca de 2 cm na zona da junta, não apresentando no entanto os apartamentos no seu interior danos relevantes. A fissuração visível verifica-se no murete do terraço de um apartamento no 1.º andar como se poderá ver adiante no registo fotográfico.

Ao nível da cobertura o assentamento sofrido é visível no revestimento.

TIPO DE DANO: Colapso de P24**Registo fotográfico:**

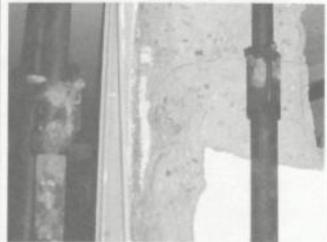
Pilar P24



Pilar P24



Pilar P24



Pilar P24

Descrição:

O colapso de P24 deu-se devido ao excesso de esforço axial de compressão sendo visível que o betão de recobrimento *saltou* e os varões longitudinais sofreram encurvadura.

Este excesso de compressão deverá ter sido causado por assentamento do pilar P25 devido provavelmente à rotura parcial da sapata S28, ou mesmo à rotura de P25 na base, causado pela lavagem do solo de fundação. Um assentamento deste pilar leva a uma transferência de carga para o pilar P24, aumentando assim o esforço axial.

Estas suposições necessitam de sondagem ao solo de fundação junto a S28 para verificar a sua veracidade.

Como é compreensível só após a execução destas sondagens, para comprovar as hipóteses admitidas, seria possível definir um esquema de reforço da zona sinistrada.

Após a execução das sondagens ao terreno de fundação e da elaboração do relatório geotécnico foram também realizadas escavações junto ao pilar P25, de forma a observar-se todo o pilar e a sapata de fundação S28.

Na visita efectuada ao local, aquando da escavação do aterro sobre a sapata de fundação S28 para visualização do estado desta e do pilar P25 a que dá apoio, verificou-se que a sapata S28, se encontrava 2,10 m abaixo da cota do pronto do pavimento da garagem e que tinha a altura de 1,0 m, não apresentando fissuração visível. O pilar P25 no entanto, apresenta fissuração visível e perda de recobrimento a cerca de 1,0 m abaixo da cota de pronto do pavimento da garagem.

Confirmou-se assim a suspeita inicial de que a rotura de P24 e o início do saltar o recobrimento do P14 se deveu a uma transferência de carga axial para estes pilares devido a assentamentos do P25.

Com base no relatório geotécnico elaborado com as sondagens efectuadas nesta área anexa a S28 verificou-se que o substracto rochoso se encontrava a 4,0 m de profundidade e que qualquer solução adoptada para reforço das fundações terá que ir até este substracto, visto que os solos que sobre este assentam não apresentam qualquer resistência aos ensaios penetrométricos realizados. Devido ao grande fluxo de água que foi detectado nestas sondagens, o relatório geotécnico aconselha o encastramento do apoio da fundação existente na rocha granítica. Com base nas observações efectuadas *in situ* e nas conclusões do relatório geotécnico foi elaborada uma solução de reforço das fundações dos pilares ao longo da junta de dilatação que consistiu, essencialmente no seguinte:

1. Execução de microestacas (normal 4 microestacas por sapatas). Estas microestacas segundo o relatório do estudo geotécnico deverão ter entre 4 m a 5 m e deverão ser encastradas na rocha granítica. A execução das microestacas deverá ser realizada de modo a que sejam obtidas carotes da sapata e dos poços de fundação, permitindo o conhecimento em profundidade dos diversos elementos.
2. Execução de um quadrado em perfis HEB16, conforme Figura 6, que apoiarão nas microestacas. Apoiados nestes perfis HEB16 serão colocados perfis HEB12 de modo a cintar convenientemente o pilar existente, Figura 7, devendo ser assegurada a ligação entre os pilares da junta e estes perfis através de buchas químicas.
3. Execução de uma malha de furos (25 cm × 25 cm) na sapata existente, onde serão colocados varões de Ø16 ligados por resina *epoxy* à sapata

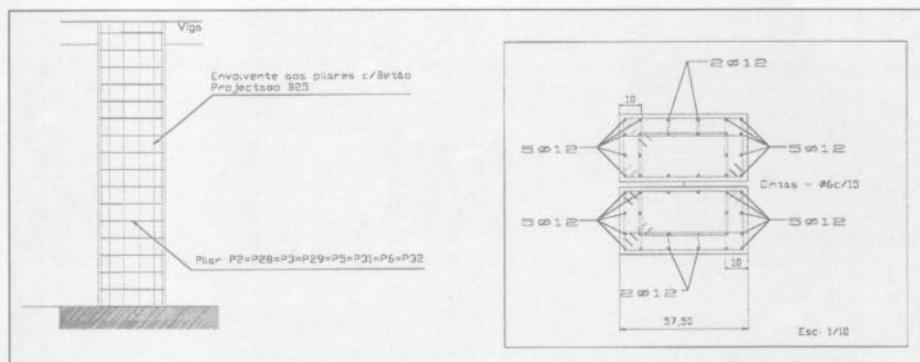


Figura 8: Pormenor de pilares de junta e reforço da armadura.

O pilar será devidamente escarificado procedendo-se à colocação de armadura longitudinal de Ø12 referida na Figura 8. Esta armadura na parte inferior entrará na sapata a construir, conforme o esquema da Figura 7. Na parte superior serão executados furos na viga que permitirão que a armadura seja ligada à viga existente. Esta ligação será efectuada com resinas *epoxy*. A armadura transversal será de Ø6 a 0,15 m. Depois da execução da armadura proceder-se-á à betonagem do pilar usando-se betão projectado garantindo-se um betão com a classe de um C20/25 (B25).

A operação de reforço dos pilares descrita anteriormente deverá ser precedida da colmatação das fendas existentes usando-se na generalidade dos casos a resina *epoxy* e mantas flexíveis em fibras de carbono. No caso do pilar P24 (pilar mais afectado) será usado o SikaGrout® para colmatar os espaços. Depois da superfície estar convenientemente executada o pilar nessa zona será cintado com mantas flexíveis.

A partir destas considerações foi executado o projecto de reforço, tendo-se procedido à execução da obra, apresentando-se de seguida algumas fotografias, Figuras 9 a 17.



Figura 9: Sapata existente. Figura 10: Sondagens e execução das microestacas. Figura 11: Carotes extraídas.



Figura 12: Realização das microestacas.



Figura 13: Microestacas a atravessar a fundação existente.



Figura 14: Reforço do pilar.

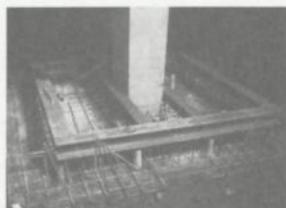


Figura 15: Execução da ligação das microestacas à nova sapata e ao pilar.



Figura 16: Novas sapatas e do reforço do pilar.



Figura 17: Reforço de pilares.

Um segundo caso refere-se a um edifício de cave, rés-do-chão, 5 andares e um recuado, que se encontrava na fase de trolha, com a execução dos tectos em gesso nos dois andares superiores e com a maioria das paredes já estanhadas, quando o carpinteiro que tinha entrado em obra, nas suas deambulações pelo edifício, batendo com o martelo nos pilares achou que os mesmos tinham um som esquisito para além de apresentarem mossas com alguma facilidade. Resolveu introduzir um prego num pilar, tendo verificado que o mesmo entrava com muita facilidade, pelo que alertou o dono da obra para o que se estava a passar, tendo-se a partir daí desenvolvido um projecto de reforço do edifício. Apresentam-se nas Figuras 18 e 19 algumas fotografias da obra antes da intervenção.

Em face da observação da qualidade do betão foi decidido extrair carotes de alguns elementos de obra, para avaliar o tipo de betão existente, Figura 20 e foram realizados ensaios de carga, Figura 21. Os ensaios dessas carotes permitiram concluir que estávamos na presença de um betão (?) de péssima qualidade (B4) pelo que era imperioso reforçar-se o edifício. Neste caso a metodologia de reforço usada consistiu em realizar um reforço dos pilares por encami-

samento, garantindo assim uma dimensão mínima de parede, dimensão esta condicionada pela facilidade de execução de armaduras e de betonagem, tendo-se optado por uma parede de 15 cm, como valor mínimo para garantir uma boa betonagem e essencialmente a possibilidade de o vibrador de ponta puder entrar no interior da cofragem. Para assegurar a continuidade entre pisos foram realizados furos na laje no canto dos pilares, de modo a que ficasse assegurada a continuidade da armadura e possibilitando a betonagem através desses furos. Este processo permitiu que uma equipa de 6 homens executassem o reforço de 6 a 7 pilares de três em três dias. Nas Figuras 22 a 25 podem-se ver algumas fotografias da execução da obra. O edifício apresentava algumas zonas em balanço (avançadas), Figura 18, que iriam no futuro introduzir algumas anomalias na fachada e que poderiam suscitar problemas psicológicos nos compradores dos apartamentos, pelo que se procedeu ao reforço destes elementos. Nas Figuras 26 e 27 podem-se visualizar dois pormenores desse reforço, assim na Figura 26 pode-se ver uma escora, realizada com um perfil metálico, que foi introduzido em todos os andares. Na Figura 27 pode-se ver um pormenor do tirante usado no 1.º andar.



Figura 18: Fachada do edifício.



Figura 19: Pormenor de um dos pilares.



Figura 20: Extração de carotes.



Figura 21: Ensaio de carga.

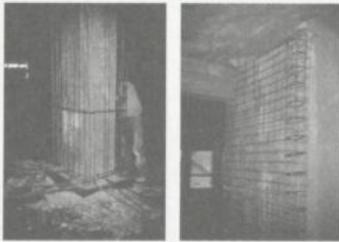


Figura 22: Reforço de pilar e parede.



Figura 23: Reforço de pilar.



Figura 24: Betonagem da caixa de escadas.



Figura 25: Pilar betonado.



Figura 26: Escora.



Figura 27: Tirante.

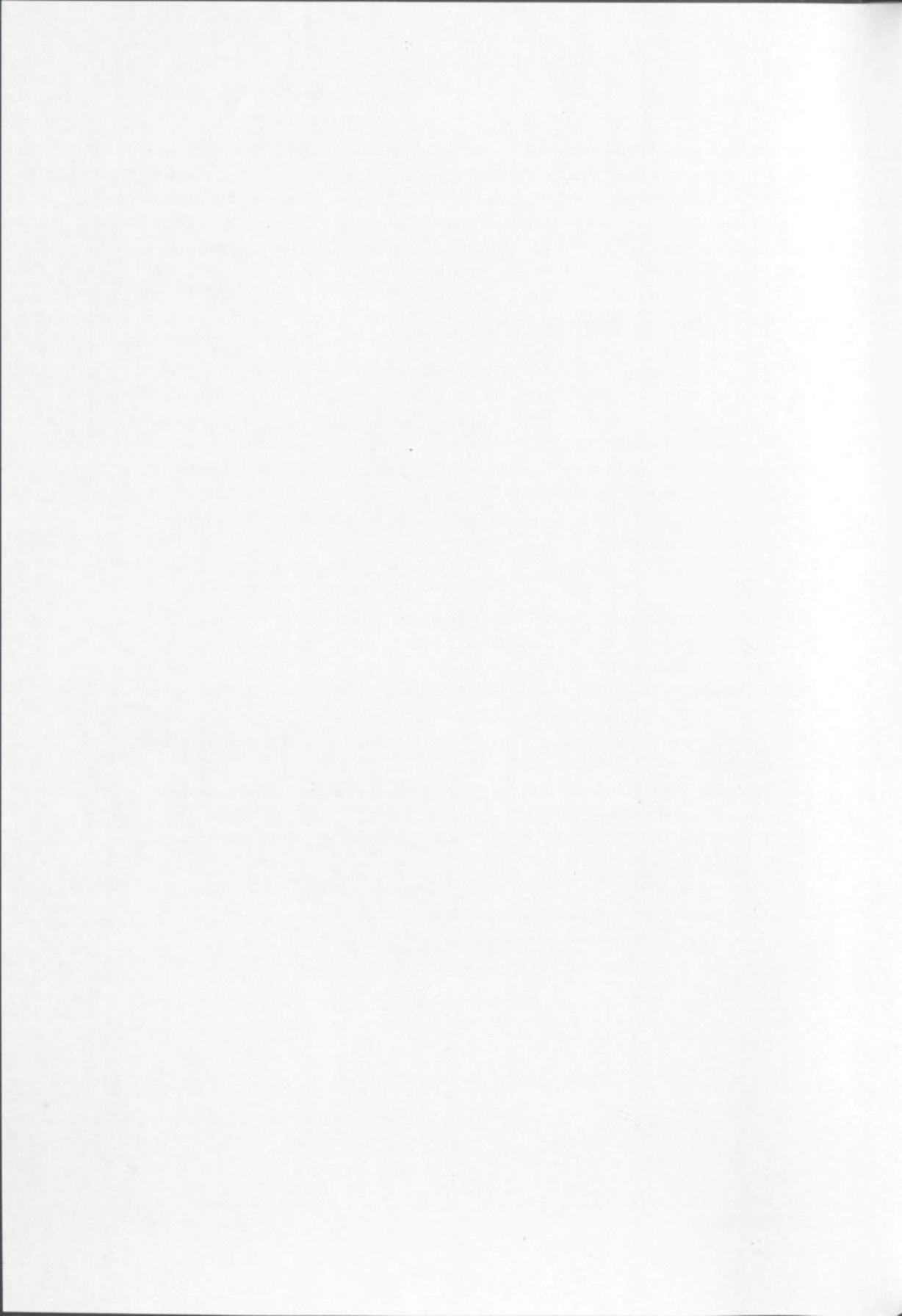
5 Conclusões

Foram apresentados neste trabalho algumas considerações sobre a durabilidade das estruturas salientando-se os diversos papéis que os principais intervenientes no processo da construção devem desempenhar e como o devem fazer de modo a garantir essa durabilidade. Apresentou-se, de uma forma sumária,

os principais problemas associados às patologias estruturais e porque é que eles acontecem, para além de se ter feito algumas considerações sobre as diferentes soluções estruturais procurando-se evidenciar que a maioria das patologias da construção estão associadas a más soluções estruturais e que muitas delas derivam de uma má concepção estrutural. Apresentaram-se dois exemplos práticos de reforço.

6 Referências Bibliográficas

- [1] ACI *Durability of Concrete*. American Concrete Institute, Detroit, 1975.
- [2] Calavera, J. *Projecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado para Edificios*. Tomo I e II, Instituto Técnico de Materiales y Construcciones. ISBN 8439840039. Espanha.
- [3] Canha da Piedade, A. C. *Edificações I*. Associação dos Estudantes do Instituto Superior Técnico, IST, Lisboa.
- [4] CEB *Durable Concrete Structures CEB Design Guide*. CEB – Bulletin d'Information n.º 182, Junho, 1989.
- [5] EC1- Eurocódigo 1. *Bases de Projecto e acções em estruturas* – ENV 1991.
- [6] EC2 – Eurocódigo 2. *Projecto de Estruturas de Betão*. ENV 1992.
- [7] EC8 – Eurocódigo 8. *Disposições de cálculo para a resistência de estruturas aos sismos*. ENV 1998.
- [8] *Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado*. Decreto-Lei n.º 349-C/83 de 30 de Julho, 1984.
- [9] *Regulamento de Segurança e Acções em Edifícios e Pontes*. Decreto-Lei n.º 253/83 de 31 de Maio, 1983.
- [10] *Tall Buildings Systems and Concepts*. Monograph on Planning and Design of Tall Buildings. ASCE, New York, 1981.
- [11] Torroja, E. *Razon de ser de los Tipos Estructurales*. Instituto Eduardo Torroja, Madrid. 1981.
- [12] Vale e Azevedo, A. M. A. C. *Análise Estática e Dinâmica de Estruturas de Edifícios*. Tese de Especialista, LNEC, Lisboa, 1986.



ESTUDO DE UM CASO DE ANOMALIAS OCORRIDAS NUM BETÃO AUTOCOMPACTÁVEL

L. A. Pereira de Oliveira*

Correio electrónico: l Luiz.oliveira@ubi.pt

J. P. de Castro Gomes†

Correio electrónico: castro.gomes@ubi.pt

J. C. Lanzinha‡

Correio electrónico: joao.lanzinha@ubi.pt

M. S. Dinis Almeida§

Correio electrónico: marisa.dinis@ubi.pt

Resumo

No artigo, em questão, apresenta-se o estudo de um caso de inspecção para detecção de anomalias ocorridas por deficiência de execução de uma obra de arte em betão autocompactável. Trata-se de uma primeira experiência em grande escala do uso deste tipo de betão em Portugal. As anomalias referidas resultaram essencialmente da betonagem da estrutura sob condições meteorológicas inadequadas.

Descrevem-se os trabalhos de inspecção efectuados que consistiram em observações e medidas *in situ* e em ensaios laboratoriais, para os quais se definiu uma metodologia apropriada.

Os resultados obtidos apontam para uma situação crítica da estrutura, tanto em termos de desempenho sob acções mecânicas, como do ponto de vista da previsão da durabilidade.

Palavras-chave: Betão autocompactável, Inspeção de estruturas, Segregação do betão.

* Prof. Associado Convidado da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

† Prof. Auxiliar da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

‡ Assistente Convidado da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

§ Assistente Estagiário da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

1 Introdução

Com o advento de uma nova geração de adjuvantes superplastificantes foi possível desenvolver tecnologicamente, em uma das suas formas, o betão autocompactável. Altas densidades de armaduras e dimensões restritas das cofragens são dificuldades que podem ser minimizadas pela autocompactabilidade do betão, de forma a evitar todos os problemas decorrentes das dificuldades da sua produção, como a presença de vazios, a falta de envolvimento das armaduras ou a segregação do betão. Para atender o seu objectivo, algumas regras fundamentais devem ser observadas, a primeira delas é que as características e propriedades do betão autocompactável, como todo e qualquer betão, devem ser estudadas e definidas em laboratório e conseqüentemente devem ser controladas com o máximo rigor durante a betonagem. Sabe-se, por exemplo, que no uso dos adjuvantes, uma verificação requerida é a sua compatibilidade com o cimento do betão a produzir.

De outra forma, a autocompactabilidade é uma propriedade obtida pelo compromisso entre o teor de água e o teor de materiais finos, sendo estes últimos os responsáveis pela viscosidade aferida pelo uso de adjuvantes. Em outras palavras, isto corresponde a afirmar que para se atingir os objectivos da autocompactabilidade do betão, existe um teor óptimo de água para uma determinada quantidade de materiais finos e, se esta sofrer alguma alteração, por menor que seja, a produção do betão desejado e a própria estrutura podem estar comprometidas. Pode afirmar-se, nesse caso, que as condições meteorológicas no momento da betonagem têm um papel relevante na manutenção das propriedades requeridas.

A inspecção do betão nas estruturas de edifícios ou obras de arte poderá visar a detecção de defeitos, o diagnóstico de anomalias ou a caracterização de suas propriedades. Neste caso, o sucesso do diagnóstico advém de uma análise adequada dos sintomas, que caracterizam o comportamento ou desempenho anormal, apresentados pela estrutura.

Neste artigo, apresenta-se o estudo de um caso de inspecção para detecção de anomalias ocorridas por deficiência de execução de uma obra de arte em betão autocompactável. Anomalias estas, resultantes da não observação de regras fundamentais aqui discutidas.

2 Caracterização da estrutura inspeccionada

A estrutura inspeccionada faz parte do 1.º tramo betonado de um tabuleiro, em viga caixão, de um viaduto. A viga em caixão era constituída por duas lajes e um núcleo em poliestireno expandido (Figura 1). A classe de resistência do betão, especificada no projecto, era C35/45. A obra foi executada com um betão autocompactável, tendo sido utilizado cimento branco como aglomerante

com o objectivo de tirar partido da coloração final da estrutura. A qualidade de execução foi deficiente. Tal deficiência resultou da insistência da betonagem em condições meteorológicas desfavoráveis, o que descaracterizou por completo a adequação da mistura anteriormente estudada em laboratório. A inexistência de um sistema de *ancoragem* para as armaduras da viga caixão foi responsável, juntamente com a alteração do betão, pelo impulso gerado pela pressão hidrostática sob o *enchimento* da viga em poliestireno expandido. A situação foi agravada pela tentativa de reposicionar as armaduras através da colocação de carga sobre as mesmas.

CORTE TRANSVERSAL TIPO DO TABULEIRO

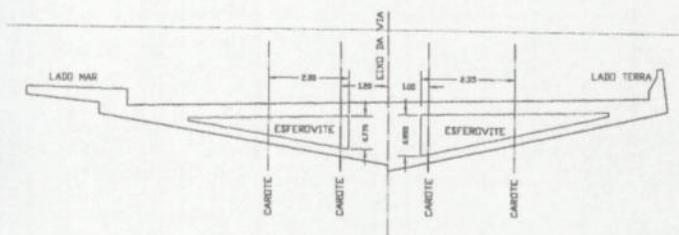


Figura 1: Viga caixão do viaduto.

3 Metodologia de inspecção

Definiu-se uma metodologia de inspecção com o intuito de avaliar a conformidade da estrutura betonada com o projecto, sobretudo no que concerne a espessura das lajes, a verificação do recobrimento e posicionamento das armaduras e a qualidade e resistência à compressão do betão. Para análise e caracterização do betão realizaram-se carotes nas lajes superior e inferior.

Para determinação da resistência à compressão definiu-se que as carotes teriam diâmetro nominal de 100 mm enquanto que para a verificação da espessura das lajes se poderiam realizar carotes com diâmetro inferior, nomeadamente de 40 mm a 70 mm. A Figura 2 apresenta a localização de todas as carotes.

A interpretação dos resultados de ensaio de compressão das carotes foi efectuada por recurso à norma britânica BS:1881: Part120: 1983 [1].

Para a determinação da espessura de recobrimento das armaduras utilizou-se um equipamento baseado em ondas electromagnéticas, o Microcovermeter. Adoptou-se a recomendação na norma britânica BS 1881: Part 204: 1988 [2]. A determinação do recobrimento das armaduras foi realizado nas lajes superior e inferior em mais de 10 localizações diferentes com área individual de 0,25 m².

As carotes devidamente identificadas foram analisadas em laboratório, inicialmente por inspeção visual para caracterização do betão endurecido, em seguida as carotes preparadas para o ensaio de compressão. Os resultados obtidos pelas diversas medições e ensaios foram tratados estatisticamente e são discutidos no capítulo seguinte.

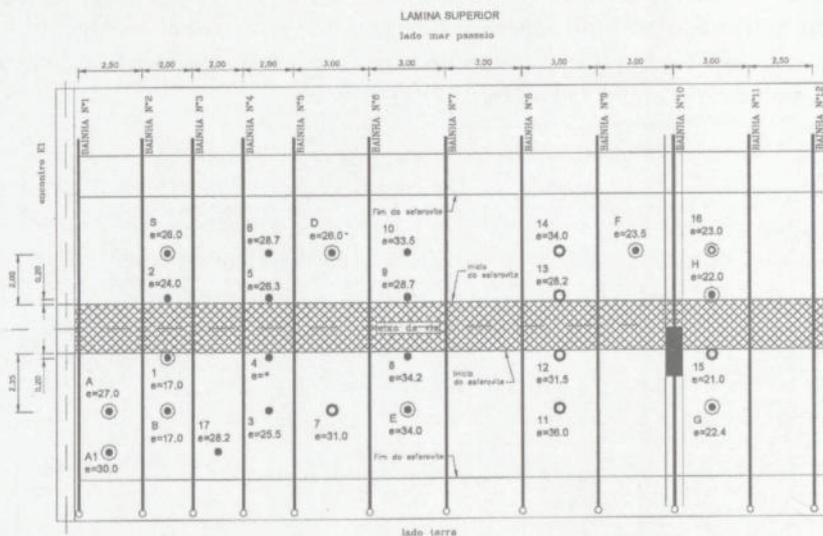


Figura 2: Localização das carotes.



Figura 3: Extração de carotes.

4 Discussão dos Resultados Obtidos

4.1 Inspeção visual das carotes e determinação da resistência à compressão

Da inspeção visual das carotes extraídas da laje superior observou-se que a espessura da laje era composta por duas camadas de betonagem distintas sem nenhuma aderência entre elas, como testemunharam a maioria das carotes (Figura 4). Observou-se, de maneira significativa, fraca aderência do betão à armadura. De maneira geral, o betão sofreu forte segregação verificada sobretudo nas carotes da laje superior, identificando-se nestas os efeitos decorrentes da exsudação de água de amassadura ou seja concentração de agregados grossos em determinadas regiões das carotes e comprometimento da aderência (Figura 4).

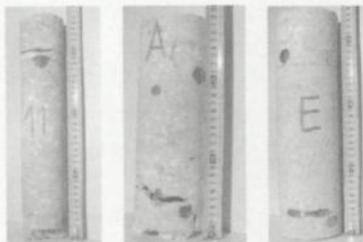


Figura 4: Carotes típicas da laje superior apresentando segregação do betão e enfraquecimento da aderência betão armadura.

Na laje inferior observou-se que a exsudação da água de amassadura ocorreu de forma muito mais evidente, provocando uma maior nitidez da distinção entre duas camadas, uma superior na qual nota-se a quase ausência de agregados grossos e outra subsequente com maior concentração de agregados, as vezes seguida de uma camada inferior constituída de pasta de cimento (Figura 5).

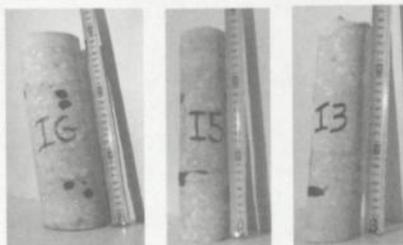


Figura 5: Carotes típicas da laje inferior apresentando forte segregação do betão e enfraquecimento da aderência betão armadura.

A fluidez excessiva do betão foi provocada pelas condições meteorológicas desfavoráveis à betonagem de um betão autocompactável. O betão autocompactável é altamente sensível à variação da relação água/cimento, sobretudo quando se usa o cimento branco. Normalmente, o cimento branco pela sua maior finura deveria apresentar para uma mesma relação água/cimento e mesmo teor de adjuvante (superplastificante) uma fluidez menor, porém o que se observa é que comparativamente a outros cimentos a fluidez é ainda maior [3]. A razão desse comportamento aparentemente incoerente deve-se ao baixo teor de $C_3A + C_4AF$ e de conteúdo de álcalis no cimento branco [4]. Embora sendo mais fino o conteúdo de sulfato (SO_3) é bem mais elevado do que outros cimentos. Em cimentos com alto teor de sulfato, a adsorção do superplastificante é menor do que os de baixo teor, sendo a extensão da adsorção muito mais influenciada pelo conteúdo de sulfato do que pela sua finura [5]. Deste modo, a presença de ions SO_4^{2-} causa um decréscimo da adsorção do superplastificante, deixando maior tempo disponível na fase solução para a fluidificação da pasta. Lembra-se também que a relação água/cimento controla a concentração de iões na solução nos poros da pasta.

Em conclusão da inspeção visual das carotes, pode-se dizer que o carácter monolítico da estrutura se encontra seriamente comprometido, mesmo que eventuais resultados de resistência à compressão venham a mostrar-se satisfatórios.

A descaracterização do betão por efeito de exsudação e segregação levando ao enfraquecimento ou à ausência de aderência das armaduras ao betão e entre as camadas de betonagens distintas não serão certamente garantia de segurança de uma estrutura que deverá à posteriori ser pré-esforçada transversalmente.

4.2 Determinação das espessuras das lajes e de recobrimento das armaduras

A Figura 6 apresenta a localização das regiões de *varrimento* com o aparelho Microcovermeter para determinação da espessura de recobrimento das armaduras. Os resultados obtidos pelo *varrimento* para o recobrimento das armaduras e da dimensão da espessura das lajes, por carotagem, são apresentados na Tabela 1

Tabela 1: Resumo dos valores de verificação dos recobrimentos, espessura das lajes e resistência à compressão equivalente ao cubo.

Determinação	Valor médio	Desvio padrão	Valor mínimo	Valor máximo	Coefficiente de Variação (%)
Recobrimento das armaduras (mm)					
laje superior	40,4	15,7	11,0	62,0	38,9
laje inferior	32,4	7,3	18,0	44,0	22,5
Espessura das lajes (cm)					
superior	27,2	5,2	17,0	34,2	19,1
inferior	22,5	5,3	15,0	36,0 </td <td>23,5</td>	23,5
Resistência à compressão (MPa)					
laje superior	61,0	5,8	52,2	70,2	9,5
laje inferior	53,9	12,0	41,7	65,9	22,3

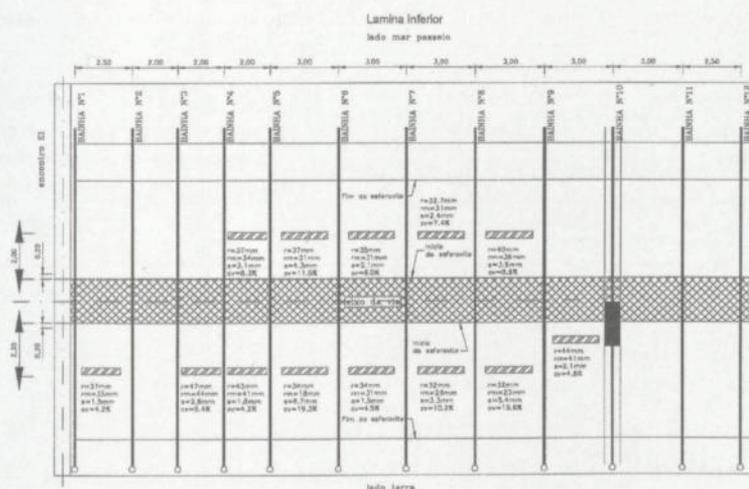


Figura 6: Localização das áreas de varrimento com Microcovermeter.

A camada de recobrimento das armaduras definida no projecto era de 25 mm em ambas as faces das lajes. Os valores médios obtidos, tanto pelo processo de varrimento como pela verificação nas carotes, embora tenham sido superiores ao valor em projecto, são acompanhados de coeficientes de variação elevados (22,5 % e 38,9 %).

Tomando-se em conta, as espessuras definidas em projecto para a laje superior e inferior, respectivamente de 30 cm e 20 cm, observou-se o não cumprimento das dimensões previstas em projecto. Embora, os valores médios sejam próximos dos valores definidos, a variação encontrada para a laje superior

e inferior foi bastante importante e da mesma ordem de grandeza (19,1 % e 23,5 %). Para a laje superior, o valor mínimo, de 17 cm é cerca da metade do projectado e para a laje inferior este é da ordem de 75 %.

Os resultados da espessura e da dimensão da camada de recobrimento das armaduras, levam a concluir que em termos de dimensões há uma descaracterização completa da geometria e pormenor da estrutura, particularmente do posicionamento das armaduras.

No que concerne a conformidade do betão com a classe de resistência C35/45 estipulada no projecto conclui-se que a estrutura não satisfaz integralmente à classe requerida. Os valores da última linha da Tabela 1, quando transformados em valores característicos e analisados separadamente laje superior e laje inferior são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de resistência característica estimados, num intervalo de confiança de 95 %, para o betão das lajes superior e inferior.

Região da estrutura	Resistência à compressão mínima (MPa)	Resistência à compressão máxima (MPa)	Resistência característica à compressão mínima (MPa)	Resistência característica à compressão máxima (MPa)
laje superior	59,0	63,0	49,5	53,5
laje inferior	51,5	56,3	31,8	36,6

O limite mínimo de confiança dos valores característicos obtidos para a laje inferior não cumpre ao critério prescrito na ENV 206, ou seja a classe de resistência estabelecida em projecto.

5 Conclusão

Os resultados da inspecção levaram a concluir o seguinte:

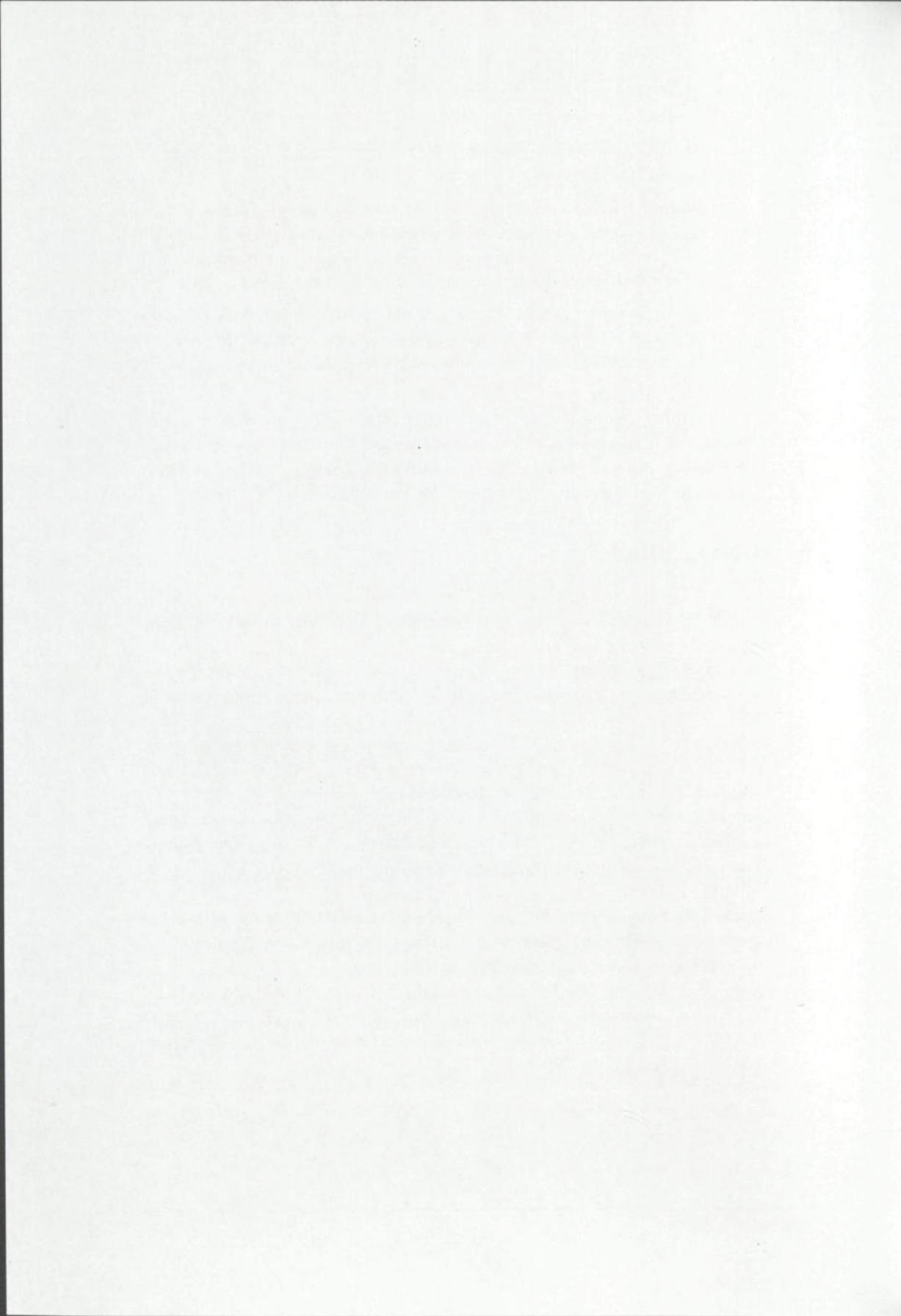
- A metodologia de inspecção demonstrou-se ser adequada aos objectivos em vista, sobretudo na identificação das anomalias no material betão, bem como na produção da própria estrutura.
- A laje superior da estrutura examinada é constituída de duas camadas distintas e não aderentes de betão.
- Em ambas as lajes o betão sofreu exsudação, agravada pela incorporação de água da chuva, durante a betonagem, levando à segregação do betão e completa descaracterização do material.
- Embora a resistência à compressão do betão da laje inferior possa ser utilizada como um critério decisivo da não conformidade com o projecto, pode-se dizer também que a durabilidade da estrutura certamente

será afectada pela ausência de aderência entre camadas de betão e entre o betão e as armaduras.

- Tomando-se em conta a formulação correcta do betão, a alteração das suas características, durante a betonagem, deveu-se às condições inadequadas de trabalho, bem como a forte sensibilidade do cimento branco e do superplastificante à alteração da relação água cimento.
- A tentativa de correcção da alteração verificada na viga-caixão, devido ao impulso no tabuleiro, foi responsável pela forte variação do posicionamento das armaduras, bem como a alteração da geometria das lajes componentes.
- Finalmente, conclui-se que as inovações tecnológicas devem ser cautelosamente implementada de maneira a salvaguardar-se dos eventuais problemas, na fase da produção da estrutura, devido a diferença entre as condições de trabalho em laboratório e na obra.

6 Bibliografia

- [1] BSI, BS: 1881 - *Testing Concrete: Part 120 - Method for determination of compressive strength of concrete cores*. British Standards Institution, London, 1983
- [2] BSI, BS: 1881 - *Testing Concrete: Part 204 - Recommendations on the use of electromagnetic covermeters*. British Standards Institution, London, 1988
- [3] Chandra, S. & Bjornstrom, J. *Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars - Part I*, Cement and Concrete Research, 32, 2002, pp. 1605-1611.
- [4] Hanna, E *et al.* *Rheological behavior of Portland cement in the presence of a superplasticizer*. in: V.M Malhotra (Ed.), Proc. 3rd Int. Conf. Superplasticizer and other Chemical Admixtures in Concrete, ACI SP vol. 119, 1989, pp. 171-188.
- [5] Nawa, T & Eguchi, H. *Effect of cement characteristics on the fluidity of cement paste containing chemical admixture*. 9th Int. Cong. Chem. Cem. IV, New Delhi, India, 1999, pp. 597-603.
- [6] Gomes J. P. C., Oliveira L. A. P., Lanzinha J. C. G., Almeida M. S. F. D. *Técnicas de Inspeção e Avaliação de Estruturas de Betão, ENGENHARIA'2001 - Inovação e Desenvolvimento*, Universidade da Beira Interior, novembro 2001, pp. 85-90.



ESTUDO DE UM CASO DE ANOMALIAS ESTRUTURAIS OCORRIDAS NUMA HABITAÇÃO RURAL DE ALVENARIA DE PEDRA

J. P. de Castro-Gomes*

Correio electrónico: castro.gomes@ubi.pt

L. A. Pereira de Oliveira†

Correio electrónico: luiz.oliveira@ubi.pt

J. C. Gonçalves Lanzinha‡

Correio electrónico: joao.lanzinha@ubi.pt

Resumo

Apresenta-se neste trabalho um caso de anomalias estruturais ocorrido numa habitação rural devido a assentamentos que resultaram de uma escavação adjacente. Descrevem-se detalhadamente as anomalias observadas e explicam-se as suas causas.

Apresentam-se também algumas soluções de trabalhos que se consideram mais adequados para a reabilitação da habitação objecto de estudo.

Palavras-chave: Habitação Rural, Anomalias Estruturais, Alvenaria de Pedra.

1 A Habitação Rural na Cova da Beira

Na Cova da Beira, sub-região que inclui os Concelhos de Belmonte, Covilhã e Fundão, predominam as habitações de alojamento único. Os edifícios com apenas um alojamento representam cerca de 95 % do total de edifícios desta sub-região, sendo a média nacional de 87 %. Estima-se que as habitações unifamiliares aí existentes, na sua grande maioria, sejam habitações rurais (ou estejam construídas em zonas rurais). Tratam-se de habitações simples, relativamente bonitas, muito embora não reúnam condições exigidas para se po-

* Prof. Auxiliar da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

† Prof. Associado Convidado da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

‡ Assistente Convidado da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construção.

der viver com o mínimo de conforto termo-higrométrico e salubridade. Nestas habitações, na sua grande maioria degradadas, penetra a chuva e a humidade e a cozinha é escura porque foi invadida pelo fumo da lareira. Alguns quartos podem não ter janelas e os mais jovens de sexo oposto podem ter de partilhar o mesmo quarto ou até a mesma cama. Muitas destas casas não têm casa de banho, nem água quente. Muitas outras não dispõem de abastecimento de energia eléctrica ou infra-estruturas de saneamento básico.



Figura 1: Exemplos de habitação rural na Cova da Beira (Aldeias do Paul e Casegas).

Quanto aos materiais utilizados e aspectos construtivos, neste tipo de habitações, saliente-se que as fundações são de pedra, em geral muito superficiais, sendo constituídas apenas por alguns blocos que servem de entrega das paredes ao solo. Este tipo de fundações, de pouca altura, favorece o constante aparecimento de humidade que penetra por capilaridade nas paredes da casa. As paredes são em geral constituídas por alvenaria ordinária (de pedra irregular) ou aparelhada (de pedra rectangular) e assente com argamassa de cal, cimento e areia (pelo menos até ao primeiro piso). A pedra mais utilizada na Cova da Beira é o granito. Normalmente são escolhidas pedras mais rijas e com melhor aspecto que se aparelham numa das faces. Os cunhais são construídos com pedras maiores (perpianho ou pedras de cauda comprida) para auxiliar o travamento das paredes. As paredes exteriores são muitas vezes rebocadas com barro seguido de uma argamassa de cal e areia, podendo ser caiadas ou pintadas no exterior. Também se utiliza a alvenaria de tijolo para a construção das paredes exteriores do primeiro piso ou a parede em taipa, tanto para as paredes exteriores como para as interiores. O outro material mais utilizado neste tipo de habitações é a madeira. Serve para a construção dos pavimentos, em soalho apoiados em traves e barrotes, e dos sótãos e coberturas que são depois revestidas com telha, predominantemente telha canudo.

No Paul, uma aldeia que se situa na Cova da Beira a 12 km da Covilhã, encontram-se habitações rurais em que não foi empregue o granito aparelhado como material principal para a sua construção (Figura 1). Nas imediações do leito da ribeira que ali corre encontram-se calhaus rolados de granito (godos),

de forma esférica ou ovóide e de grande dureza. Estes serviram para construir as paredes das habitações desta aldeia, calçadas com pequenas lascas de xisto e consolidadas com a terra barrenta vermelha que ali abunda. Fracturavam-se os calhaus para alisar os paramentos das paredes, que adquirem finalmente um paramento original, acentuado ainda pelo emprego de lajes inteiras de xisto ou de granito, a formar os panos de peito das janelas. A telha utilizada é a telha portuguesa ou de canudo e a madeira que constitui os pavimentos e cobertura é o castanho ou o pinho, materiais abundantes na região.

Já na aldeia de Casegas, a 20 km da Covilhã (próxima da aldeia do Paul), o material de eleição para a construção é o xisto, existente em abundância nesses locais onde, devido à sua constituição geológica, predominam terrenos xistosos muito antigos. Nestas habitações, a estabilidade das paredes de xisto reforça-se com o emprego de vergas e de cunhais de granito endentadas na alvenaria corrente. Apenas em alguns locais privilegiados é possível extrair de uma peça de xisto uma pedra para um vão de porta ou de janela. Esta dificuldade impôs aos construtores a utilização nesta zona de granito de grão fino. Embora o uso de granito seja o mais generalizado para os vãos de janelas e portas observa-se também o uso de madeira de castanho em substituição deste. Os telhados são de telha de canudo, pregada ao alto sobre uma armação de madeira, dispendo-se pedras sobre elas evitando assim que o vento as desloque ou arranque.

2 Descrição da Habitação Rural em Estudo

Trata-se de uma habitação rural de dois pisos e sótão com cobertura inclinada. A habitação tem cerca de 70 m² de área coberta de implantação (Figura 2). No piso do R/C existe uma pequena arrecadação com WC e uma garagem que serve de arrumação. No primeiro piso está localizada a cozinha, a sala e um quarto que são servidos por um *hall*. Neste piso existe ainda outro quarto com acesso pela sala. O sótão é amplo e desenvolve-se praticamente sobre toda a área do primeiro piso. Das quatro paredes exteriores da habitação, três são de alvenaria de pedra de granito aparelhada. Estas são constituídas por pedras irregulares assentes em argamassa, com paramentos aparelhados com pedras de granito de arestas relativamente aperfeiçoadas e que aparentam ter boa resistência mecânica. Os cunhais estão executados com pedras maiores, perpianho e pedras de cauda comprida (de cerca de 1,20 m a 1,50 m de comprimento) o que parece garantir um bom travamento. Parte das paredes estão revestidas com argamassa de reboco. Uma das paredes exteriores é de alvenaria de pedra ordinária constituída por pedra irregular assente em argamassa. Os paramentos desta parede são irregulares, com pequenos espaços vazios entre pedras maiores, preenchidos com pequenas pedras. Esta parede não está revestida com reboco, o que é normal neste tipo de alvenaria. De qualquer modo trata-se de uma parede exterior (do alçado lateral direito)

modo trata-se de uma parede exterior (do alçado lateral direito) que inicialmente seria parede meeira com parede de outra habitação. Actualmente esta parede funciona como uma parede de empena uma vez que esta habitação contígua foi demolida, estando em execução uma construção nova em estrutura que parece ser de betão armado.



Figura 2: Alçados da Habitação (Principal, Posterior).

Todas as paredes exteriores são de pedra até ao nível da cobertura e têm uma espessura de cerca de 40 cm. As paredes interiores da habitação rural em estudo são de taipa (de madeira). O pavimento do 1.º piso está construído em soalho de madeira, bem como o tecto deste piso que é em madeira com forro de contraplacado. A cobertura é de duas águas com telhado de telha marselha. As telhas estão apoiadas em ripado (a estrutura secundária) que está por sua vez, apoiada em varas (perpendiculares ao ripado e segundo a linha de maior declive da vertente). As varas apoiam em três pontos, no topo das paredes de alvenaria de pedra aparelhada, numa viga (terça) longitudinal a meio do declive e na viga de cumeeira. Esta viga de cumeeira e as terças apoiam nas paredes do topo (na parede de empena de alvenaria de pedra ordinária e na parede oposta a esta). O telhado não tem forro de madeira. A estrutura de suporte do telhado apresenta-se um pouco deformada. A viga de cumeeira foi reforçada com o apoio de uma viga metálica. Foram também colocados alguns prumos de madeira que apoiam esta viga e as vigas terça. As janelas da habitação no alçado principal e no lateral esquerdo são de guilhotina, com caixilharia de madeira com vidros simples. As janelas no alçado posterior são de caixilharia em ferro e estas são janelas de folhas de abrir.

3 Descrição das Anomalias Observadas

Observaram-se nas paredes exteriores da habitação, dos alçados principal e posterior, duas fendas de grande extensão. Estas fendas estão localizadas em cada uma das paredes dos alçados, próximas da parede do alçado lateral esquerdo (Figuras 3 e 4). Estas fendas são inclinadas e percorrem a altura total

das paredes. A abertura destas fendas é maior no topo das paredes do que na sua base, variando nesta direcção entre cerca de 2 cm a 1 cm.

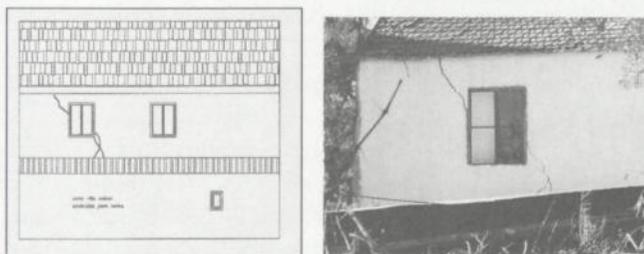


Figura 3: Localização da Fenda do Alçado Posterior.

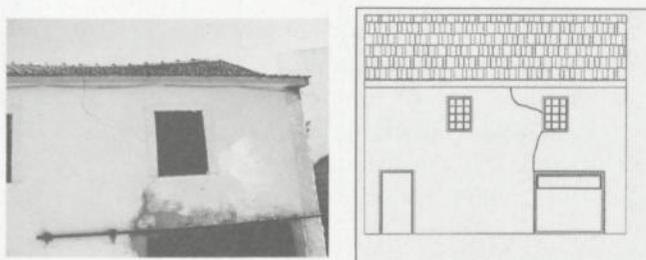


Figura 4: Localização da Fenda do Alçado Principal.

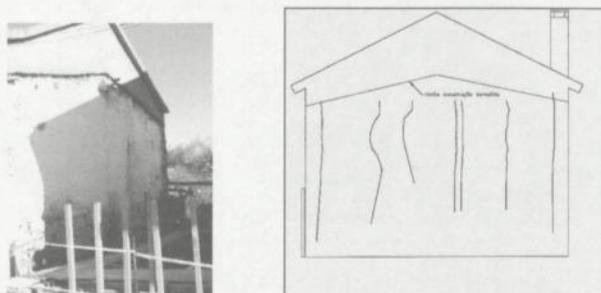


Figura 5: Localização de Fendas no Alçado Direito.

Na parede exterior do alçado principal a fenda tem inclinação de cerca de 45° , tendo a sua localização início a partir do meio do topo da parede e, desenvolvendo-se na direcção da fundação da parede do alçado lateral direito. A abertura máxima desta fenda é de cerca de 1 cm (Figura 5). A fenda existente

na parede exterior do alçado posterior tem também inclinação de cerca de 45°. Neste caso, esta fenda tem a sua localização, desde o topo mais próximo da parede do alçado direito até ao meio da base da parede do alçado posterior, com uma abertura máxima de 2 cm.

Existem também fendas e fissuras visíveis na parede exterior do alçado direito. Tratam-se de fendas verticais com aberturas de cerca de 1 cm. As fendas existentes na parede exterior do alçado direito são visíveis no interior da habitação, ou seja nos paramentos interiores. Observam-se aí fendas na zona do quarto e na zona da sala. Verificou-se que as fendas atravessam a espessura da parede e que ocorreu também rotura da ligação da parede exterior do alçado direito com a parede divisória interior.

As fendas observadas nos paramentos das paredes exteriores do alçado principal e posterior são também visíveis nos paramentos interiores destas. A fenda do alçado principal observa-se pelo interior, junto à janela de guilhotina da sala. E a fenda do alçado posterior observa-se no quarto também junto a uma janela de duas folhas. Pelo interior foi possível observar a importância desta fenda (de cerca de 2 cm de abertura). Observou-se ainda que o lintel da janela do quarto está deslocado da sua posição original e que a janela perdeu a sua esquadria, pelo que tem funcionamento deficiente.

Ao nível do R/C também se observaram fendas que indicam ter ocorrido assentamento das fundações da parede exterior do alçado lateral direito. As fendas existem na ligação de toda a base da parede com o pavimento da garagem. Ou seja, o assentamento verifica-se desde a parede do alçado principal até à parede do alçado posterior.

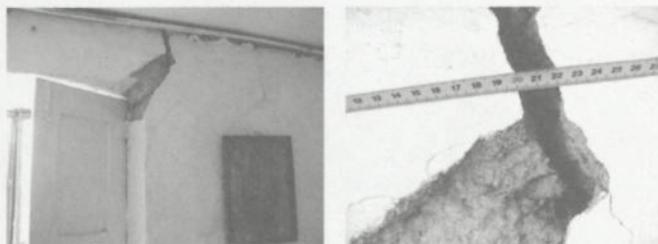


Figura 6: Pormenor da Fenda Principal do Alçado Posterior (no Paramento Interior).

Ao nível da cobertura observou-se, no interior do sótão, existirem deslocamentos e esmagamentos localizados de pedras. Verificou-se destacamento de pedras na zona de apoio da viga terça (a viga longitudinal a meio declive) mais próxima da parede do alçado posterior. Esta anomalia indica ter ocorrido rotação da parede que sendo maior no topo desta provocou anomalias nesta zona de apoio da viga. Outros esmagamentos localizados, fendas e fissuras

são também visíveis ao nível da cobertura, em outras zonas do interior da parede do alçado direito, nomeadamente ao nível do pavimento do sótão.

4 Explicação das Causas das Anomalias

Quando se realiza uma escavação a uma cota inferior à das fundações da estrutura do edifício adjacente, se não forem tomadas as precauções necessárias, o terreno sob a fundação que está comprimido por esta, “desprende-se” lateralmente provocando um assentamento vertical da fundação, que pode também ser acompanhado de rotação, da fundação e das paredes, conforme ilustrado na Figura 7.

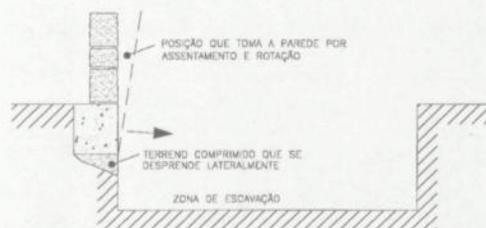


Figura 7: Assentamento e Rotação da Fundação e Paredes (Adaptado de [1]).

Se a magnitude do assentamento vertical é pequena, bem como da rotação, aparecem fissuras e fendas verticais na ligação das paredes ou estrutura que está sobre a fundação, como se ilustra na Figura 8.

A rotura dá-se normalmente nas zonas de ligações das fendas com a estrutura (nos casos de paredes de alvenaria de tijolo com estrutura de betão armado), como ilustrado na figura 8a, ou então dá-se nas próprias paredes (quando há uma boa ligação com a estrutura de betão, ou ainda, no caso se tratarem de paredes estruturais de alvenaria de pedra), como ilustrado na figura 8b.

Quando a magnitude do assentamento é maior, independentemente de maior ou menor rotação, a rotura manifesta-se de forma diferente do caso anterior com a abertura de fendas no sentido contrário, com inclinação de cerca de 45°, mais abertas na parte superior e mais fechadas na inferior. Para a sua melhor compreensão, este tipo de rotura apresenta-se na Figura 9. Este último pode ocorrer quando o terreno é brando ou quando a escavação tem uma profundidade que supera em alguns metros a profundidade da fundação. Também pode ocorrer em situações de ocorrência de chuva durante a escavação, mesmo que esta escavação seja de pouca profundidade. Pode ainda verificar-se em condições de fundações pouco profundas.

As anomalias estruturais existentes na habitação em estudo estão de acordo com a tipologia de fendas correspondente a assentamentos de fundações, o que indica claramente ter sido essa a sua causa.

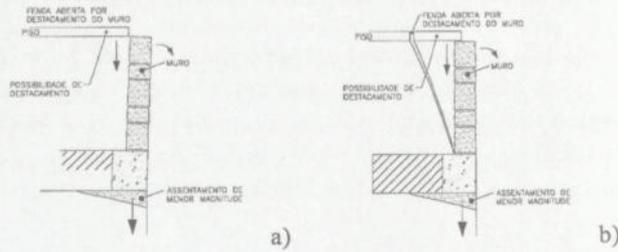


Figura 8: Assentamento de Fundações de Menor Magnitude (Adapt. [1]).

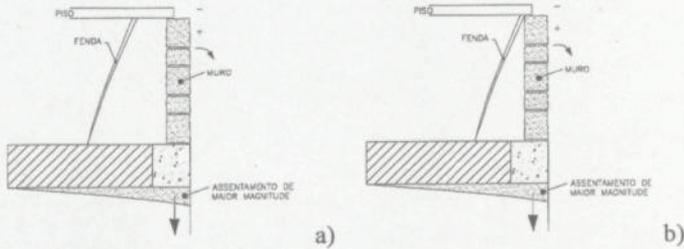


Figura 9: Assentamento de Fundações de Maior Magnitude (Adapt. [1]).

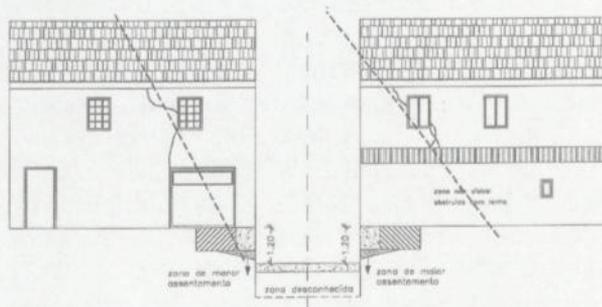


Figura 10: Interpretação dos Assentamentos nos Alçados Principal e Posterior.

A fenda do alçado principal tem uma tipologia que corresponde a um assentamento de pequena magnitude, enquanto que a do alçado posterior corresponde a um assentamento de maior magnitude, de acordo com a explicação apresentada anteriormente e ilustrada na Figura 10.

Deste modo, pode concluir-se que terá ocorrido assentamento das fundações ao longo da parede do alçado lateral direito. No entanto terá ocorrido maior assentamento nesta, na zona mais próxima da parede do alçado posterior da habitação. Pode ainda concluir-se que ocorreu rotação da parede do alçado lateral direito, tanto mais que foram observadas anomalias na zona de ligação com esta parede e com as vigas da cobertura.

5 Trabalhos Necessários para a Reabilitação

Os trabalhos de reabilitação a adoptar devem reconstituir as condições de segurança estrutural e as condições de habitabilidade [2]. Para a elaboração do caderno de encargos do projecto de reabilitação da habitação dever-se-á remover em primeiro lugar toda a argamassa de revestimento (no interior e exterior dos paramentos das paredes), nas zonas afectadas, para avaliar a verdadeira extensão do problema.

No que concerne às condições de segurança estrutural, os trabalhos de reabilitação estão condicionados, por já não ser possível intervir na fundação da parede do alçado direito, como seria adequado. Propõem-se por isso um conjunto de soluções de compromisso, considerando que poderá ser aproveitada parte da resistência da estrutura de betão que está a ser construída no local da escavação. Com a finalidade de garantir a segurança relativa à movimentação das paredes, ocorrida por assentamento da fundação e consequente rotação, deve-se reconstruir e reabilitar as zonas de paredes afectadas. No entanto, pode ser construída uma nova parede resistente junto ao paramento exterior da parede do alçado direito que sirva de apoio lateral à parede de pedra, para garantir a sua segurança e travamento.

Os panos de paredes com fissuras, com aberturas menores que 1cm, devem ser reabilitados com a remoção da argamassa existente na zona da fissura, seguida de limpeza da zona da parede com fissura, humedecimento da zona a reparar, colocação de tela ou rede de material flexível e durável, ao longo de uma faixa de 30cm sobre a fissura (no paramento interior e exterior) e, colocação da argamassa de revestimento nesta zona.

As fendas existentes na ligação entre paredes interiores e paredes exteriores devem ser reparadas (reconstituídas) com argamassa de cimento, cal e areia, reforçada com tela ou rede de material flexível, resistente e durável.

As zonas das paredes, dos alçados principal e posterior, afectadas pelo assentamento da fundação e que foram desunidas pela abertura de fendas, devem ser reconstruídas. Uma alternativa recomendável à reconstrução é o emprego

do método de *grampeamento* ou *agrafamento* dos panos de paredes desunidos. Deverão também ser repostos os lintéis de pedra das janelas nas suas posições originais, ou seja aquela que se assegure a devida distribuição de cargas aos apoios e de acordo com a sua necessária esquadria.

Independentemente da opção pela reconstrução das paredes dos alçados afectados, ou pelo *grampeamento* destas, devem ser reforçados os apoios dos suportes dos pavimentos e os apoios das vigas da cobertura.

No que diz respeito às condições de habitabilidade deverá ser dada especial atenção às caixilharias e envidraçados afectadas pelos movimentos de assentamento. As paredes exteriores deverão ser revestidas com argamassa de cimento, cal e areia que garanta a estanquidade da habitação. Deverão também ser feitas intervenções na cobertura para também garantir estanquidade da habitação e finalmente deverão ser feitas as pinturas necessárias no seu interior.

6 Conclusões

Este estudo apresenta um conjunto de anomalias estruturais que ocorreram numa habitação rural e que são devidas a assentamentos que resultaram da escavação das fundações na habitação adjacente. As anomalias estruturais são de magnitude e extensão relevantes. Ocorreram fendas graves localizadas em inúmeros locais dos diferentes elementos da estrutura. Logo, a estrutura de habitação foi gravemente afectada.

É possível reabilitar a habitação, de acordo com as soluções apresentadas, sendo no entanto necessário para todos estes trabalhos elaborar projectos detalhados de execução.

7 Bibliografia

- [1] Hidalgo, M. M. *Diagnosis y Causas en Patología de la Edificación*, Editor Mateu Cromo, Madrid, 1994.
- [2] Castro-Gomes, J. P. & Lanzinha, J. C. *Recuperação de habitações rurais como contributo para a Construção Sustentável*, Seminário Construção Sustentável, Parque de Exposições de Braga, Braga, Setembro 2002.

DETERMINAÇÃO DA ADERÊNCIA ENTRE RESINAS EPOXÍDICAS E ARGAMASSAS HIDRÁULICAS

José Barroso de Aguiar*

Correio electrónico: aguiar@civil.uminho.pt

Resumo

A determinação da aderência entre polímeros e argamassas coloca alguns problemas. A utilização de ensaios tradicionais como tracção directa, flexão ou corte, normalmente não permite a determinação do valor numérico da aderência. Quando o ligante é bom e a colagem é bem executada, a rotura ocorre na argamassa. Este tipo de roturas permite concluir que a aderência é superior ao valor da tensão de rotura obtida, não sendo possível dizer qual o valor numérico da aderência. Utilizando um ensaio baseado na mecânica da fractura é mais fácil a determinação da aderência. Os provetes com entalhe permitem a concentração de tensões na junta polímero/argamassa. Assim, as roturas adesivas são mais frequentes, permitindo a determinação do valor numérico da aderência. O provete escolhido para este estudo foi o DCB (*double cantilever beam*). Os materiais utilizados foram uma resina epoxídica e uma argamassa normal. Os ensaios de tracção directa das colagens entre estes dois materiais conduziram a roturas na argamassa. No entanto, nos ensaios com provetes DCB obtiveram-se sempre roturas mistas.

Para a determinação da energia de fractura (G_f) é necessário conhecer o comprimento da fissura. Este parâmetro altera-se durante o ensaio, não sendo fácil a sua determinação em cada instante. Para esta determinação, utilizaram-se três métodos: emissão acústica, colocação de um deflectómetro no meio do caminho de fissura e complacência. O método da complacência revelou-se mais adequado. Outro problema é o desvio das fissuras para fora do seu caminho esperado. Para evitar estes desvios, reforçaram-se os provetes exteriormente, colando placas de aço. Assim, conseguiu-se que as roturas seguissem o caminho de propagação esperado. Por último, para evitar o reforço exterior, utilizaram-se provetes DCB com secção variável. Estes provetes comportaram-se bem durante os ensaios.

Palavras-chave: Resinas epoxídicas, Aderência, Energia de fractura.

* Prof. Associado da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Materiais de Construção.

1 Introdução

A aderência encontra-se entre as propriedades mais importantes dos produtos e sistemas de reparação de estruturas de betão. Normalmente a aderência determina-se através de ensaios de tracção, corte ou flexão [1, 2]. Os ensaios tradicionais não são totalmente correctos para determinação da aderência. Quando ocorrem roturas na argamassa ficamos sem saber o valor numérico da aderência.

Nesta comunicação apresentaremos dois ensaios baseados na mecânica da fractura. A utilização de provetes entalhados permite concentrar as tensões [3] na junta polímero/argamassa e as roturas adesivas são mais frequentes. Este tipo de roturas permite a determinação do valor numérico da aderência.

O provete escolhido foi o DCB *double cantilever beam* [4], porque possui um comprimento maior para a propagação da fissura. Os provetes para flexão três ou quatro pontos, têm apenas cerca de 10 cm de comprimento para propagação da fissura. Os provetes DCB têm cerca de 25 cm de comprimento para propagação da fissura.

2 Preparação dos Ensaios

Utilizou-se argamassa normal [5], confeccionada com cimento *Portland* de elevada resistência. Com vista a determinar a influência da humidade da argamassa, utilizaram-se alguns provetes secos e outros húmidos no momento da colagem. A resina epoxídica utilizada tem um endurecedor à base de poliamina alifática. Para obter boa aderência com superfícies húmidas, adicionou-se à resina epoxídica uma carga calcária (20 %) [6].

As dimensões dos provetes DCB foram as indicadas nas Figuras 1 e 2. Utilizaram-se dois tipos de provetes, DCB com altura constante e DCB com altura variável. Este último tipo de provete foi utilizado com vista a facilitar a preparação dos ensaios, dispensando o reforço exterior que se revelou necessário para os provetes DCB com altura constante (Figuras 3 e 4).

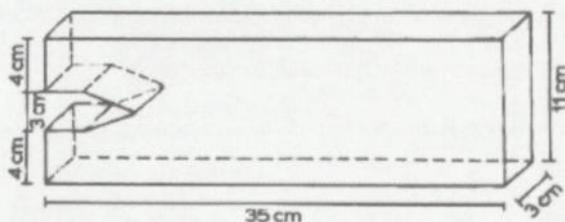


Figura 1: Dimensões do provete DCB com altura constante.

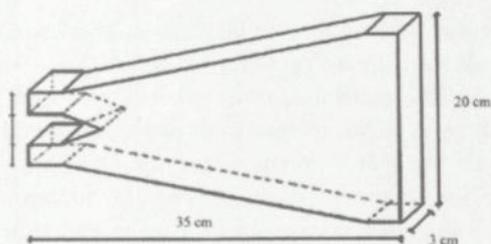


Figura 2: Dimensões do provete DCB com altura variável.

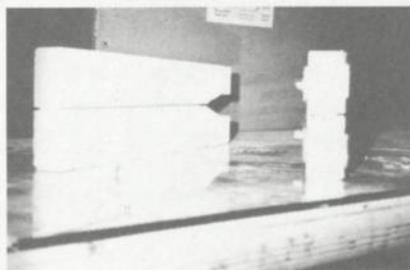


Figura 3: Caminho de fissura e reforço exterior dos provetes.

Depois da argamassa endurecer 28 dias, serraram-se os provetes em duas metades. Estas foram colocadas dentro de água, logo após a serragem. Para as colagens com superfície seca, retiraram-se os meios provetes de dentro de água 7 dias antes. Para colar com superfície húmida, retiraram-se os meios provetes de argamassa de dentro de água no momento da colagem. A superfície de argamassa resultante da serragem foi escovada com uma escova de aço, por forma a retirar todas as partículas friáveis e não aderentes. Os meios provetes com superfície seca foram limpos com um jacto de ar comprimido.



Figura 4: Provete argamassa/resina epoxídica com reforço exterior.

O sistema epoxídico foi cuidadosamente espalhado com uma espátula, sobre as superfícies de cada meio provete resultantes da serragem. Depois do tempo de espera exigido que depende da cinética de polimerização da resina epoxídica, colaram-se as duas metades do provete. Utilizaram-se pequenas placas com 1 mm de espessura, por forma a obter sempre uma junta de colagem com esta espessura que um estudo anterior [6], mostrou ser a mais conveniente. Depois da colagem, mantiveram-se os provetes numa superfície plana durante 72 horas à temperatura de 20 ± 2 °C. De seguida colocaram-se dentro de água à temperatura de 20 ± 1 °C.

Sete dias após a colagem, criaram-se por serragem, caminhos de fissura (Figura 3), de cada lado dos provetes. Estas cavidades tinham 7,5 mm de largura e 3 mm de profundidade. Para assegurar que a fissura se propagará até à outra extremidade do provete; colaram-se quatro placas de aço com 3 mm de espessura (Figuras 3 e 4). Este reforço efectuou-se apenas nos provetes DCB com altura constante. Os provetes DCB com altura variável dispensam este reforço. Para possibilitar a ligação à máquina de tracção colaram-se duas peças metálicas de cada lado dos provetes.

3 Ensaios

Em primeiro lugar efectuámos alguns ciclos de carga/descarga para criar uma frente de fissura bem marcada e para eliminar todos os problemas relacionados com o sistema de ensaio que podem originar falta de linearidade na curva carga/deslocamento. Efectuaram-se dez ciclos com uma carga máxima de 0,20 kN e com uma velocidade de 240 mm/min. Terminado o décimo ciclo iniciámos o verdadeiro ensaio. A velocidade foi alterada para 10 mm/min.

Quando observámos uma ligeira descida da carga, parámos a máquina e deixámos a fissura propagar-se durante 15 minutos com um deslocamento imposto. A carga aplicada descia ao longo desse tempo. Depois voltámos a ligar a máquina e a carga subia até uma nova descida e conseqüente paragem da máquina durante 15 minutos. Seguindo este procedimento efectuaram-se três ciclos de carga/descarga (Figura 5).

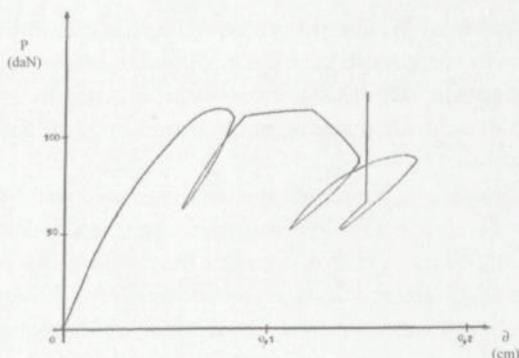


Figura 5: Variação da carga com o deslocamento.

O principal objectivo da primeira série de ensaios foi a comparação de diferentes métodos de determinação do comprimento da fissura ao longo do ensaio. Três métodos foram escolhidos: emissão acústica, deflectómetro no meio do caminho de fissura e complacência. Para o método designado por emissão acústica, colocaram-se quatro receptores nos provetes, um em cada canto (Figura 6). Quando a fissura está em propagação, o processo de rotura origina ruídos que são detectados pelos receptores de emissões acústicas. A localização do ponto de origem desse ruído efectua-se analisando os tempos de chegada a três dos receptores e relacionando-os com o tempo de chegada ao quarto [7].

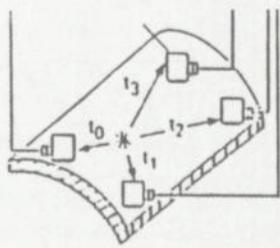


Figura 6: Posicionamento dos receptores de emissões acústicas.

O deflectómetro no meio do caminho de fissura possibilita a determinação do instante em que a frente de fissura está situada nessa posição. Podemos dizer que nesse instante o seu comprimento é cerca de metade do valor máximo possível. Este método não pode ser utilizado isoladamente. Há necessidade de utilizar outro método para esclarecer como varia o comprimento da fissura antes e depois do ponto onde o deflectómetro foi colocado.

O método da complacência consiste na determinação, utilizando o método dos elementos finitos, da complacência do provete que corresponde a um dado comprimento da fissura. Com esta informação é possível estimar o comprimento da fissura, durante os ensaios, conhecendo a complacência que corresponde a cada ciclo.

A energia de fractura é uma característica do material. Assim, os valores determinados por diversos métodos deveriam ser iguais. Durante os ensaios encontramos alguma variação. A dispersão foi menor no método da complacência. Este método apresenta ainda algumas vantagens experimentais, porque não é necessário colar peças extra para determinar os comprimentos da fissura. Assim, na última série de ensaios apenas utilizámos o método da complacência.

Na Figura 7 podemos observar a variação da complacência com o comprimento da fissura, no caso dos provetes DCB com altura constante. Tendo em conta as expressões geralmente utilizadas para determinação da energia de fractura, G , podemos dizer que a curva da Figura 7 é do 3.º grau.

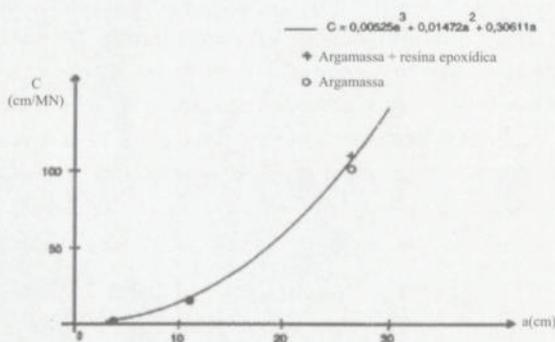


Figura 7: Variação da complacência dos provetes com o comprimento da fissura.

A energia da fractura pode ser calculada utilizando a fórmula seguinte:

$$G = \frac{P^2}{2B} \left(\frac{dC}{da} \right) \quad (1)$$

em que:

P – carga aplicada;

B – espessura do provete;

C – complacência;

a – comprimento da fissura.

A fórmula de *Srawley* [8], é a seguinte:

$$G = \frac{12P^2}{B^2h^3E} (a^2 + 1,32ha + 0,532h^2) \quad (2)$$

em que:

h – altura do provete;

E – módulo de elasticidade.

Igualando as fórmulas (1) e (2):

$$\frac{dC}{da} = \frac{24}{Bh^2E} (a^2 + 1,32ha + 0,532h^2) \quad (3)$$

Como B , h e E são constantes:

$$\frac{dC}{da} = f(a^2) \quad (4)$$

e

$$C = f(a^3) \quad (5)$$

Como para $a=0$, $C=0$, a equação (5) é da forma seguinte:

$$C = \alpha_1 a^3 + \alpha_2 a^2 + \alpha_3 a \quad (6)$$

Para que a curva passe pelos três pontos determinados com os cálculos baseados no método dos elementos finitos (Figura 7):

$$C = 0,00525a^3 + 0,01472a^2 + 0,3061a \quad (7)$$

válida com:

C em $\text{cm} \cdot \text{MN}^{-1}$

a em cm .

Derivando a equação (7) em ordem a a :

$$\frac{dC}{da} = 0,01575a^2 + 0,02944a + 0,30611 \quad (8)$$

Substituindo a equação (8) em (1):

$$G = \frac{P^2}{2B} (0,01575a^2 + 0,02944a + 0,30611) \quad (9)$$

válida com:

G em $\text{MN} \cdot \text{cm}^{-1}$;

P em MN ;

a e B em cm.

Para os provetes DCB com altura variável seguindo o mesmo raciocínio, obtivemos:

$$G = \frac{P^2}{2B} (0,007271a^2 + 0,04240a + 0,39667) \quad (10)$$

válida com:

G em $\text{MN}\cdot\text{cm}^{-1}$;

P em MN;

a e B em cm.

4 Resultados

Efectuaram-se também alguns ensaios com provetes padrão (apenas de argamassa). Estes provetes não foram serrados. A utilização destes provetes permitiu determinar a energia de fractura da argamassa. Ensaíram-se três provetes sendo a média dos resultados de 61,26 N/m. Os valores médios dos resultados obtidos com os provetes argamassa/resina epoxídica apresentam-se na Tabela 1. Cada valor apresentado corresponde à media de três resultados.

Tabela 1: Energia de fractura das colagens argamassa/resina epoxídica.

Tipo de provete	Estado de superfície	G (N/m)	Tipo de rotura
Altura constante	Seco	42,61	45 % argamassa
Altura constante	Húmido	22,65	0 % argamassa
Altura variável	Seco	23,68	40 % argamassa
Altura variável	Húmido	8,34	0 % argamassa

Com os provetes DCB não se obtiveram roturas 100 % argamassa. Num estudo anterior com ensaios de tracção directa [6], para o mesmo tipo de colagens obtiveram-se sempre roturas na argamassa. Assim, a determinação da aderência com provetes DCB é mais fácil. Com roturas na argamassa não é possível concluir sobre o valor numérico da aderência.

Tal como se esperava, quando a superfície da argamassa está húmida a aderência diminui significativamente. A redução é de cerca de 47 % para os provetes com altura constante e de cerca de 65 % para os provetes com altura variável. Os provetes com altura variável dispensam o reforço exterior, mas a energia de fractura diminui significativamente. A redução situa-se entre 44 e 63 %.

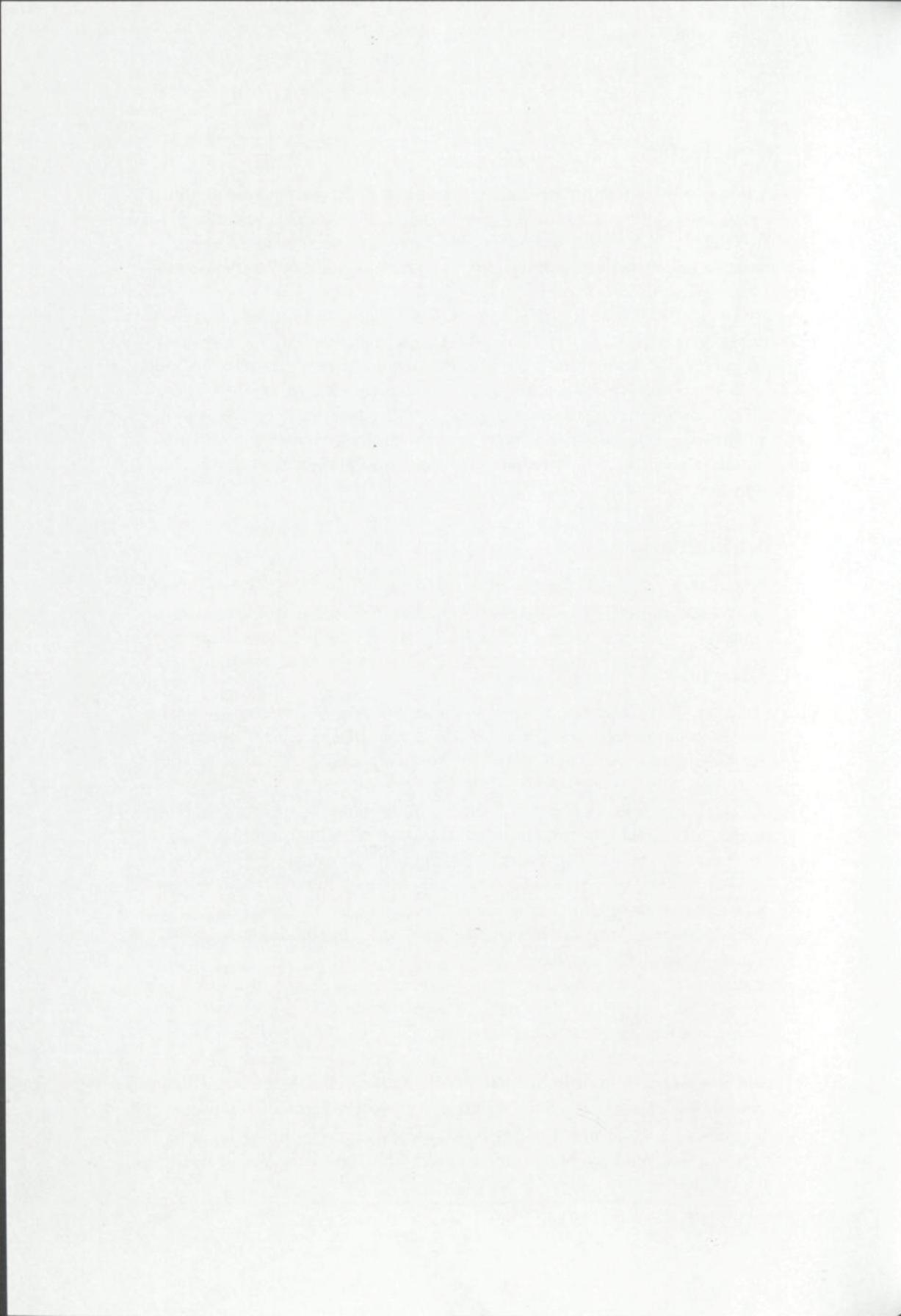
5 Conclusões

A utilização de um ensaio baseado na mecânica da fractura para determinar a aderência entre argamassas hidráulicas e resinas epoxídicas revelou-se mais adequada que a utilização de outros ensaios como tracção, flexão ou corte. A concentração de tensões na junta origina mais roturas adesivas, tornando possível a quantificação da aderência.

Os provetes DCB com altura constante necessitam de um reforço exterior com placas de aço para evitar o desvio da físsura. Sem o reforço a físsura não segue o caminho desejado até à outra extremidade do provete. Os provetes DCB com altura variável dispensam o reforço exterior. No entanto, os valores da aderência diminuíram, sendo necessário efectuar mais ensaios para clarificar esta situação. Quando as colagens se efectuam com a superfície da argamassa húmida verifica-se uma redução da aderência relativamente à das colagens com superfície seca.

6 Bibliografia

- [1] Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures – Definitions, Requirements, Quality Control and Evaluation of Conformity – Part 9: General Principles for the Use of Products and Systems, ENV 1504-9. Bruxelas: CEN, Comité Europeu de Normalização, 1997.
- [2] Sasse, H. R. & Stenner, R. *Adhesion and the new series of european standards on protection and repair of concrete structures*. 2nd International Symposium Adhesion between Polymers and Concrete, Dresden, Setembro 1999, pp. 485-494.
- [3] Inglis, C. E. *Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners*. Transactions of Institute of Architecture, Vol. 55, 1913.
- [4] Standard Test Method for Fracture Strength in Cleavage of Adhesives in Bonded Metal Joints, ASTM D3433-93. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 15.06, 1997.
- [5] Sable Normal et Mortier Normal, NF P 15-403. Paris: Associação Francesa de Normalização, 1963.
- [6] Aguiar, J. B. *Evaluation method for adhesion test results of bonded wet concrete to epoxies*. 2nd International Symposium Adhesion between Polymers and Concrete, Dresden, Setembro 1999, pp. 247-256.
- [7] Aguiar, J. B. *et al.* *Mechanical behaviour of adhesive joints such as a concrete epoxy*, European Mechanics Colloquium 227, Mechanical Behaviour of Adhesive Joints, Saint-Etienne, Agosto 1987, pp. 249-256.
- [8] Srawley, J. E. & Gross, B. *Stress intensity factors for crackline-loaded edge-crack specimens*, Materials, Research and Standards, Vol. 7, 4, 1967, pp. 155-162.



NOVOS MATERIAIS OBTIDOS POR ACTIVAÇÃO ALCALINA DE METACAULINOS, ARGILAS E RESÍDUOS RICOS EM SÍLICA E ALUMINA

Amândio Teixeira-Pinto*

Correio electrónico: yrache@utad.pt

Said Jalali†

Correio electrónico: said@civil.uminho.pt

Resumo

A activação alcalina (Geopolimerização) de matérias primas ricas em SiO_2 e Al_2O_3 (metacaulinos, argilas, cinzas, escórias e resíduos industriais) reproduz numa escala de tempo extremamente curta as reacções de síntese que estão na origem de grande parte das rochas que formam a crosta terrestre. Após uma fase de cura adequada, os novos materiais são dificilmente distinguíveis das rochas equivalentes (em função do tipo de agregado utilizado), o que lhes confere um papel privilegiado no campo da reabilitação, em particular das construções em pedra. Na comunicação é abordado o tema da Geopolimerização, que envolve a dissolução de alumino-silicatos em meio fortemente alcalino e a posterior obtenção de um gel que endurece rapidamente à temperatura e humidade ambientes, formando produtos dotados de elevada inércia química e assinalável comportamento mecânico.

Palavras-chave: Activação alcalina, Ligantes, Geopolímeros.

1 Introdução

Sendo indesmentível a importância que o cimento *Portland* assume como material de construção por excelência em todo o tipo de construções realizadas pelo Homem nos últimos 100 anos, não pode deixar de referir-se a necessidade de encontrar sistemas ligantes alternativos que sublimem as desvantagens que, apesar de tudo, aquele material apresenta.

De facto, o cimento *Portland* evidencia, como é sabido, algumas fragilidades e limitações ao nível do comportamento químico dando lugar a patologias

* Eng.º Civil, Prof. Auxiliar Convidado da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

† Eng.º Civil, Prof. Associado da Universidade do Minho.

que afectam a durabilidade e resistências mecânicas dos betões e argamassas em que ele se incorpora como elemento aglutinante:

- É a sede de fenómenos de carbonatação, que reduzindo o pH do meio fortemente alcalino que envolve as armaduras, as despassiva, facilitando a sua corrosão;
- É susceptível de reacções deletérias com os agregados (RAA), formando geles que são fortemente expansivos em contacto com a água;
- É permeável à penetração (por difusão) dos cloretos, o que abre portas também à corrosão das armaduras;
- É sensível ao ataque dos sulfatos, que originando etringite e monossulfato, provocam expansões no interior da matriz cimentícia;
- Tem pouca ou nenhuma reactividade com materiais muito finos como o pó ou a argila que têm por isso de ser reduzidos ao mínimo ou mesmo eliminados.

Do ponto de vista ambiental, são também de notar as consideráveis responsabilidades do cimento *Portland*:

- Libertação na fase de fabrico de quantidades avultadas de CO₂, resultantes da calcinação do carbonato de cálcio e da queima de carvão ou nafta nos fornos rotativos onde a mesma calcinação se processa (segundo alguns autores o cimento *Portland* é responsável por cerca de 18 % do efeito de estufa);
- Dependência algo excessiva de um rigoroso e bem controlado escalonamento granulométrico dos materiais pétreos, pois é sabido o papel fundamental que a compacidade tem no comportamento global do betão. Este facto impõe a utilização continuada de recursos naturais, cuja exploração deixa marcas profundas na paisagem.

O enunciado, não exaustivo, destas desvantagens, tem levado os investigadores a procurar outros sistemas ligantes que permitam resolver senão todos, pelo menos parte dos problemas apresentados e possam constituir também do ponto de vista económico uma alternativa aliciante.

2 Os Cimentos Antigos e a Activação Alcalina

São conhecidas realizações das civilizações da Antiguidade Clássica (Egipto, Grécia, Roma, Assíria, etc.) em que foram utilizados betões e argamassas que apesar da idade parecem indiferentes à passagem do tempo. Os cimentos antigos não só exibem melhor comportamento físico (patente na espantosa sobrevivência após séculos de acções erosivas de todo o tipo) e apreciável resis-

tência mecânica, mas são também mais resistentes à acção dos ácidos, bases e a ciclos de gelo/desgelo ou de molhagem/secagem, situações em que a compactidade e a permeabilidade à água desempenham, como se sabe, papel relevante [1].

Foram os trabalhos de *Glukhovsky* e de *Krivenko*, na Ucrânia, que permitiram pôr em evidência a constituição química desses cimentos antigos, substancialmente diferente dos modernos sistemas ligantes que são, como se sabe, centrados na química do cálcio [2, 3].

Os trabalhos daqueles dois investigadores revelaram a presença de analcite e sodalite nas matrizes desses cimentos, numa quantidade tal (até cerca de 40 %) que não deixou dúvidas quanto ao papel que esses dois zeólitos tiveram na gênese do material em estudo. Os zeólitos são materiais naturais que se formaram na natureza quando depósitos de cinzas vulcânicas foram inundados por águas alcalinas, ou vice-versa quando as cinzas se depositaram em ambientes lacustres ricos em álcalis [4].

Facilmente se compreendeu que os zeólitos não foram usados como componentes de partida dos betões antigos, mas são tão somente a fase final estável, de uma conversão de longo duração de reacções primárias produzidas em certas condições de humidade e temperatura, na sequência da activação alcalina de alumino-silicatos.

Esta reacção, que *Davidovits* [5] identificou com uma policondensação inorgânica e a que chamou *geopolimerização*, consiste assim na hidratação alcalina de alumino-silicatos (com ou sem cálcio) promovida por:

- Hidróxidos do tipo (ROH, R(OH)₂)
- Sais de ácidos fracos (R₂CO₃, R₂S, R₂F)
- Sais de ácidos fortes (Na₂SO₄, CaSO₄, 2H₂O)
- Sais silicatados do tipo R₂ (n)SiO₂

onde R é um ião alcalino do tipo Na, K ou Li.

Os materiais obtidos obedecem a princípios de organização química diferentes daqueles que se conhecem no cimento *Portland* dando lugar à formação de grupos de repetição (monómeros) que se interligam e organizam em rede polimérica. Os monómeros podem ser dos seguintes tipos:

- Si-O-Al-O: (sialato)
- Si-O-Al-O-Si-O: (sialato-siloxo)
- Si-O-Al-O-Si-O-Si-O: (sialato-di-siloxo)

A nomenclatura é devida a *Davidovits* [5] e os diferentes monómeros organizam-se conforme as razões atômicas Si/Al assumem o valor 1, 2 ou 3.

Os ensaios de caracterização estrutural com recurso a técnicas de Ressonância Magnética Nuclear e Espectroscopia de Infravermelhos permitiram determinar o tipo de ligações existentes nas matrizes geopoliméricas e assim propor uma estrutura espacial em que os iões tetraédricos $[\text{SiO}_4]^{4-}$ e $[\text{AlO}_4]^{5-}$ se ligam alternadamente compartilhando todos os oxigénios.

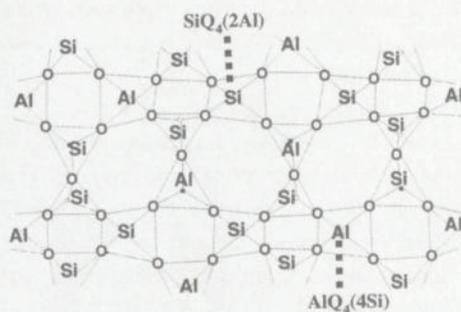


Figura 1: Estrutura Zeolítica.

O *déficit* de cargas negativas gerado por esta estrutura, é compensado por catiões de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , etc., que assim ficam ligados à rede por ligações do tipo iónico.

O facto de o cálcio não ser imprescindível na obtenção de sistemas ligantes, se por um lado contraria um velho princípio que limitava ao grupo dos alcalino-terrosos (grupo II da tabela periódica) a capacidade de desenvolvimento de propriedades cimentíceas, alargando-o a combinações de elementos dos grupos I, III e IV, vem por outro demonstrar a importância central das matrizes zeolíticas na estabilidade final dos referidos sistemas ligantes [3].

De um modo geral os geopolímeros são obtidos por activação alcalina de qualquer tipo de alumino-silicato. Em princípio, todos os materiais que tenham sofrido um tratamento térmico na sua génese, são potencialmente aptos para a geopolimerização: pó de tijolo ou telha, vidro moído, materiais cerâmicos, escombros de betão, cinzas de queima (carvão ou nafta) ou incineração, cinzas vulcânicas, escórias de alto forno, metacaulinos, ou mesmo argilas ricas em caulinite e/ou montmorilonite. É enorme a variedade de produtos que podem ser utilizados nesta reacção base, o que encontra explicação no facto de serem os alumino-silicatos o grupo de compostos predominante na litosfera. É possível fabricar materiais geopoliméricos que são praticamente indistinguíveis das rochas naturais.

Uma técnica alternativa para a obtenção de reacções de geopolimerização consiste na mistura de carbonato de sódio ou carbonato de potássio com caulinite, dolomite ou calcário e sílica. Esta mistura produz, na presença da água,

soda ou potassa cáustica (NaOH ou KOH), que dissolvem parte da sílica e reagem fortemente com os outros aditivos, dando origem a um ligante geopolimérico.

Por outro lado *Davidovits* [6] concluiu, com base nos conhecimentos adquiridos sobre a síntese dos zeólitos, que para uma reacção de geopolimerização ocorrer era necessário formular certos critérios de composição, nomeadamente:

- A razão molar $\text{SiO}_2/\text{M}_2\text{O}$ deve encontrar-se entre 4:1 e 6,6:1 na solução aquosa de silicatos, onde **M** é um catião metálico alcalino;
- O óxido alumino-silicato deve conter Al que seja rapidamente solúvel;
- A razão molar global $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ deve estar entre 1:5,5 e 1:6,5.

Estes resultados porém, foram obtidos na base de uma análise química muito formal, sendo actualmente discutível se toda a sílica ou alumínio efectivamente tomam parte na reacção de síntese. Sendo assim, as razões molares apresentadas mais não são do que simples marcos de referência para as composições.

No que concerne à síntese dos geopolímeros é importante referir que se verificam algumas diferenças em relação ao processo de formação dos zeólitos. De facto, os zeólitos formam-se regra geral em sistemas hidrotérmicos fechados, enquanto os geopolímeros não. Os zeólitos usualmente cristalizam a partir de soluções aquosas onde as bases precursoras têm mobilidade e suficiente tempo para se orientarem e alinharem adequadamente, antes de a estrutura cristalina as imobilizar.

Por seu turno a presa (início das reacções que conduzem à rigidificação) dos reagentes geopoliméricos é bastante rápida, não havendo tempo para a formação de uma rede cristalina, resultando por si numa estrutura microcristalina, ou então parcial ou totalmente amorfa, dependendo das condições exactas em que se verifica a reacção.

É bem conhecido que na síntese dos zeólitos as razões molares de composição $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/\text{SiO}_2$ determinam a estrutura cristalina resultante e são conjuntamente com a difracção aos Raios-X usadas para caracterizar as diferentes formas cristalográficas dos zeólitos [7]. Aparentemente essas razões molares também influenciam de certa forma a estrutura interna dos geopolímeros, embora isto não tenha sido cientificamente provado até ao momento.

Além disso a natureza amorfa dos geopolímeros torna inconclusiva a análise de difracção aos Raios-X, havendo em consequência necessidade de recorrer a outros ensaios, em particular à Espectroscopia de Infravermelhos e à Ressonância Magnética Nuclear. A natureza exacta deste amorfismo não está ainda completamente determinada, principalmente por falta de uma definição clara

e única do termo *amorfo*. Deve dizer-se que embora aos Raios-X o material pareça amorfo, tal circunstância não implica necessariamente a ausência de cristalização, ainda que desordenada e num estado primário. De facto a rapidez com que se verifica a rigidificação não facilita a formação de um tecido cristalino, mas *Malone et al.* [8] atribuem a resistência mecânica destes materiais à existência de uma certa matriz cristalina.

Outro aspecto que merece referência é o da excelente resistência a ciclos de gelo/desgelo, documentadas em [9], e que têm obviamente particular interesse nas nossas latitudes, em particular no interior, onde de Inverno se verificam múltiplas flutuações em torno dos 0 °C.

3 Propriedades dos Geopolímeros

Há cerca de dois anos que na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro se tem procurado investigar as condições de obtenção e caracterização dos materiais de natureza geopolimérica que é possível desenvolver com recurso a matérias primas abundantes em Portugal [10].

Embora se tenha comprovado o âmbito alargado da reacção de activação alcalina ao promover a solidificação de materiais residuais como cinzas, escórias e escombros, o trabalho de pesquisa tem sido centrado na activação do metacaulino, material que pela sua abundância e mais uniforme constituição química poderá constituir o tronco principal dos produtos base para o desenvolvimento de novos sistemas ligantes.

O metacaulino é obtido por desidroxilação a partir do caulino, submetendo este a um tratamento térmico adequado. O leque de materiais que é possível obter com a activação alcalina dos metacaulinos é muito vasto (Figura 2).

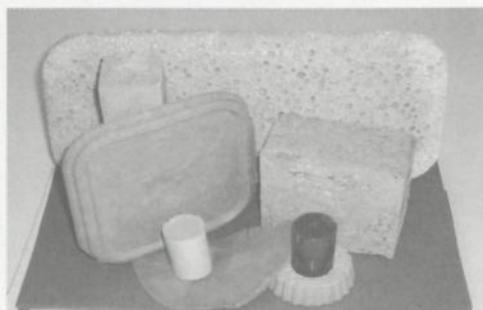


Figura 2: Materiais Geopoliméricos.

É possível produzir materiais densos e compactos, dotados de elevada resistência mecânica, materiais leves e porosos com boas propriedades acústicas,

ou materiais flexíveis com um comportamento muito próximo dos plásticos orgânicos mas não ardendo nem libertando fumos tóxicos quando atacados pela chama.

No domínio mais directo da construção, são os materiais alternativos aos betões aqueles que merecem de momento a maior atenção. Os geopolímeros obtidos com incorporação de materiais pétreos apresentam elevado comportamento mecânico num lapso de tempo muito curto, como o gráfico indica.

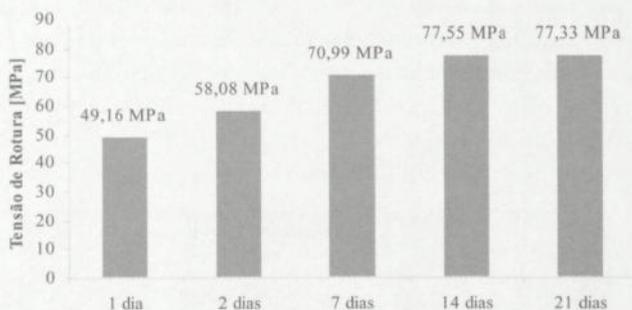


Figura 3: Resistência à compressão simples em função do tempo.

Os provetes são curados à temperatura ambiente, apenas envolvidos num filme de polietileno, mas é possível obter resistências à compressão simples da ordem dos 40 MPa em apenas uma hora (após o fabrico), bastando para tal submeter o material a uma temperatura de 65 °C.

Em termos da resistência à tracção determinada no ensaio de flexão por 3 pontos os valores são também apreciáveis, face à pouca idade dos provetes como o gráfico seguinte mostra.

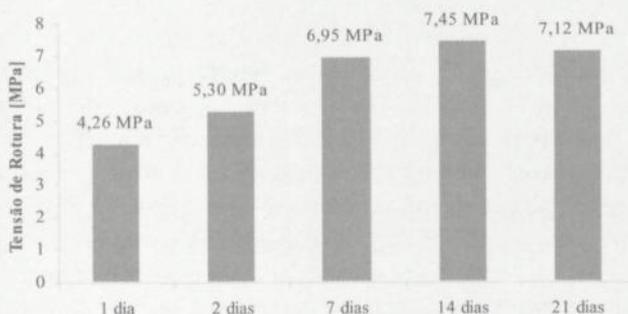


Figura 4: Resistência à tracção por flexão em função do tempo.

Uma primeira conclusão é que os ganhos de resistência, quer em compressão como em tracção, são mais rápidos do que no cimento *Portland*. Na realidade a reacção de activação alcalina é, como se disse acima, bastante rápida, atingindo o seu valor máximo e estável em poucos dias. Por isso não se verificam aumentos na resistência mecânica para lá dos 7 dias, que possam considerar-se significativos.

A geopolimerização na medida em que permite reproduzir a síntese das rochas siliciosas que se formam na Natureza, dá lugar a materiais dotados de elevada inércia química que resistem muito bem ao ataque dos álcalis (que constituem de resto o ambiente que preside à sua formação), e aos ácidos. Experiências conduzidas com imersões prolongadas em concentrações ácidas de ácido sulfúrico, ácido azótico e ácido clorídrico (a 10 %) mostram quando em comparação com o betão um comportamento assaz satisfatório.

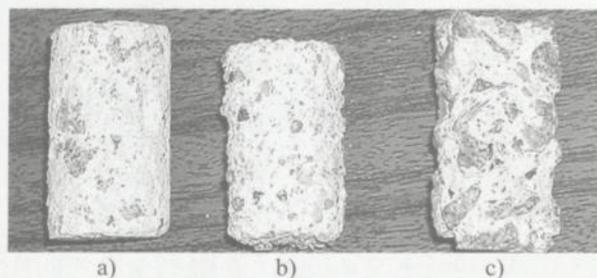


Figura 5: Ataque pelo ácido clorídrico; a) Geobetão, b) Argamassa geopolimérica, c) Betão CP.

O geobetão, denominação proposta para os materiais formados com mistura de areia e brita em proporções adequadas, é um material sólido, com massa volúmica da ordem dos 23 kN/m^3 e que resulta de um complexo de reacções químicas entre os componentes e o activador alcalino. Dessa forma seria de esperar que as condições de aderência na interface pasta/agregado fossem de grau superior ao que correntemente acontece nos betões de cimento *Portland* (CP). E de facto assim se passa. A Figura 5 mostra a secção transversal de dois provetes ensaiados por compressão simples (um de geobetão e outro de betão CP) em que são evidentes os seguintes aspectos: no geobetão as fissuras tendem a atravessar os próprios agregados, enquanto no betão normal as linhas de fractura contornam os agregados. Isto mostra claramente que no geobetão a aderência tem um valor superior ou comparável à resistência mecânica da pedra que constitui os agregados, mau grado a pequena dimensão desta.

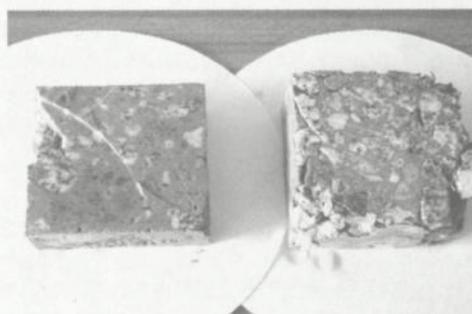


Figura 6: Geobetão e betão de cimento *Portland*.

Por sua vez a aderência aos aços atinge também valores significativos quando comparada com valores obtidos em betões CP do mesmo nível de resistência mecânica. Os valores apresentados na Tabela 1 não são ainda definitivos, pois não foi possível obter resultados concretos em virtude dos provetes terem rompido por tracção, talvez por causa do dispositivo de fixação na máquina de ensaio, antes que se tivesse esgotado a capacidade resistente por aderência das pastas às armaduras.

Tabela 1: Tensões de aderência pasta/armaduras.

Betão CP	> 3,6 MPa	> 3,35 MPa	> 2,81 MPa
Geobetão	> 6,6 MPa	> 6,75 MPa	> 5,48 MPa

Do ponto de vista da permeabilidade, pode ver-se na Tabela 2, de acordo com *van Jaarsveld*, que são também próprios deste tipo de material valores baixos da permeabilidade. Os autores ainda não confirmaram estes valores para os geopolímeros com que trabalham.

Tabela 2: Valores da permeabilidade em cm/s [7].

Material	Permeabilidade [cm/s]
Areia	10^{-1} a 10^{-3}
Argila	10^{-7}
Granito	10^{-10}
Cimento c/ cinzas	10^{-6}
Cimento <i>Portland</i>	10^{-10}
Geopolímeros	10^{-9}

Em termos da retracção, uma propriedade particularmente importante no que diz respeito por exemplo à aplicabilidade destes produtos em obras de reparação, os geopolímeros apresentam quando curados ao ar sem protecção, um comportamento excessivo, como é possível verificar pelos valores indicados no gráfico.

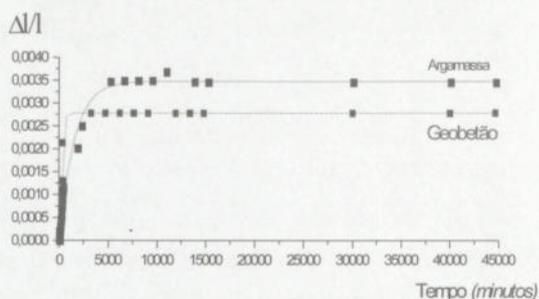


Figura 7: Ensaio de retracção (provetes não curados).

Todavia, como se refere, os resultados obtidos dizem respeito a provetes curados em condições muito desfavoráveis, sendo de esperar por isso valores elevados para a retracção. De facto os geopolímeros são muito sensíveis às condições de cura, que não sendo difíceis de garantir, são contudo imperiosas. Após terem sido ensaiadas várias soluções de cura, foi concluído que o envolvimento dos provetes com um filme de polietileno, evitando o mais possível qualquer troca gasosa com o meio ambiente, permitia obter bons resultados à temperatura ambiente (no laboratório $t = (21 - 23) ^\circ\text{C}$). O não cumprimento desta regra aparentemente muito simples, leva a que o provete apresente logo nas primeiras horas fendilhação superficial de retracção, circunstância que dá lugar a uma certa quebra no comportamento mecânico dos provetes, não deixando também de afectar, de algum modo, a durabilidade do material.

Foi possível realizar ensaios de controlo dimensional em provetes protegidos de argamassa geopolimérica, já que o envolvimento das amostras com um filme muito fino de polietileno não impõe qualquer constrangimento ou limitação ao desenvolvimento do procedimento de ensaio. Os resultados são da ordem de 275×10^{-6} valor muito abaixo do obtido com o provete não protegido (3500×10^{-6}). Quando comparados com os valores correntes da retracção em betões devidamente curados de cimento *Portland* (350×10^{-6}), verifica-se que a argamassa geopolimérica não introduz neste domínio um ganho muito relevante, sendo todavia de esperar que o geobetão, dado possuir um esqueleto pétreo mais estruturado melhore ainda o valor indicado. Por razões operacionais

ainda não se dispõe, à data da presente comunicação, de valores finais da re-tracção em provetes curados de geobetão.

4 Aplicações Potenciais

Os geopolímeros apresentam globalmente um comportamento que se tem de considerar surpreendente já que assumindo propriedades no mínimo idênticas, quando não melhores que as do cimento *Portland*, parecem não sofrer dos mesmos inconvenientes. Senão vejamos:

- Não são atacados pelos sulfatos, pois não têm aluminatos cálcicos na sua constituição química;
- Não dão lugar a reacções de carbonatação, pela simples razão de não possuírem também hidróxido de cálcio livre;
- Não dão lugar à formação de reacções do tipo álcalis-agregado, pois ainda que em ambiente fortemente alcalino, a cronologia das reacções é diferente e não chegam a formar-se os geles silicatados susceptíveis de expansão em presença da água;
- Promovem uma redução de cerca de 80 % nas emissões gasosas de CO₂, envolvendo também uma redução substancial ao nível energético pois as temperaturas de obtenção do metacaulino são cerca de metade dos valores da temperatura corrente de clinquerização;
- Permitem a utilização de um leque muito mais alargado de materiais de constituição, o que tem enormes vantagens do ponto de vista ambiental;
- Adquirem níveis elevados de resistência mecânica muito mais rapidamente o que permite o encurtamento dos prazos de construção.

Independentemente dos ensaios realizados até ao momento, que regra geral confirmam o tipo de comportamento esperado, há provas muito concretas em obras com até cerca de 9000 anos, de materiais de natureza similar, que atravessaram o tempo praticamente incólumes e se encontram ainda em serviço (muralhas da cidade de Jericó, templos fenícios e assírios na actual Síria, termas de Tibério e de Caracala bem como o Coliseu de Roma em Itália, muito possivelmente as próprias pirâmides egípcias, etc.) [11]. A sua textura torna-se praticamente indistinguíveis das rochas correntes.

Consequentemente, porque os geopolímeros não parecem apresentar as mesmas limitações do cimento *Portland* e sendo provável que à escala industrial não envolvam encargos tão volumosos como os que estão associados à produção do dito cimento, apresentam um potencial de aplicações que não é difícil de enumerar:

- Execução de argamassas e betões para estruturas ou elementos estruturais em contacto com meios de grande agressividade química, em especial em fundações;
- Elementos de construção/reconstrução de estruturas em pedra com reduzida ou nenhuma intervenção da arte de cantaria;
- Protecção/recobrimento de obras de betão corrente degradadas na sequência de acções corrosivas de natureza química;
- Pavimentos estruturais, em áreas de depósito e ou armazenamento de materiais corrosivos;
- Prefabricação de elementos de betão de utilização corrente, tubagens, lancis, pedras de chão, vedações, etc., sujeitos a desgaste físico ou químico;
- Estabilização de solos, do tipo solo/cimento;
- Estacas de argila estabilizada *in situ*;
- Revestimentos de baixa permeabilidade em aterros do tipo sanitário, onde se exige que as perdas de produtos contaminantes para os solos envolventes sejam muito reduzidas;
- Confinamento de matérias radioactivas e de lixos tóxicos (um campo particularmente interessante face ao limitado desempenho dos ligantes do tipo *Portland*);
- Componentes correntes de construção, como blocos de cimento, telhas, materiais cerâmicos, etc.

5 Conclusões

As patologias típicas do betão podem, como se sabe, decorrer de defeitos de construção, sendo esta infelizmente uma das principais razões da deficiente qualidade de grande número das nossas construções, não só nos edifícios mas de todo o tipo de obras em geral. Contra esse mal não pode haver remédio ao nível dos materiais, não sendo fácil conseguir obter um material que reaja melhor que o betão aos *maus tratos* a que correntemente é sujeito.

Contudo, as solicitações ambientais, com vários níveis de agressividade, a que os betões são submetidos, deparam com algumas fragilidades da parte do cimento *Portland* cuja resolução nem sempre se consegue, e quando se consegue é quase sempre à custa de restrições várias ou de processos de construção e controlo mais dispendiosos.

Pelo que fica dito, os geopolímeros, e em particular o geobetão, não parecendo sofrer do mesmo tipo de limitações que os betões de cimento *Portland*, não são em princípio susceptíveis de experimentar o tipo de patologias que são correntes nas argamassas e betões em que este último é utilizado como ligante. Ao mesmo tempo que abrem uma outra via de resolução de algumas das patologias mais usuais nos betões e argamassas correntes (por substituição do material de base, insusceptível de sofrer dos mesmos problemas), tudo indica que os geopolímeros provocam também um impacte ambiental muito mais reduzido, pela capacidade reconhecida de incorporação de entulhos, resíduos industriais ou produtos tóxicos, garantindo em consequência um futuro mais limpo.

Todavia algumas propriedades não estão ainda totalmente controladas, encontrando-se em curso alguns ensaios cujos resultados se espera permitam responder a certas dúvidas que se podem muito justamente colocar. Em particular está o problema da porosidade que assume nas estruturas de carácter zeolítico valores apreciáveis, e que urge dominar como meio de permitir o mais amplo espectro de aplicação a este novo tipo de material.

Outro aspecto também de contornos ainda não muito esclarecido prende-se com a permeabilidade (que não foi especificamente referida no que fica exposto), pois ainda não são conhecidos todos os parâmetros condicionantes do processo, nem por tal motivo se podem explicar as ideias conducentes ao seu controlo.

É necessário ter em atenção que se trata de um material que ainda não saiu das bancas da investigação, quiçá ainda é muito mal conhecido e por isso não é de imediato aplicável. A UTAD está a promover contactos para a realização de ensaios à escala real, encontrando-se já em fase adiantada a preparação de testes para o princípio do ano de 2003 no domínio dos pavimentos e da estabilidade de solos *in situ* para aplicações de Geotecnia. Em qualquer dos casos, trata-se de um material muito promissor e com aplicações muito vastas, parecendo certo que virá permitir colmatar muitas lacunas que ainda existem na construção, evitando ou pelo menos minimizando o nível de patologias que atingem a maioria dos materiais de construção.

6 Agradecimento

Os autores expressam o seu agradecimento à FCT pelo financiamento parcial, através do Projecto POCTI/ECM/34338/99, dos trabalhos que estão subjacentes à presente comunicação.

7 Bibliografia

- [1] Davidovits, J. *Ancient and Modern Cements: What is the Real Difference?*, Concrete International, vol. 9, n.º 12, 1987.
- [2] Glukhovskiy, V. *Ancient, Modern and Future Concretes*, First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Ukraine, 1994.
- [3] Krivenko, P. *Alkaline Cements*, First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Ukraine, 1994.
- [4] Dyer, A. *Zeolite Molecular Sieves*, New York, J. Willey & Son Ed., 1988.
- [5] Davidovits, J. *Properties of geopolymer cements*, Proceedings First International Conference on Alkaline Cements and Concretes, Ukraine, 1994.
- [6] Davidovits, J. *Geopolymers: Inorganic polymeric new materials*, Thermal Analysis, Vol. 37, pp. 1633-1656, 1991.
- [7] Van Jaarsveld, J. G. S.; Van Deventer, J. S. & Lorenzen, L. *The Potential Use of Geopolymeric Materials to Immobilise Toxic Metals*, Minerals Engineering, Vol. 10, n.º 7, pp 659-669, 1996.
- [8] Malone, P. G.; Kirkpatrick, T. & Randhall, C. A. *Potential Applications of Alkali-activated Alumino Silicate Binders in Military Operations*, Report WES/MP/GL-85-15, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, 1986.
- [9] Van Jaarsveld, J. G. S.; Van Deventer J. S. & Lorenzen, L. *Factors affecting the immobilization of metals in geopolymerised fly-ash*, Research Report, Univ. of Stellenbosch, South Africa, 1995.
- [10] Teixeira-Pinto, A. *Novos Sistemas Ligantes Obtidos por Ativação Alcalina (Geopolimerização)*, Construção Magazine, n.º 3, pp. 16-22, Julho 2002.
- [11] Davidovits, J. & Morris, M. *The Pyramids, An Enigma Solved*, New York, Ed. Dorset Press, 1988.

REABILITAÇÃO DE ESTRUTURAS DE BETÃO REFORÇADAS COM CFRP USANDO O MÉTODO DE ENROLAMENTO FILAMENTAR

N. C. Loureiro*

Correio electrónico: ncloureiro@netcabo.pt

P. Vieira†

Correio electrónico: pvieira@inegi.up.pt

J. P. Bento‡

Correio electrónico: jpbento@sapo.pt

J. L. Esteves§

Correio electrónico: jesteves@fe.up.pt

Resumo

Para estruturas de betão com armadura em aço sujeitas a cargas de flexão, uma nova técnica, baseada no método de enrolamento filamentar usando fibras de carbono e resina epóxida, tem sido desenvolvida no âmbito das actividades de I&D do INEGI.

Neste trabalho é apresentado o estudo do reforço, por enrolamento filamentar, de modelos de vigas solicitadas em flexão em 3 e 4 pontos.

Palavras-chave: Enrolamento filamentar; Reabilitação; Reforço; CFRP.

1 Introdução

Nos nossos dias encontramos muitas estruturas que estão desactualizadas em relação às solicitações actuais. Encontramos também estruturas que devido a uma má manutenção, acidentes (Sismos ou mesmo maus tratos provocados pelo Homem), deficiência de construção ou projecto e a necessidade de serem

* Aluno do 5.º ano LEM/FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Bolseiro de Iniciação à Investigação Científica, INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

† Eng.º Mecânico, INEGI – Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial.

‡ Aluno do 4.º ano LEM/FEUP, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

§ Prof. Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Secção de Mecânica Aplicada.

utilizadas por mais tempo do que o planeado têm necessidade de serem reforçadas. Os exemplos mais típicos destas estruturas serão pontes, viadutos e alguns edifícios. É frequente que a intervenção nessas estruturas, não seja somente de carácter reparativo mas também que combine um reforço estrutural para que essas estruturas possam, em segurança, desempenhar novas funções.

Em alternativa ao reforço por colagem de chapas de aço existem sistemas de reforço utilizando laminados compósitos de CFRP ou mantas de fibra de vidro, aramida ou carbono a serem impregnadas e curadas *in situ*.

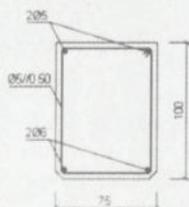
A técnica de enrolamento filamentar, normalmente utilizada para o fabrico de tubagens e peças de revolução em material compósito, tem sido aplicada experimentalmente para reforço e confinamento de pilares. Neste trabalho é feita a aplicação desta técnica ao reforço de vigas solicitadas à flexão.

O programa experimental de ensaios considerou o reforço de vigas para o aumento de capacidade de carga e a reabilitação e reforço de vigas danificadas.

2 Vigas de Betão Armado

2.1 Estrutura das vigas

As vigas utilizadas neste trabalho foram fabricadas em microbetão C35/45, têm 1 m de comprimento e uma secção transversal de 75 mm × 100 mm. Foram armadas com reforço longitudinal formado por 2 varões de 6 mm de diâmetro à tracção e por 2 varões de 5 mm de diâmetro à compressão. Transversalmente a armação é composta por estribos de 6 mm de diâmetro com um espaçamento de 50 mm entre eles. O recobrimento da armadura é de 7 mm (Figura 1).



Recobrimento da armadura = 7 mm
Microbetão C35/45



Figura 1: Armadura das vigas.

O aço utilizado na armadura apresenta uma tensão de cedência de 530 MPa e uma tensão de rotura de 650 MPa. A resistência média à compressão do betão sobre cubos de 150 mm de aresta aos 28 dias é de 53 MPa.

2.2 Reabilitação das vigas

As vigas danificadas foram recuperadas a fim de serem reforçadas.

A flecha existente, resultante da deformação plástica dos varões da armadura à tracção, foi removida pela aplicação de uma carga de flexão através de um mecanismo hidráulico. As fendas e ocos foram preenchidos com uma pasta adesiva epóxida (ver § 3.1).

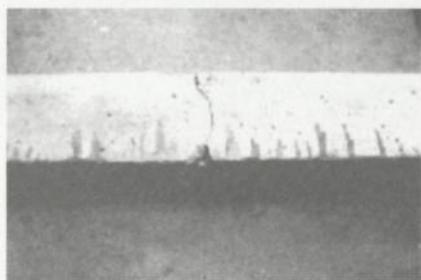


Figura 2: Fendilhação de uma viga danificada.

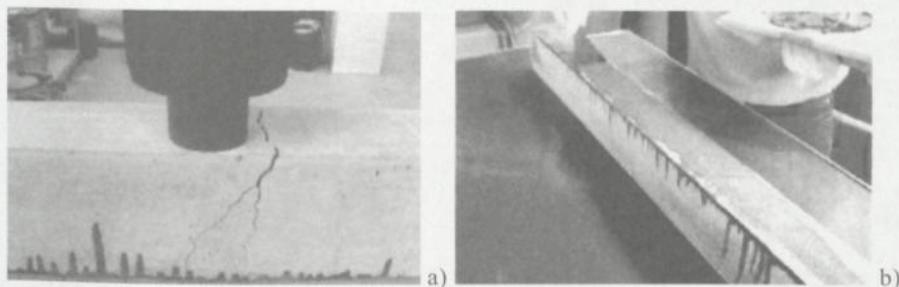


Figura 3: Reabilitação da viga: a) Remoção da flecha existente com macaco hidráulico; b) Preenchimento dos ocos com a pasta epóxida.

2.3 Preparação da superfície

Os defeitos superficiais e as arestas cortantes das vigas foram removidos mecanicamente através de uma mó abrasiva. As vigas foram limpas através de jacto de ar. Para uma melhor aderência do sistema de reforço foi aplicado, na superfície, um primário constituído por uma resina epóxida (ver § 3.1) e deixou-se curar por um período de 24 horas, antes da aplicação do enrolamento filamentar. A preparação e limpeza da superfície são necessárias para uma boa ligação entre o reforço e a viga.

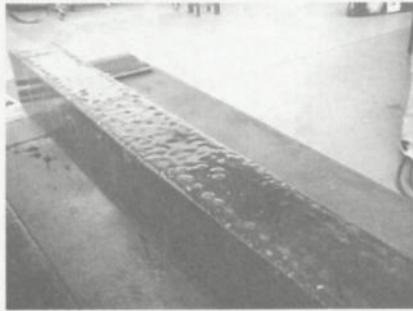


Figura 4: Viga com a aplicação da resina epóxida na superfície.

3 Sistema de Reforço

3.1 Materiais utilizados

Os materiais usados para a reabilitação e reforço das vigas utilizadas são materiais disponíveis no mercado nacional.

Para o preenchimento das fissuras e ocos:

— Pasta adesiva epóxida: Fermapoxy (Weber & Broutin).

Para o reforço:

— Resina epóxida: Reapox 520/526 (Rebelco);

— Fibras de carbono: HTA 5131 1600TEX F24000 TO (Tenax Fibres) ($E = 234$ GPa).

3.2 Enrolamento filamentar

O enrolamento filamentar é um processo que consiste no enrolar de fios embebidos em resina à volta de um mandril com a forma interior da peça desejada. Este processo permite obter peças com baixo peso e boas características mecânicas. Tem outra grande vantagem que é o facto de se poder “brincar” com os ângulos de enrolamento, alterando as características mecânicas da peça, facto esse que poderá variar o tipo de solicitação a que esta venha a ser sujeita.

Para a aplicação do reforço foi utilizada uma máquina de enrolamento de 6 eixos PULTREX 1S-6NC. Foi enrolado, ao longo do comprimento da viga, um total de 850 mm dos 900 mm úteis usando um ângulo de enrolamento de 64° com uma tensão de tracção nas fibras de 10 N. Para os diferentes grupos de vigas reforçadas foram efectuados reforços com diferente número de camadas e conseqüente grau de reforço.

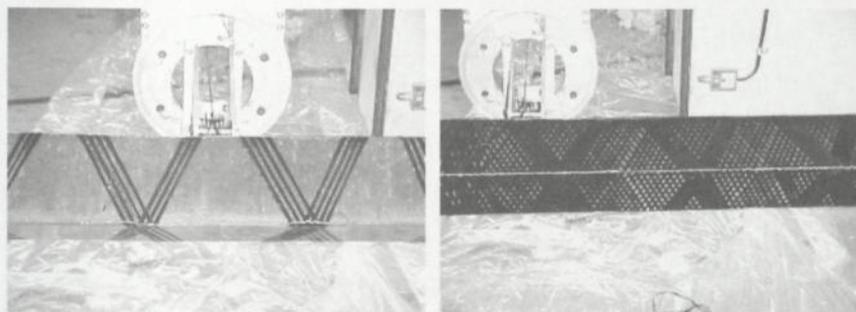


Figura 5: Duas fases do reforço por enrolamento.



Figura 6: Viga reforçada por enrolamento filamental.

4 Programa de Ensaios

O programa de ensaios realizado foi constituído por cinco grupos de vigas de acordo com o indicado na Tabela 1, sendo efectuados ensaios de flexão em três e quatro pontos.

Tabela 1: Grupos de vigas ensaiados.

Grupo	Tipo de Viga	Nº de camadas	Tipo de ensaio
REF	Nova	0	Flex.3P
A	Nova	1,5	Flex.3P
B	Reabilitada	1	Flex.3P
C	Reabilitada	2	Flex.3P
D	Nova	1,5	Flex.4P

4.1 Ensaios de flexão

Os grupos REF, A, B, C foram ensaiados em flexão em 3 pontos com um vão de 900 mm (Figura 7) sendo a velocidade vertical do actuador de 5 mm/min.

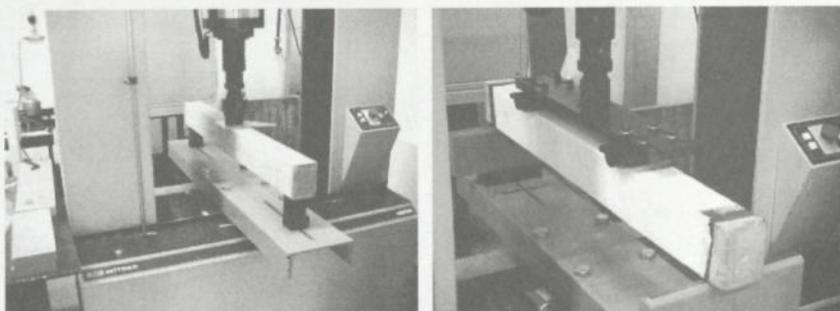


Figura 7: Ensaios de flexão em 3 e 4 pontos.

O grupo D foi submetido a ensaio de flexão em 4 pontos. Os pontos de aplicação de carga têm um afastamento de 400 mm e o vão entre apoios 900 mm. A velocidade vertical do actuador foi de 5 mm/min.

Para estes ensaios foi utilizada uma máquina de ensaios universal INSTRON 4208.

5 Análise de Resultados

Nas Figuras 8 a 10 são apresentados os gráficos carga/flecha a meio vão, obtidos nos diferentes ensaios realizados.

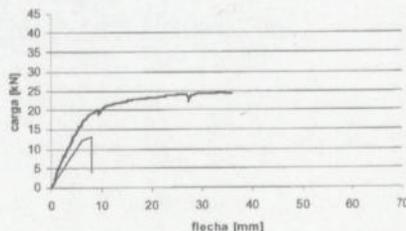


Figura 8: Ensaio de flexão em 3 pontos dos grupos A; REF.

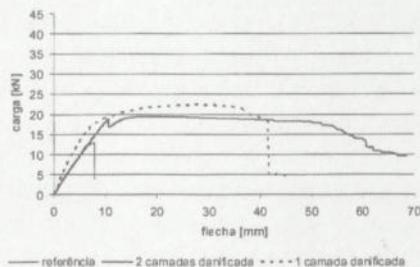


Figura 9: Ensaio de flexão em 3 pontos dos grupos REF, C, B reabilitadas.

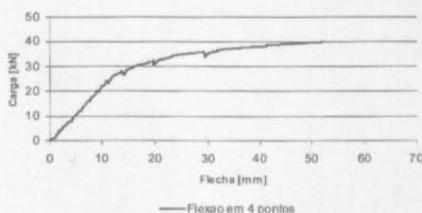


Figura 10: Ensaio de flexão em 4 pontos do grupo D.

Os resultados obtidos experimentalmente para as vigas de referência (Vigas em betão armado sem reforço por enrolamento filamentar) apresentam uma boa correlação com o cálculo analítico efectuado com base no EUROCODE (13 kN e 8 mm de flecha).

Na tabela 2 são resumidos os resultados obtidos experimentalmente para os vários grupos de vigas ensaiadas.

Tabela 2: Resumo dos resultados obtidos.

Grupo	Tipo de Viga	Tipo de ensaio	Carga Max. (kN)	Flecha (mm)	Carga Rot.** (kN)	Flecha (mm)
REF	Referência	3 Pontos	13	8	13	8
A	1,5 Camadas nova	3 Pontos	24,37	34,45	24,34	36,06
B	1 Camada reabilitada	3 Pontos	22,35	28,12	20,1	37,28
C	2 Camadas reabilitada	3 Pontos	19,46	18,5	17,63	51,82
D ^{††}	1,5 Camadas nova	4 Pontos	43,6	52,28	—	—

** Carga de rotura a 10 % da carga máxima.

†† Este ensaio não foi levado até à rotura.

Numa análise muito superficial dos gráficos e da tabela acima, podemos constatar que o reforço com 1, 1,5 e 2 camadas de vigas novas ou rehabilitadas têm uma capacidade de suportar carga quase na ordem do dobro da carga de referência. A grande diferença entre rehabilitadas e novas está na carga de rotura. Enquanto nas novas, a rotura é violenta (provavelmente por colapso da armadura), nas rehabilitadas temos uma diminuição gradual da carga. O critério utilizado para definição do valor da carga de rotura dessas vigas passou pela consideração de um abaixamento em 10 % do valor da carga máxima. Nas flechas constata-se que é possível obter vigas que, em serviço, apresentam uma flecha de rotura à flexão na ordem do quádruplo das vigas não reforçadas.

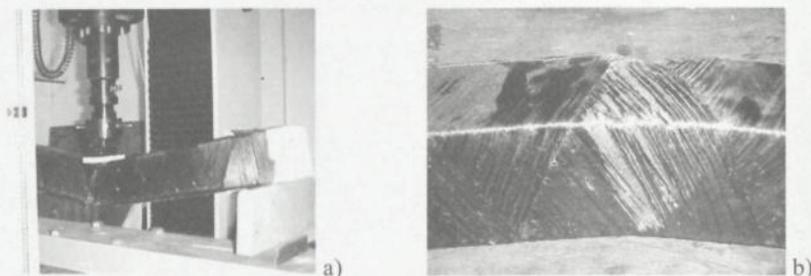


Figura 11: a) Flecha máxima de uma viga reforçada com 2 camadas; b) Rotura das fibras após ensaio.

Do grupo ensaiado à flexão em quatro pontos, procedeu-se ao ensaio de uma viga, ensaio esse que foi parado antes da viga apresentar qualquer fractura visível. A paragem do ensaio deveu-se ao facto de a estrutura de apoio e carregamento, para os valores de carga atingidos, apresentar deformações elevadas (Figura 12).

Podemos constatar que a carga de utilização da viga aumenta quase para o dobro obtendo também maiores flechas relativamente aos ensaios de flexão em três pontos.

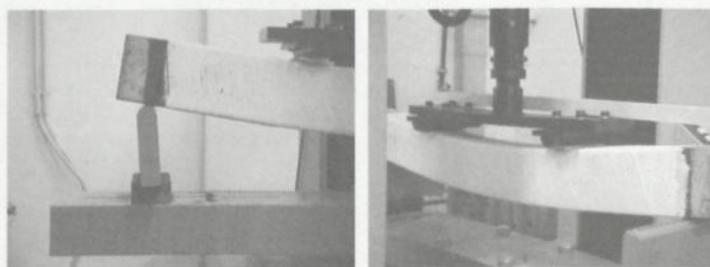


Figura 12: Pormenores da deformação verificada na estrutura de apoio e carregamento.

6 Conclusões

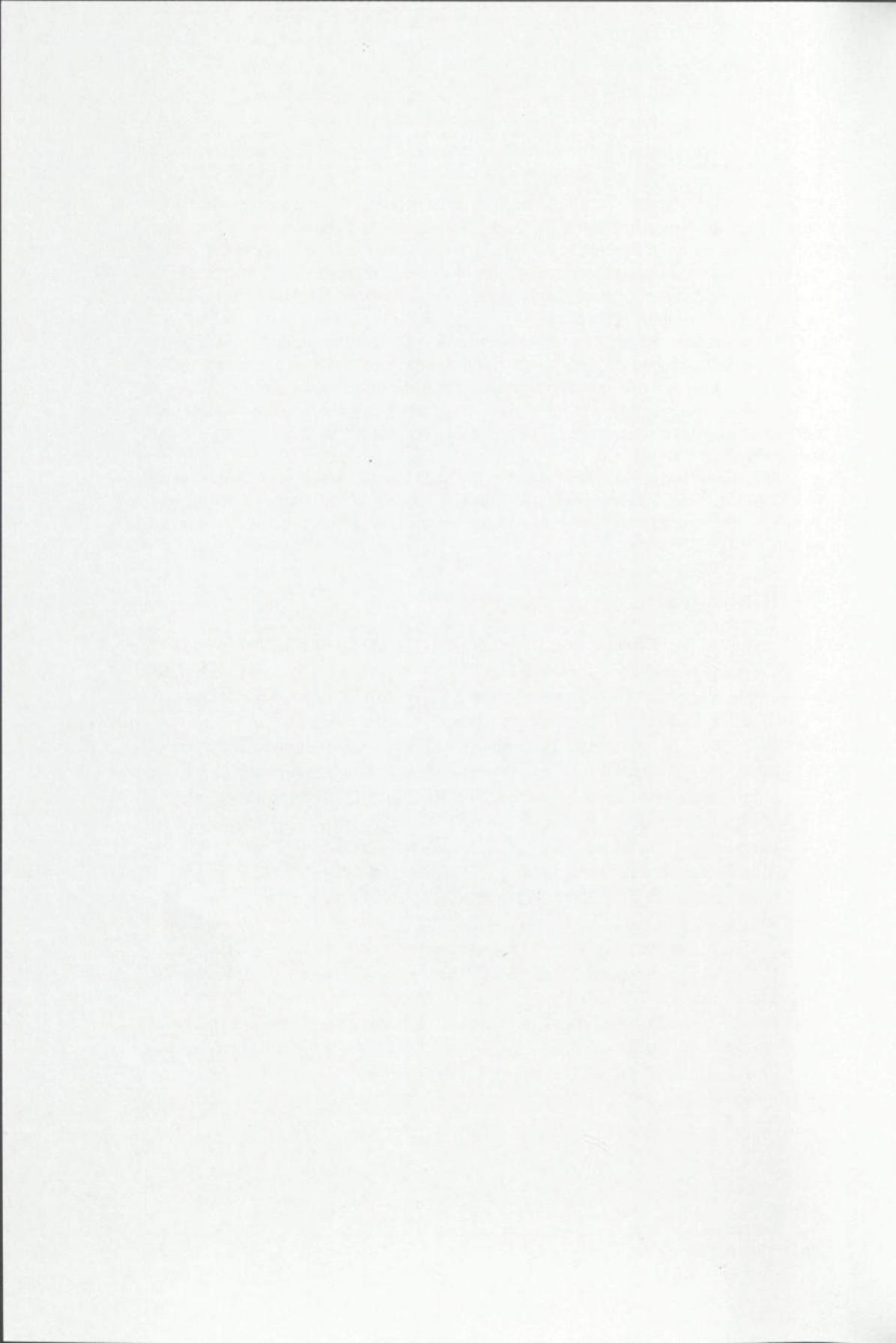
O sistema de reforço e reabilitação com materiais compósitos de CFRP para vigas de betão armado utilizando o método de enrolamento filamentar, apresentado neste trabalho, apresenta-se como uma boa alternativa a outros sistemas comerciais de reforço, garantindo excelentes resultados em termos do acréscimo de carga admissível das vigas, assim como em termos de reabilitação de vigas bastante danificadas.

Este sistema de reforço apresenta, como particularidade, um comportamento em deformação da viga dentro dos valores usualmente previstos até ser atingido o valor máximo de carregamento, seguido de um elevado aumento da flecha entre a carga máxima e a carga de rotura (carga de rotura considerada para um abaixamento da carga resistente da viga em 10 % relativamente à carga resistente máxima).

A aplicação prática desta técnica ainda encontra actualmente algumas dificuldades na sua aplicação em estruturas porticadas. Um protótipo de uma máquina de enrolamento filamentar para ser utilizada em obra encontra-se em estudo.

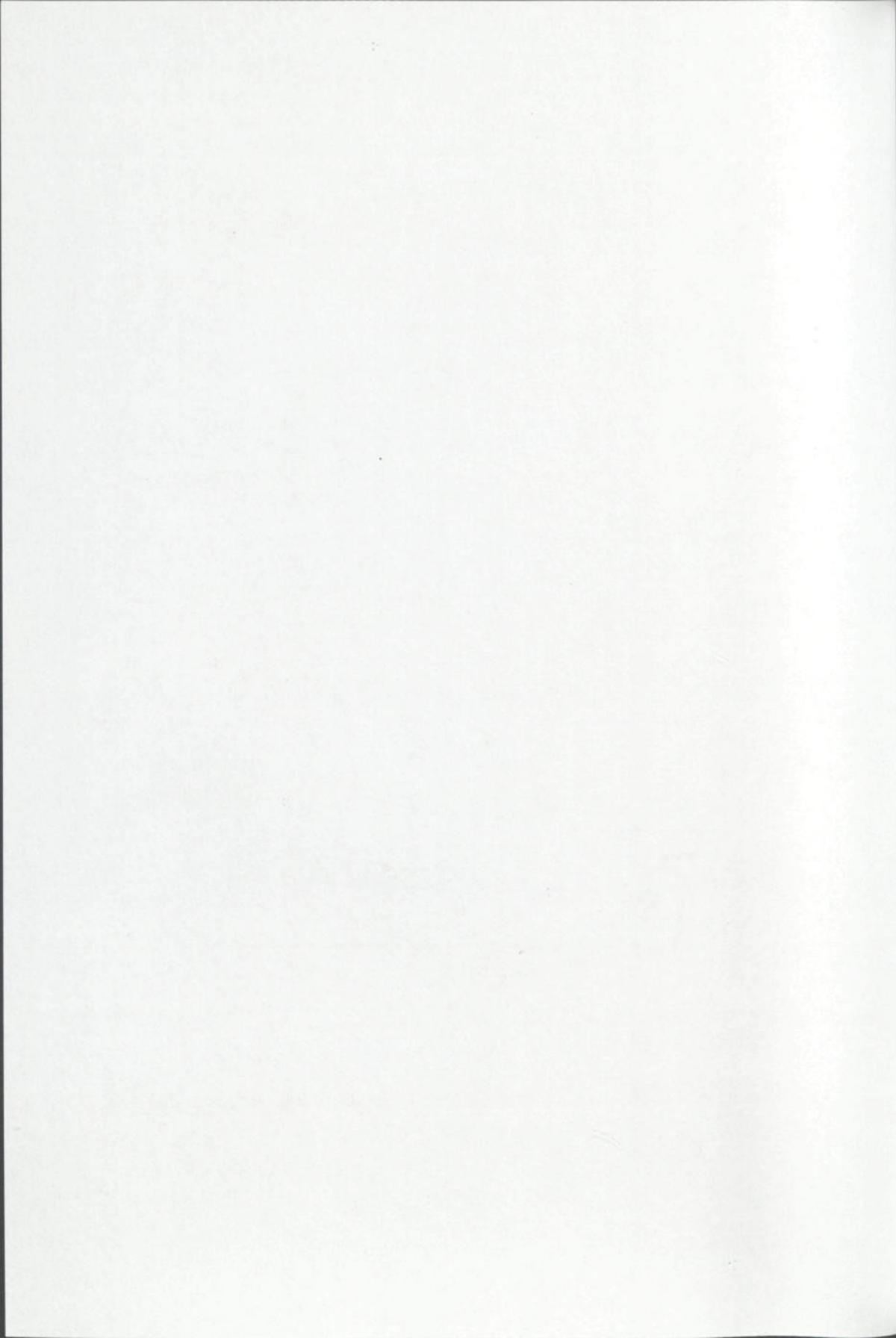
7 Bibliografia

- [1] Juvandes, L.; Esteves, J. L.; Figueiras, J. A.; Brito, F. M.; Marques, A. T. *Characterisation of composite materials and adhesion Systems to be Used in the Reinforced of Concrete Beams*, NEW TECH, New Technologies in Structural Engineering, LNEC, Lisboa, Portugal, 1997.
- [2] Dias, S. J. E.; Juvandes, L.; Figueiras, J. *Comportamento de Faixas de Laje reforçadas com sistemas compósitos de CFRP unidireccional*, Encontro Nacional Sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas, REPAR 2000, LNEC, Lisboa, Portugal, 2000.
- [3] Esteves, J. L. & Marques, A. T. *Development of CFRP Flat Bar for the Rehabilitation and Strengthening of Buildings and Bridges*, Composites in Constructions – CCC2001, Porto, Portugal, 2001.
- [4] Vieira, P.; Loureiro, N. C.; Esteves, J. L.; Marques, A. T. *Strengthening and Reinforcement of concrete beams by the application of CFRP using the Filament Winding Method*, 10th European Conference of Composite Materials-ECCM10, Brouges, Bélgica, 2002.
- [5] Loureiro, N. C.; Esteves, J. L.; Lino, J. L. *Comportamento e dimensionamento de estruturas de betão reforçadas com CFRP*, Projecto de Fim de curso, DEMEGI- FEUP, Porto, Portugal, 2002.





SESSÃO V



PATOLOGIA EM REVESTIMENTOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE COBERTURAS FIXADOS MECANICAMENTE

Jorge M. Grandão Lopes*
Correio electrónico: glopes@lnec.pt

Resumo

Em Portugal é corrente a utilização em coberturas em terraço de sistemas de impermeabilização aderentes, independentes e semi-aderentes, de acordo com a forma da sua ligação ao suporte. No entanto, tem-se também vindo a vulgarizar o uso de outra forma de ligação destes sistemas ao suporte, a designada fixação mecânica. Por apresentarem algumas particularidades, têm surgido anomalias neste tipo de sistemas distintas das que se manifestam nas soluções de revestimentos de impermeabilização com as outras formas de ligação ao suporte. Assim, convém conhecer e evitar esse tipo de patologia, já que ela é muitas vezes motivo de infiltrações de água para o interior de espaços ocupados, as quais têm as consequências por demais conhecidas. O texto que seguidamente se apresenta procura evidenciar fundamentalmente os principais parâmetros a ter em conta na concepção deste tipo de sistemas de impermeabilização de modo a evitar a ocorrência de tais anomalias específicas; essas anomalias são também, evidentemente, mencionadas neste texto.

Palavras-chave: Coberturas, Concepção, Fixações mecânicas, Impermeabilização, Patologia, Terraço.

1 Generalidades

Entende-se por sistema de impermeabilização fixado mecanicamente o tipo de sistema que utiliza peças específicas para o solidarizar à estrutura resistente, tendo essas peças como função principal garantir a estabilidade do revestimento de impermeabilização para as acções do vento sobre a cobertura. Estas peças poderão ainda contribuir para a fixação das camadas subjacentes da cobertura, nomeadamente da camada de isolamento térmico e da barreira ao vapor. As peças actualmente conhecidas são de natureza metálica ou de plástico e permitem basicamente definir duas formas de solidarização: as designadas

* Investigador Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) - Departamento de Edifícios (DED).

fixação mecânica pontual e fixação mecânica linear. Nas Figuras 1 e 2 representam-se esquematicamente estes dois processos de fixação mecânica de sistemas de camada única. No primeiro caso (Figura 1) a fixação do revestimento é feita, conforme o nome indica, por pontos, utilizando parafusos e anilhas (metálicas ou de plástico, como se referiu) ou pregos (no caso de fixações a estruturas e madeira); assim as forças de aperto são transmitidas ao suporte apenas nos locais onde foram colocadas tais peças de fixação. No segundo caso (Figura 2), a transmissão dessas forças de aperto ao suporte, pelos parafusos e anilhas, é feita por intermédio duma barra rígida, sendo assim tal transmissão realizada duma forma linear e mais ou menos uniforme ao longo da barra.

Conforme se observa das Figuras 1 e 2, entre o revestimento de impermeabilização e o suporte isolante foi colocada uma camada de dessolidarização. Essa camada pode apenas funcionar como tal quando haja, por exemplo, incompatibilidade química entre os materiais do revestimento e do isolamento térmico, mas pode ter ainda a função de garantir o mais possível que a transmissão das forças de aperto ao suporte seja feita através de toda a superfície das anilhas (no caso de fixações pontuais) ou das barras rígidas (no caso das fixações lineares). A contribuição daquela camada para esta última função é tanto mais importante quanto mais rígido for o suporte do revestimento de impermeabilização ou mais irregularidades ele apresentar.

Especialmente no processo de fixação pontual utilizado nas situações correntes de coberturas em terraço, as respectivas peças de fixação são geralmente colocadas na faixa correspondente às juntas de sobreposição das membranas (Figura 1). No entanto, essas fixações pontuais e as lineares podem ser colocadas fora dessas juntas, devendo nestes casos ser sempre recobertas por uma banda da membrana utilizada no respectivo sistema impermeabilizante (Figuras 2 e 3), ou por outra membrana, no caso de sistemas de dupla camada (Figura 4).

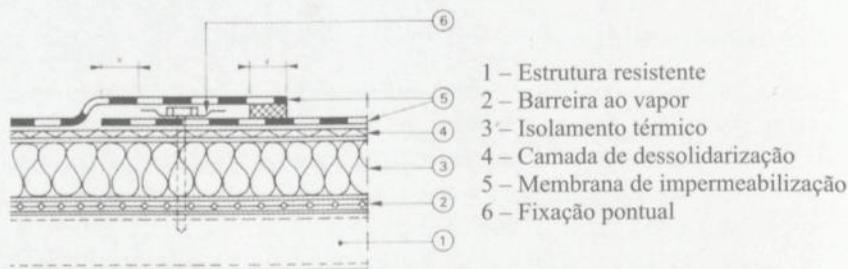


Figura 1: Fixação mecânica pontual dum sistema de impermeabilização de camada única [5].

Quando os sistemas são formados por duas ou mais membranas, as peças de fixação podem também ser colocadas, evidentemente, nas juntas de sobreposição da primeira membrana do sistema (Figura 5).

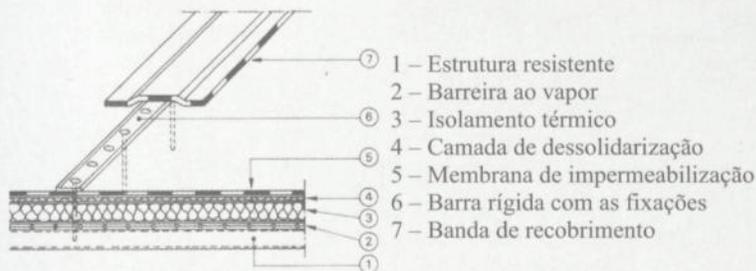


Figura 2: Fixação mecânica linear dum sistema de impermeabilização de camada única [5].

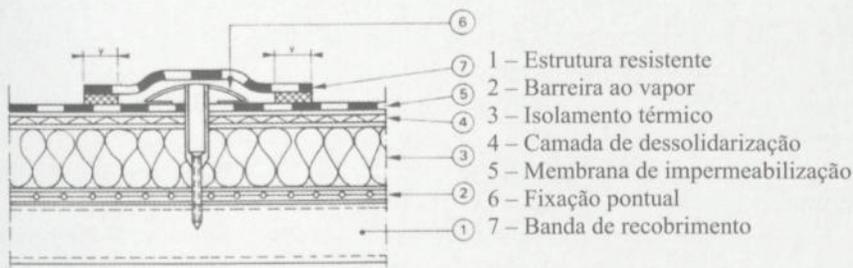


Figura 3: Fixação mecânica pontual colocada na zona corrente da cobertura [5].

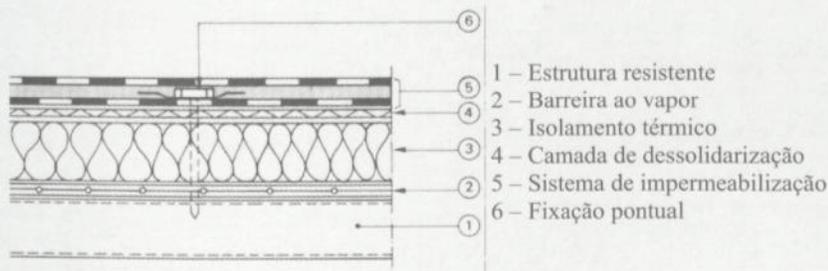


Figura 4: Fixação mecânica pontual, dum sistema de dupla camada, colocada na zona corrente da cobertura [5].

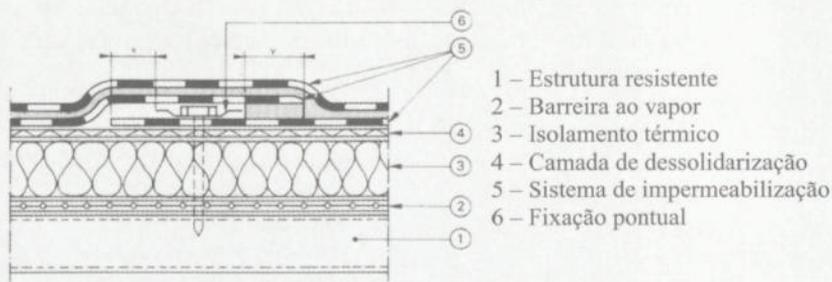


Figura 5: Fixação mecânica pontual, dum sistema de dupla camada, colocada na junta de sobreposição da primeira camada [5].

Existem ainda sistemas, do tipo do indicado na Figura 6, que poderemos também considerar como fixados mecanicamente, onde, ao contrário dos restantes, nenhuma das membranas desses sistemas é perfurada pela respectiva peça de fixação. A ligação do sistema à estrutura resistente é garantida pela colagem da primeira membrana (no caso dos sistemas com mais de uma camada) à superfície das anilhas das peças de fixação.

Qualquer dos processos de fixação mencionado pode ser usado em sistemas de impermeabilização formados por membranas sintéticas ou por membranas betuminosas, sendo em Portugal mais corrente usá-los, segundo se julga, com o primeiro tipo daquelas membranas [1, 2].

Qualquer que seja a natureza das membranas (betuminosas ou sintéticas), este processo de fixação é bastante vocacionado para sistemas de impermeabilização de camada única, sendo os sistemas formados por dupla camada especialmente constituídos, senão sempre, por membranas betuminosas.

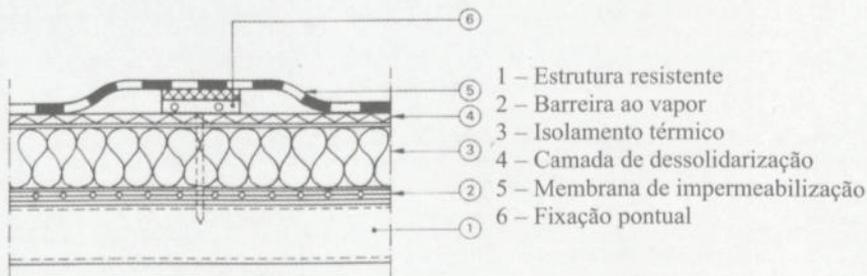


Figura 6: Sistema de camada única colado à anilha da peça de fixação mecânica [5].

2 Acções nas Coberturas em Terraço

Tratando-se de sistemas vocacionados para serem utilizados sem qualquer tipo de protecção pesada (por exemplo, betonilha, lajetas de sombreamento, calhau rolado), as acções mais significativas que sobre os mesmos se exercem são as devidas às sucções do vento. De acordo com a regulamentação em vigor [3, 4] as pressões são consideradas, como é sabido, actuando perpendicularmente à superfície aparente da cobertura, tendo sempre, aliás, no caso de coberturas em terraço, o sentido ascendente.

Para além da localização do edifício, da altura a que se encontra do solo a respectiva cobertura e da zona da mesma onde a acção do vento se faz sentir, neste tipo de sistemas fixados mecanicamente o grau de estanquidade ao ar da estrutura resistente assume particular importância nos valores dos esforços gerados nos elementos e camadas da cobertura (peças de fixação, suporte isolante e membrana ou membranas). Assim, este é um dos parâmetros a ter em conta na sua concepção.

Estruturas estanques ao ar são as que são formadas por lajes contínuas de betão armado (maciças ou aligeiradas), ou outras similares, sendo esta estanquidade francamente mais reduzida no caso de estruturas resistentes constituídas por elementos descontínuos, como acontece com as chapas metálicas nervuradas ou com as pranchas de madeira ou seus derivados. Note-se que a presença de uma barreira ao vapor contribui bastante para o aumento da estanquidade ao ar destas últimas estruturas.

Existem actualmente dois documentos, para cuja preparação o LNEC contribuiu, que servem de base à avaliação do desempenho de sistemas de impermeabilização de coberturas fixados mecanicamente [5, 6], nomeadamente em estudos de homologação.

3 Patologia Corrente em Sistemas Fixos Mecanicamente

3.1 Generalidades

Face às acções correntes a que ficam sujeitos os sistemas de impermeabilização fixados mecanicamente, são as seguintes as zonas ou os elementos do sistema onde geralmente ocorrerem anomalias:

- a) Ligação revestimento/peças de fixação;
- b) Peças de fixação;
- c) Ligação peça de fixação/estrutura resistente;
- d) Junta de sobreposição do revestimento.

Nos capítulos seguintes procurar-se-á dar algumas indicações sobre os parâmetros fundamentais a ter em conta na concepção e aplicação de sistemas de impermeabilização deste tipo para que as anomalias que mais detalhadamente a seguir se registam não ocorram ou se minimize a sua ocorrência.

3.2 Descrição das anomalias

3.2.1 Anomalias na zona de ligação revestimento/peças de fixação

Nas zonas circundantes das peças de fixação mecânica, o padrão de anomalias correntemente verificado é o seguinte:

- rasgamento do revestimento de impermeabilização junto às peças de fixação mecânica;
- arrancamento do revestimento sobre a cabeça das peças de fixação;
- perfuração do revestimento por acção de punçoamento da peça de fixação.

O segundo tipo de anomalia é típico de sistemas colados às anilhas das peças de fixação (Figura 6).

A terceira das anomalias indicadas pode verificar-se sob a acção de cargas permanentes ou de sobrecargas sobre a cobertura (por exemplo, a permanência de pessoas em trabalhos de reparação), quando forem demasiadamente compressíveis os suportes isolantes subjacentes. Essas cargas ao provocarem a deformação das placas isolantes nas zonas adjacentes das peças de fixação fazem com que estas peças, que se mantêm amovíveis, exerçam acções de punçoamento sobre o revestimento sobrejacente superiores à sua capacidade resistente. Ainda quando a acção das cargas ou sobrecargas mencionadas está presente, este tipo de anomalia pode também observar-se quando tenha ocorrido um desenroscamento das peças de fixação.

3.2.2 Anomalias nas peças de fixação

Nas peças de fixação são os seguintes os casos correntes de anomalias que nelas se podem verificar:

- rotura da peça por tracção, corte, flexão ou compressão;
- rotura na secção de ligação da anilha à espiga (de parafusos) da peça de fixação;
- rotura da espiga (de parafusos) da peça de fixação.

3.2.3 Anomalias na zona de ligação peça de fixação/estrutura resistente

Na zona de ligação da peça de fixação mecânica à estrutura resistente podem ocorrer os seguintes casos anómalos:

- arrancamento da peça de fixação da estrutura resistente;

— desenroscamento da peça de fixação da estrutura resistente.

3.2.4 Junta de sobreposição do revestimento

Nas juntas de sobreposição das membranas, a anomalia típica, para certos tipos de soluções de fixação do sistema de impermeabilização, é a pelagem na zona de soldadura ou de colagem das membranas entre si.

4 Esforços Desenvolvidos nos Elementos do Sistema

Os esforços gerados nos elementos constituintes do sistema de impermeabilização variam consoante o respectivo processo de fixação (vd. 1). Faz-se referência de seguida aos principais esforços que são gerados no tipo de sistema que parece ser o mais correntemente utilizado em Portugal. Trata-se do sistema de camada única ligado mecanicamente à estrutura resistente com peças de fixação pontual colocadas nas juntas de sobreposição das membranas. Este sistema é também um daqueles em que a peça de fixação pode ficar sujeita a uma força excêntrica relativamente ao seu eixo. Na Figura 7 apresenta-se um esquema da deformação-tipo dum zona central do sistema referido, numa secção transversal perpendicular às juntas de sobreposição longitudinais.

Como é natural, devido à acção do vento vão gerar-se esforços na estrutura resistente, nas peças de fixação, na camada de isolamento térmico (quando exista) e na membrana de impermeabilização. Podem considerar-se desprezáveis ou de consequências irrelevantes, os esforços gerados em eventuais camadas de regularização, de dessolidarização da membrana do suporte ou em barreiras ao vapor.

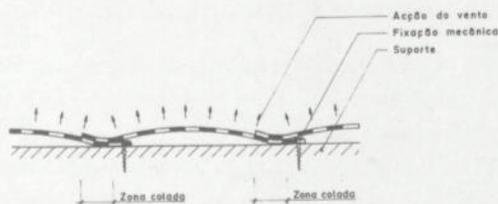


Figura 7: Deformação típica dum sistema fixado mecanicamente devido à acção do vento [7].

Para servir de base à análise dos esforços que se podem gerar no tipo de sistema mencionado e esquematizado na Figura 7, representam-se na Figura 8 as forças em jogo transmitidas ao vários elementos do sistema.

Conforme se verifica dessa figura, a resultante da acção do vento, w , introduz esforços de tracção, N_i , na membrana e um momento na peça de fixação, que tende a rodá-la. As forças N_i nas membranas, dos dois lados da junta de

sobreposição, tendem a romper essa junta por efeito de esforços de pelagem que se geram na respectiva superfície de ligação das membranas.

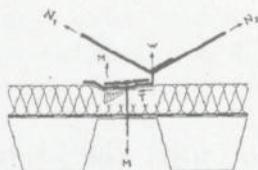


Figura 8: Distribuição das forças pelos elementos dum sistema fixado mecanicamente devidas à sucção do vento.

Devido à excentricidade da resultante da acção do vento, a peça de fixação fica sujeita a um momento que é equilibrado pelas forças M de tracção na espiga do parafuso ou do prego e de compressão sobre o camada do suporte. Essa força M tende a desenroscar a peça de fixação da estrutura resistente, devido aos efeitos dinâmicos continuados da acção do vento, ou mesmo à rotura dessa ligação por arrancamento. A compressão exercida pela anilha da peça de fixação mecânica sobre o suporte, cuja resultante tem o mesmo valor M , pode dar origem a deformações acentuadas desse suporte, caso seja elevada a sua compressibilidade.

Embora geralmente com efeitos menos relevantes, devem ter-se ainda em conta as tensões de corte que se manifestam na espiga dos parafusos ou do prego da fixação mecânica em questão.

5 Parâmetros Para a Concepção de Sistemas

Face ao exposto anteriormente, facilmente se identificam as principais características a exigir aos materiais que constituem os sistemas de impermeabilização de coberturas fixados mecanicamente.

Do ponto de vista das membranas, as características em tracção e a resistência ao rasgamento são as mais importantes para as aplicações em análise. Esta última é influenciada pela distância a que é colocada a peça de fixação do bordo dessa membrana. Assim, este aspecto é particularmente importante para os sistemas indicados nas Figuras 1 e 5, já que correspondem àqueles cujas peças de fixação se encontram mais próximas dos bordos da membrana fixada à estrutura resistente. As resistências à tracção e ao rasgamento das membranas são francamente influenciadas pelo tipo de armaduras utilizadas na sua constituição, sendo as de poliéster ou de fibra de vidro tecidas as que têm sido mais usadas com sucesso em membranas deste tipo de sistemas.

Relativamente às juntas de sobreposição das membranas, o seu desempenho em obra, para concepções satisfatórias do sistema, costuma ser fundamen-

talmente dependente das respectivas condições de aplicação. Ao nível da concepção, devem entretanto definir-se adequadamente as principais características dessas juntas. A largura da zona colada ou soldada da junta é uma dessas características, condicionando o seu valor a largura da banda de sobreposição das mesmas. Mas, são de facto os cuidados tidos durante a aplicação dos produtos de colagem na zona a colar ou a qualidade da soldadura realizada que, como se disse, afecta fundamentalmente nesta zona o desempenho do sistema sob a acção das sucções do vento. A falta de limpeza e a presença de teores de humidade superiores aos recomendados na superfície a soldar ou a colar, a temperatura inapropriada da soldadura e a velocidade relativamente elevada ou reduzida dos aparelhos de soldadura são os principais factores, relacionados com a aplicação das membranas respectivas, que geralmente afectam o desempenho dos sistemas em questão.

Sob o ponto de vista dos suportes do sistema, é importante ter em conta, para além doutras características, a sua compressibilidade. Como se observa da Figura 8, o momento existente na zona da peça de fixação pode produzir o esmagamento localizado do suporte subjacente, por efeito da rotação dessa peça. Uma compressibilidade elevada desse suporte pode mesmo originar a rotura da peça de fixação, nomeadamente na secção do liso da espiga (no caso de parafusos) junto à anilha.

Ainda em relação às peças de fixação, interessa referir que a resistência à tracção é uma das principais características a considerar na concepção destes sistemas de impermeabilização. Note-se que estas resistências são fortemente influenciadas, no caso das peças metálicas, pelo nível de protecção das suas superfícies contra os agentes de corrosão.

Por último, a estrutura resistente, associada evidentemente às peças de fixação, tem também um dos principais papéis na garantia da estabilidade destes sistemas. Para além do já referido efeito da estanquidade ao ar dessa estrutura nos valores das acções sobre o sistema, a espessura das chapas metálicas e o tipo de betão ou de madeira, para estruturas resistentes com estes materiais, são outras das características a realçar na concepção dos sistemas em estudo. Note-se que a adopção de chapas metálicas de reduzida espessura pode mais facilmente conduzir ao desenroscamento das peças de fixação mecânica ou mesmo ao seu arrancamento, devido ao aumento progressivo da secção do orifício onde está inserida essa peça; entregas ou amarrações demasiados reduzidas destas peças nas estruturas de betão ou de madeira, terão para estes casos o mesmo tipo de efeitos. Chama-se a atenção, por exemplo, para o estudo adequado que deve ser feito para definir a amarração dessas peças em betões leves (betões celulares ou betões de inertes leves), cujas resistências ao arrancamento são em geral mais fracas que as verificadas em betões ou betonilhas normais.

6 · Conclusões

A minimização do risco de ocorrência de anomalias em sistemas de impermeabilização de coberturas fixados mecanicamente começa, como aliás acontece com todas as soluções adoptadas na construção ou noutros domínios de actividade, pela correcta definição desse sistema ao nível do projecto. Assim, na concepção deve atender-se ao grau de estanquidade ao ar da estrutura resistente, que é para alguns casos também condicionada pela presença duma barreira ao vapor, às características de compressibilidade dos painéis da camada de isolamento térmico, às resistências mecânicas das membranas atravessadas pelas peças de fixação, especialmente a sua resistência ao rasgamento, a resistência das juntas de sobreposição dessas membranas à pelagem e à tracção-corte, para certos tipos de sistemas, e as resistências mecânicas das peças de fixação. A entrega ou amarração dessas peças às estruturas resistentes de betão ou madeira e a saliência dos parafusos da superfície inferior de chapas metálicas são outros parâmetros a não esquecer. Devem ainda ter-se em conta as características de resistência ao arrancamento dos materiais que constituam a estrutura resistente, limitando a espessura das chapas metálicas a valores mínimos aceitáveis.

7 Bibliografia

- [1] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), *Revestimentos de impermeabilização de coberturas SIKAPLAN PVC 12G, 15G*. Lisboa, LNEC, 1998. Documento de Homologação DH 554.
- [2] Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), *Revestimentos de impermeabilização de coberturas ALKORPLAN 35276*. Lisboa, LNEC, 2000. Documento de Homologação DH 610.
- [3] European Committee for Standardisation (CEN), *Eurocode 1: Basis of design and actions on structures. Part 2-4: Actions on structures: Wind loads*. Brussels, CEN, 1995. ENV 1991-2-4.
- [4] /P/ - Leis, decretos – *Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes*. Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio.
- [5] Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction (UEAtc), *Guide technique complémentaire UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement*. Paris, UEAtc, avril 1991.
- [6] European Organisation for Technical Approvals (EOTA), *Systems of mechanically fastened flexible roof waterproofing membranes*. Brussels, EOTA, 2000. ETAG 006.
- [7] Lopes, J. Grandão, *Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço*. Lisboa, LNEC, 1994. ITE 33.

DEFEITOS DE CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DE COBERTURAS DE TELHA CERÂMICA

Casos de Estudo

J. A. R. Mendes da Silva*

Correio electrónico: raimundo@dec.uc.pt

Vitor Abrantes†

Correio electrónico: abranes@fe.up.pt

Romeu S. Vicente‡

Correio electrónico: romvic@civil.ua.pt

Resumo

O presente artigo apresenta diversos casos de obra em que não foram salvaguardadas elementares preocupações em termos de concepção e execução de coberturas de telha cerâmica, comentando as consequências desses defeitos, sublinhando as medidas que deveriam ter sido tomadas para que tal não tivesse sucedido e, ainda, as estratégias de reabilitação a adoptar. Apresenta, também, de forma mais sucinta, algumas situações de patologia decorrentes da falta de qualidade das telhas ou materiais complementares e da falta de manutenção das coberturas.

Palavras-chave: Coberturas, Telha cerâmica, Patologia, Reabilitação.

1 Introdução

As coberturas são um elemento construtivo fundamental na protecção dos edifícios contra a chuva, pelo que os seus defeitos representam sempre um risco de patologia para o edifício.

Até meados do século XX as coberturas inclinadas de telha cerâmica foram dominantes em Portugal para todo o tipo de edifícios. Apesar de nas últimas

* Prof. Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Laboratório de Construções.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Secção de Construções.

‡ Assistente da Secção autónoma de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.

décadas se ter assistido a um aumento muito significativo na utilização das coberturas planas — nas suas mais diversas variantes — com total domínio no caso dos edifícios altos e das grandes superfícies, ainda subsiste a construção intensa de coberturas inclinadas de telha cerâmica, em particular para edifícios de pequeno e médio porte, não só por questões relacionadas com a tradição arquitectónica e construtiva, como também pela baixa tecnologia exigida para a sua execução, baixo custo, versatilidade, facilidade de manutenção e expectativa de durabilidade. Não pode considerar-se alheia a esta realidade a ocorrência frequente de casos de patologia grave das coberturas planas, com significativas dificuldades de diagnóstico e reparação.

Na construção de coberturas inclinadas em telha cerâmica pode fazer-se uso de um complexo sistema de peças cerâmicas, fabricadas com o objectivo de satisfazer as exigências dos diversos pontos singulares, e ainda de acessórios complementares não cerâmicos destinados a melhorar as condições de estabilidade e estanquidade.

O mercado nacional dispõe, quer de fábricas tradicionais, quer de fábricas recentes com tecnologia de ponta, e disponibiliza vários tipos de telhas com diversas geometrias, texturas e cor. Estes sistemas de cobertura só são eficazes e duráveis se for garantido o rigor e a qualidade da concepção, dos materiais, da execução e da manutenção.

2 Principais Exigências das Coberturas Inclinadas

Na concepção de uma cobertura em telha cerâmica há que definir exigências ao nível dos materiais constituintes — telha cerâmica, argamassa, grampos, materiais de suporte e fixação, acessórios, etc. — e exigências ao nível do funcionamento global do telhado e da cobertura.

Os diversos materiais utilizados têm sido progressivamente objecto de normalização nacional e europeia (cuja aplicação é dificultada, por vezes, por um certo carácter regional que estes materiais sempre apresentam) e muitas das produções nacionais de telha estão já certificadas.

Para o funcionamento da cobertura no seu conjunto as principais exigências funcionais são:

- Estanquidade à água;
- Susceptibilidade de condensações;
- Comportamento sob acção do gelo;
- Permeabilidade ao ar;
- Isolamento térmico;
- Comportamento mecânico;

- Comportamento sob acção do vento;
- Estanquidade aos materiais em suspensão no ar;
- Isolamento sonoro;
- Exigências geométricas e de estabilidade dimensional;
- Uniformidade de aspecto;
- Reacção ao fogo;
- Resistência aos agentes químicos;
- Economia, durabilidade e facilidade de manutenção e reparação.

De entre estas exigências assumem um papel fundamental o comportamento mecânico, a estanquidade à água, o comportamento térmico e a durabilidade, entre as quais nem sempre é fácil estabelecer uma hierarquia em termos de importância. No que diz respeito à contribuição da telha cerâmica para o desempenho da cobertura, é iniludível que a estanquidade à água e a estabilidade sob a acção do vento e da gravidade ou de outras eventuais acções mecânicas são os aspectos mais relevantes.

3 Defeitos das Coberturas de Telha Cerâmica

As consequências mais temíveis resultantes de anomalias dos telhados de telha cerâmica, quer individualmente, quer associados entre si, são as seguintes:

- Infiltrações (perda de estanquidade à água);
- Arrancamento sob acção do vento;
- Deslizamento e queda;
- Degradação do aspecto;
- Degradação precoce do material.

Os diversos defeitos conhecidos acabam sempre por ter como resultado uma das consequências atrás referidas. Naturalmente, algumas consequências são, elas próprias, causas de nova degradação ou disfunção.

Na Tabela 1 identificam-se, com maior detalhe, eventuais defeitos das coberturas, associando cada um deles à sua origem mais provável ou significativa: concepção, execução, serviço ou qualidade dos materiais. Como adiante se discute, existe uma grande interdependência entre estas quatro origens. Muitos dos defeitos podem ser associados, em simultâneo, às fases de concepção e de execução, nomeadamente os que resultam da omissão de pormenores em

projecto. Na realidade são defeitos de concepção, em sentido lato, mas poderiam, eventualmente, ter sido supridos por uma execução cuidada e criteriosa.

Consideram-se defeitos em serviço, que englobam os defeitos de utilização, aqueles que se traduzem em alteração do estado da cobertura durante a sua vida útil, sem relação causal evidente com as fases de concepção e execução. No limite, poderíamos sempre dizer que essas fases anteriores poderiam ter prevenido as situações de uso, potencialmente nocivas.

Tabela 1: Principais defeitos das coberturas de telha cerâmica e sua origem.

Defeitos	Origem			
	Concepção	Execução	Materiais	Uso
Geometria incompatível com o sistema (cobertura de telha cerâmica)	(1)			
Falta de pormenorização de pontos singulares	(1)			
Falta de especificações técnicas para materiais e execução	(1)			
Falta de resistência, contra-ventamento ou rigidez do suporte	(1)	(2)	(3)	
Inclinação excessiva ou insuficiente da cobertura	(1)			
Remates inadequados contra elementos construtivos emergentes	(2)	(1)		
Remates ou fixações inadequadas em bordos livres	(2)	(1)		
Incumprimento do projecto		(2)		
Encaixe das telhas incorrecto		(1)	(2)	
Sobreposição das telhas por excesso ou por defeito		(1)		
Utilização inadequada de acessórios cerâmicos	(2)	(1)		
Uso inadequado ou falta de qualidade de acessórios não cerâmicos		(1)		
Desalinhamento das fiadas de telhas		(1)		
Aplicação de argamassa em excesso (cumeeiras e rincões)		(1)		
Fracturas da telha, na capa, no canal, e nas nervuras, rebordos e encaixes		(3)	(2)	(1)
Acumulação de musgos e detritos				(1)
Drenagem insuficiente (fraca inclinação e secção de calceiras)	(1)			
Descasque por acção do gelo		(2)	(1)	
Deslocamento ou escorregamento das telhas	(1)	(2)		
Falta de ventilação da face inferior das telhas	(2)	(1)		
Colocação incorrecta ou ausência da barreira pára-vapor	(1)	(2)		
Colocação incorrecta do isolamento térmico	(2)	(1)		
Degradação precoce dos materiais			(1)	(2)
Diferenças de tonalidade			(1)	
(1), (2), (3) — Ordenação da maior para a menor probabilidade de origem do defeito.				

4 Exemplos Comentados de Defeitos das Coberturas de Telha Cerâmica (Casos de Estudo)

4.1 Enquadramento

São inúmeros os exemplos reais de defeitos em todos os tipos de telhados, alguns dos quais facilmente evitáveis com pequenas precauções nas diversas fases do processo construtivo. Não é intenção desta comunicação ilustrar todos os defeitos identificados na Tabela 1. Deste modo, seleccionaram-se, a título de exemplo, quatro grupos de situações de patologia:

- Degradações frequentes em telhados de edifícios históricos;
- Geometria inadequada ao sistema de cobertura em telha cerâmica;
- Pontos singulares mal concebidos ou mal executados;
- Deficiência de apoio de alvenaria e elementos prefabricados, numa cobertura corrente de telha cerâmica (caso de estudo).

Os grupos de defeitos apresentados não têm, por agora, fundamentação estatística conhecida em Portugal.

4.2 Degradações frequentes em telhados de edifícios históricos

A designação usada em título (*edifícios históricos*) é vaga e pouco correcta do ponto de vista formal, mas permite agrupar um vasto conjunto de edifícios que têm em comum, com frequência, diversas características: valor patrimonial elevado, revestimento em telha canudo (com canal e capa distintos e sem nervuras de encaixe) e reduzidas acções de manutenção.

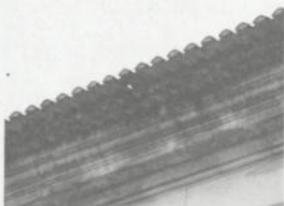
Os defeitos mais comuns a estas coberturas são os seguintes: degradação das estruturas de madeira, com deformações progressivas significativas e apodrecimento de elementos da estrutura primária (asnas e madres) e da estrutura secundária (varas e ripas), fractura de telhas (face à sua natural degradação com o tempo e à circulação de pessoas para acções de manutenção), acumulação de lixo e vegetação e deslocamento (ou deslizamento) de telhas sob a acção do vento e sob acção da gravidade (em particular nas coberturas mais inclinadas). As infiltrações são frequentes.

A reabilitação destas coberturas dificilmente pode ser parcial e implica, em geral, o levantamento global do telhado, reparação, reforço ou substituição dos elementos estruturais (incluindo tratamentos de preservação das madeiras), substituição e realinhamento da estrutura secundária de apoio, colocação de subtelha, limpeza e escolha das telhas a reutilizar, fabrico de telhas para subs-

tituição parcial e recolocação do telhado com reconstrução de todos os pontos singulares (beirais, cumeeiras, rufos, etc.).



Deformação excessiva ou ruína parcial da estrutura de apoio e seu efeito sobre o telhado.



Telhado sem conservação ou limpeza, com beirais deteriorados e ineficazes.



Pormenor de transição entre águas consecutivas com soluções de recurso, muito degradadas e com total ineficácia.



Telhado muito inclinado argamassado e com grampos, submetido a uma reparação local da pior qualidade.



Degradação da telha canudo (capa e caleira) e falta de limpeza e manutenção.

Figura 1: Ilustração de defeitos em coberturas de edifícios históricos.

A reabilitação destas coberturas encontra dificuldades frequentes, que são agravadas nas situações de reparação parcial: dificuldade em realinhar integralmente a estrutura de apoio face às deformações acumuladas (que muitas vezes são inócuas do ponto de vista da segurança estrutural), dificuldade em remover e substituir argamassas de fixação (ou grampos metálicos) de capas, caleiras e cumeeiras sem degradação da telha, dificuldade de limpeza (escovagem) sem fragilização das telhas; dificuldade em conciliar a cor e estereotomia do telhado com a introdução de lotes de telha nova e, ainda, dificuldade em fabricar telha com dimensões e geometria compatíveis com as existentes.

Na Figura 1, apresentam-se algumas fotografias de coberturas de edifícios com carácter histórico, que ilustram algumas destas situações. As fotografias são acompanhadas de uma breve legenda/comentário que não abrange, naturalmente, a explicação de todos os fenómenos que lhe estão subjacentes.

4.3 Geometria inadequada ao sistema de cobertura em telha cerâmica

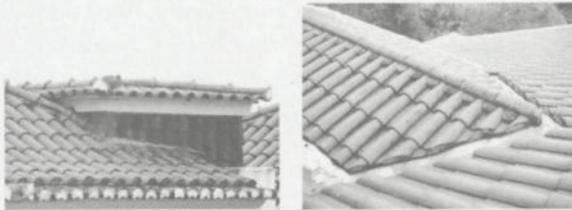
As coberturas de telha cerâmica têm uma grande versatilidade, como se tem demonstrado ao longo dos anos. No entanto, também existem limitações que, por vezes, podem ser ultrapassadas com recursos a novos materiais complementares, cuja utilização deve ser criteriosa. Algumas soluções geométricas são, no entanto favoráveis à utilização das soluções correntes de telha cerâmica, nomeadamente com os materiais e tecnologias correntes em Portugal. Estão nestas condições coberturas de baixa inclinação ou excessivamente inclinadas, coberturas sobre corpos redondos ou com planos de apoio não plano, coberturas com muitos recortes e pequeno desenvolvimento, em termos de área, de cada água parcial. Na Figura 2, ilustram-se algumas destas situações.

4.4 Pontos singulares mal concebidos ou mal executados

Os pontos singulares das coberturas de telha cerâmica são geralmente omissos no projecto e, em obra, são resolvidos à custa da maior ou menor experiência e habilidade do operário. É, pois, facilmente explicável que sejam os pontos singulares, as principais fontes de infiltração das coberturas. A bibliografia da especialidade contempla já informação detalhada para os pontos singulares das coberturas, pelo que se considere urgente que a informação seja divulgada, de forma criteriosa, aos vários agentes do processo construtivo. Na Figura 3 apresentam-se fotografias de diversos pontos singulares mal executados ou ineficazes e ainda de alguns defeitos em zona corrente.

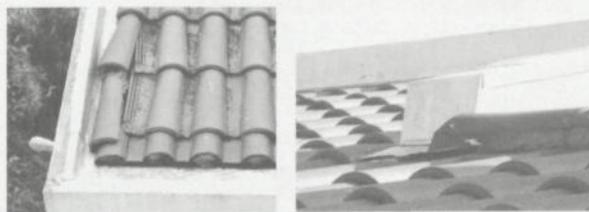


Telhado redondo e telhado muito inclinado.

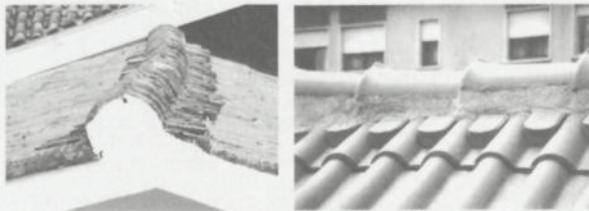


Pequenas águas, pouco inclinadas, com muitos recortes de difícil execução com acessórios adequados.

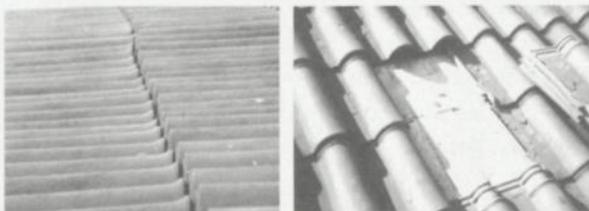
Figura 2: Ilustração de geometrias não adequada às soluções de telhado tradicionais.



Remate lateral instável, com meia telha, e conflito entre rufo e cumeeira baixa.



Cumeeira totalmente desalinhada e cumeeira com excesso de argamassa.



Fiada desalinhada e telha assente directamente sobre o isolante térmico, sem possibilidade de ventilação.

Figura 3: Ilustração de defeitos em pontos singulares e zona corrente.

4.5 Deficiência de apoio de alvenaria, numa cobertura corrente de telha cerâmica (caso de estudo)

O apoio das coberturas inclinadas sofreu grandes transformações nos últimos anos, com particular relevo para adopção crescente de suporte contínuos em betão armado. Todavia, a utilização de suportes descontínuos — que se demonstra muito interessante do ponto de vista económico e de conforto térmico em desvãos não utilizados —, não tem encontrado soluções construtivas consensuais com o desaparecimento progressivo da madeira e a sua substituição por outros materiais. O exemplo apresentado na Figura 4 demonstra que, com os novos materiais, em princípio menos vulneráveis, nem sempre se adoptam soluções eficazes, seguras e com elevada durabilidade.



Aspecto exterior do telhado e estrutura de apoio em alvenaria e perfis de betão.



Apoio corrente das varas sobre as paredes de alvenaria e apoio instável sobre tijolo não travado.



Deslocamento de ripa, com perda do apoio da telha e escoramento de recurso das paredes.

Figura 4: Aspecto de estrutura de apoio em alvenaria, sem condições de estabilidade.

A estrutura principal da cobertura, com duas águas, é constituída por paredes longitudinais de alvenaria que não têm qualquer travamento em grande parte do seu comprimento. Não é possível considerar, do ponto de vista formal, que esteja garantida a estabilidade destas paredes, razão pela qual se pro-

cedeu ao seu escoramento, uma vez que a medida recomendável seria o seu contra-ventamento com paredes transversais, o que não é possível, face à existência de condutas de ventilação longitudinais sobre a laje de esteira.

O apoio das varas nestas paredes de alvenaria provoca tensões localizadas muito elevadas que conduziram, em muitos casos, à fissuração do tijolo, que chega a atingir toda a parede.

A amarração das varas às paredes que as suportam é muito deficiente, o que pode provocar deslizamentos, impulsos excessivos e o desalinhamento progressivo do telhado. Algumas paredes de alvenaria acabaram por fissurar ou ser parcialmente derrubadas por acção desses impulsos.

Algumas ripas não estão devidamente alinhadas ou estão deficientemente fixadas às varas, deslocando-se — com eventual risco de queda — sob qualquer pequena acção (por exemplo, ao levantar e recolocar uma telha). As ripas não são contínuas e têm comprimento igual à distância entre varas, o que dificulta a sua fixação e alinhamento.

5 Nota Final

As coberturas inclinadas de telha cerâmica em Portugal são um elemento construtivo corrente, com grande capacidade de resposta às exigências funcionais que lhe são aplicáveis, mas apresentam, actualmente, graves defeitos, com origem, sobretudo, na deficiente concepção e execução.

As explicações para este fenómeno não são evidentes, face ao carácter tradicional da solução, à informação técnica disponível e à evolução positiva do processo de certificação das telhas.

A ausência ou insuficiência de projecto, a reduzida formação específica da mão de obra, a adopção de novos materiais complementares, com desconhecimento do seu comportamento e princípios de utilização e a desadequação da geometria de algumas coberturas ao sistema em análise, poderão constituir causas principais que urge combater. Os processos de manutenção periódica e hierarquizada das coberturas, tal como dos restantes elementos construtivos dos edifícios, constituem a ferramenta adicional e imprescindível para diminuir as disfunções que actualmente se verificam.

6 Bibliografia

- [1] APPIC, CTCV e IC (FEUP). *Manual de Aplicação de Telhas Cerâmicas*. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 1998.
- [2] LNEC. *Coberturas de edifícios*. Curso de Formação Profissional – CPP 516 – Lisboa: LNEC, 1976.

DEFICIENTE COMPORTAMENTO DE COBERTURAS

Estudo de Caso

Nuno M. M. Ramos*

Correio electrónico: nuno.ramos@fe.up.pt

Vasco Peixoto de Freitas†

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

As coberturas em terraço são um dos elementos de construção mais sensíveis, dada a sua elevada exposição às solicitações climáticas e as consequências negativas de um funcionamento inadequado. Nesta comunicação apresenta-se um estudo de caso realizado no âmbito de uma peritagem requerida ao Laboratório de Física das Construções da FEUP (LFC), que teve como objecto os sistemas de impermeabilização das coberturas de um importante Centro Comercial localizado no distrito do Porto. Este texto apresenta uma caracterização do problema, as suas eventuais causas e soluções para a reparação das anomalias mais importantes.

Palavras-chave: Coberturas, Impermeabilização, Patologia, Reabilitação.

1 Introdução

O Laboratório de Física das Construções da FEUP (LFC), realizou uma peritagem ao sistema de impermeabilização das coberturas de um edifício localizado no Distrito do Porto, que apresentava infiltrações de água a partir de diferentes zonas das coberturas. A quantidade de água proveniente das infiltrações era bastante elevada, levando à deterioração de tectos falsos e destruição de produtos armazenados para venda em algumas lojas desse edifício.

A realização dessa peritagem apoiou-se em várias visitas ao local que permitiram uma avaliação da situação e recolha de imagens. Durante essas visitas

* Assistente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

foi efectuada uma recolha de testemunhos das equipas de manutenção e realizaram-se sondagens. Foi igualmente realizada uma consulta de elementos do projecto de arquitectura bem como de outros documentos relevantes.

2 Descrição das Coberturas

2.1 Tipos de cobertura analisados

O sistema de coberturas do Centro Comercial objecto deste estudo apresentava uma elevada complexidade, tendo em conta as várias soluções adoptadas na sua realização. Podiam identificar-se diversas situações diferentes, atendendo a localização, forma, sistema construtivo adoptado e tipo de utilização. Neste texto referem-se as seguintes:

- **Cobertura Tipo A:** Cobertura em terraço com suporte em betão, de acessibilidade limitada, com protecção pesada realizada por betonilha, sobre o sistema de impermeabilização;
- **Cobertura Tipo B:** Cobertura leve realizada sobre estrutura metálica.

2.2 Caracterização da cobertura de tipo A

A zona Norte do edifício dispunha de uma cobertura em terraço com acessibilidade limitada com características de zona técnica utilizada pela manutenção.

Durante as visitas ao local foi possível avaliar a constituição geral deste terraço e alguns dos pormenores construtivos adoptados, devido a trabalhos de reparação que permitem visualizar as várias camadas constituintes da cobertura. A observação desta cobertura permitiu concluir que se tratava de uma estrutura em laje de betão armado, com um sistema de impermeabilização composto por membranas de betume polímero, aplicadas sobre uma camada de forma constituída por betão celular, protegidas por uma betonilha armada de cimento com cerca de 4,0 cm de espessura, intercalada por um feltro geotêxtil (Figura 1). Foi possível observar que existia uma camada de isolamento térmico constituída por placas de poliestireno extrudido, colocada sob a camada de forma.

O remate das membranas do sistema de impermeabilização, na periferia do terraço, fazia-se na face vertical interior da platibanda, com o prolongamento dessas membranas cerca de 30 cm acima da laje e sobreposição das membranas mineralizadas de impermeabilização da própria platibanda (Figura 2). Nos pontos de contacto com elementos elevados acima da cobertura, tais como clarabóias, foi adoptado um processo de remate semelhante ao das platibandas. Junto aos edifícios, as membranas de impermeabilização dobravam sobre a

face das paredes exteriores, prolongando-se cerca de 30 cm na vertical, sendo depois sobrepostas pelo reboco dessas paredes (Figura 2). O tratamento sobre as juntas de dilatação foi efectuado com a colocação de um cordão ao longo das juntas, entre membranas do sistema de impermeabilização (Figura 3), e por um eventual reforço das membranas. A drenagem de águas pluviais desta zona da cobertura era efectuada com a colocação de saídas ao longo da sua periferia, e ao longo dos alinhamentos interiores de cota mais baixa. Havia um grande número de equipamentos mecânicos localizados neste terraço (Figura 3). A maior parte desses equipamentos, prevista em fase de projecto, foi instalada sobre maciços construídos a partir da camada de forma e impermeabilizada em conjunto com a zona corrente do terraço. Para os equipamentos instalados em fases posteriores, os maciços de apoio foram executados sobre a betonilha, sem qualquer tratamento adicional.

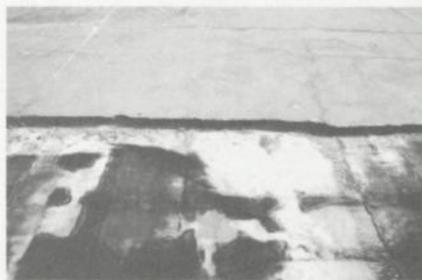


Figura 1: Tipo A – Constituição da protecção do sistema de impermeabilização.

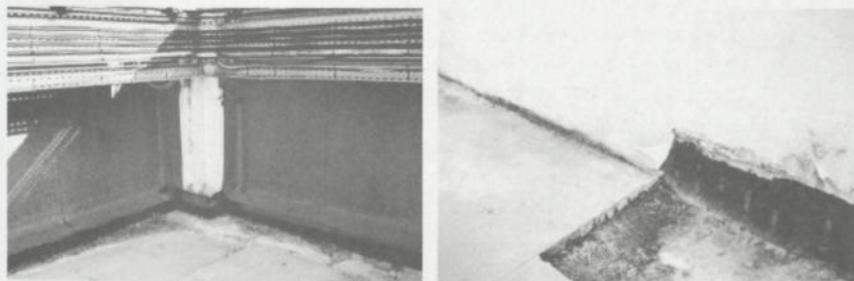


Figura 2: Tipo A – Remate das membranas nas platibandas e paredes do contorno.

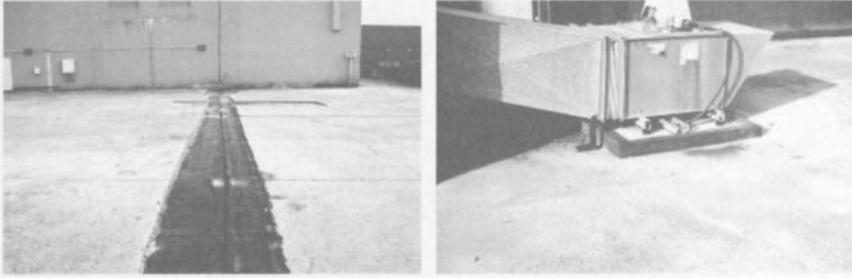


Figura 3: Tipo A – Juntas de dilatação e maciços de apoio de equipamentos mecânicos.

2.3 Caracterização da cobertura de tipo B

A zona Sul da cobertura era do tipo inclinada ($i > 5\%$), tendo acesso limitado apenas para manutenção da própria cobertura. Tratava-se de uma cobertura de grande extensão, com várias águas (Figura 4). A cobertura foi realizada com um sistema de impermeabilização constituído por membranas produzidas com betume modificado com polímero plastómero (A. P. P.) com armadura constituída por feltro de fibra de vidro e isolamento térmico constituído por placas de lâ de rocha com 8 cm de espessura, fixado mecanicamente à estrutura metálica de suporte. O revestimento final era assegurado por uma membrana de impermeabilização mineralizada (Figura 5).

Os elementos elevados acima desta cobertura foram impermeabilizados por membranas de impermeabilização mineralizadas até uma altura de 20 cm a 30 cm. Na periferia, os remates com os elementos verticais estavam protegidos com rufos metálicos (Figura 5).

O sistema de drenagem dispunha de saídas de água situadas em caleiras ao longo da periferia da cobertura.



Figura 4: Tipo B – Visão geral da cobertura.

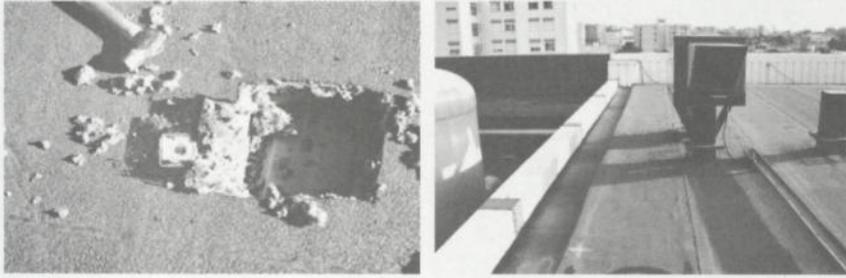


Figura 5: Tipo B – Constituição do sistema de impermeabilização e pormenor do remate com o contorno.

3 Patologias Observadas nas Coberturas

Foi possível detectar as seguintes patologias relacionadas com os sistemas de impermeabilização das coberturas:

- Infiltrações de água em locais sob os vários tipos de coberturas e deterioração de tectos falsos localizados sob os pontos de infiltração;
- Degradação da betonilha na cobertura Tipo A (Figura 6);
- Rotura ou descolamento de algumas membranas de impermeabilização nos pontos de remate em elementos verticais do contorno, na cobertura Tipo A (Figura 6);
- Degradação do reboco de paredes exteriores em pontos de remate com o sistema de impermeabilização na cobertura Tipo A (Figura 2);
- Rotura de membranas de impermeabilização nas juntas de dilatação da cobertura Tipo A;
- Perfuração de membranas de impermeabilização mineralizadas nas coberturas Tipo B, em pontos de contacto com as cabeças de fixação mecânica do isolamento térmico (Figura 7)
- Levantamento de membranas de impermeabilização mineralizadas numa extremidade da cobertura Tipo B.

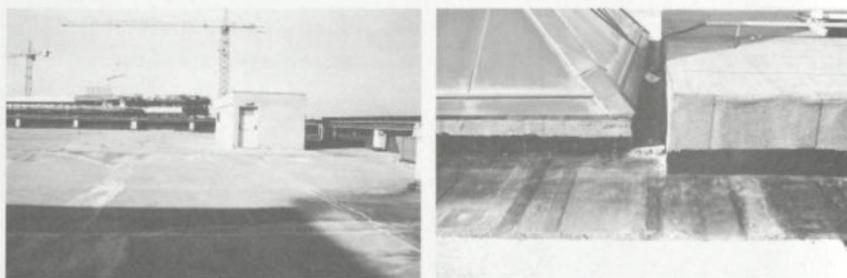


Figura 6: Degradação da betonilha na Cobertura de Tipo A e tentativa de reparação de remates das membranas em elementos emergentes.

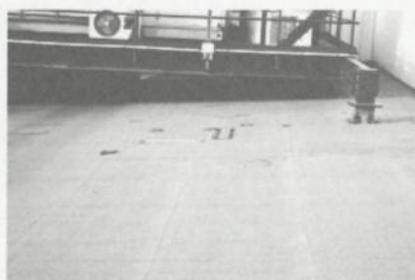


Figura 7: Perfuração de membranas de impermeabilização na cobertura Tipo B.

4 Causas Prováveis das Patologias Observadas e Soluções Para a Sua Resolução

4.1 Generalidades

Tendo em atenção a complexidade do processo construtivo, é sempre difícil definir a causa ou as causas que estão na origem das patologias. No entanto, no caso de estudo apresentado, pensamos que as causas dos problemas observados e analisados eram as a seguir descritas.

As infiltrações de água nas zonas do centro comercial sob as coberturas deveram-se claramente ao mau desempenho destas em termos de garantia de estanquidade. Nos subcapítulos seguintes, procede-se a uma análise sistemática das causas prováveis para esse mau desempenho, baseada em documentos

de homologação nacionais e documentos normativos internacionais, de reconhecida idoneidade.

4.2 Cobertura de tipo A

4.2.1 Composição do revestimento de impermeabilização propriamente dito

De acordo com a análise da solução proposta pelo Empreiteiro, e tendo em conta as sondagens realizadas, concluiu-se que na cobertura de Tipo A foi realizada uma impermeabilização com duas camadas de membranas de betume polímero APP de 3,0 kg/m² com armadura de fibra de vidro, em sistema independente do suporte. A massa média da impermeabilização corresponderia assim a 6,0 kg/m². Não existe um documento de homologação concedido pelo LNEC que apoie especificamente esta solução.

O DTU 43.1 refere, para este tipo de coberturas, como composição mínima para impermeabilizações multicamada baseadas em membranas de betume polímero armadas em sistema independente, um conjunto de três membranas com armadura de fibra de vidro, totalizando uma massa média de 10 kg/m².

De acordo com esta análise concluiu-se que a solução aplicada, correspondendo a um sistema que não se encontra homologado, é superior a outro para o qual existia um documento de homologação. No entanto, não satisfaria as exigências da normalização francesa.

4.2.2 Posicionamento do isolamento térmico

Na cobertura de Tipo A foi colocado isolamento térmico, constituído por placas de poliestireno extrudido, sob a camada de forma. Como se demonstra a seguir, essa configuração não é a mais favorável para o comportamento da impermeabilização deste tipo de cobertura.

A solicitação temperatura, tem uma grande importância no comportamento dos suportes e das impermeabilizações, merecendo uma análise aprofundada. Por simulação numérica em regime variável, podem determinar-se as temperaturas para as diversas camadas do sistema de impermeabilização. Os resultados obtidos para uma situação semelhante à aqui estudada indicaram que as camadas do sistema de impermeabilização estarão sujeitas a variações de temperatura diárias de aproximadamente 20 °C em determinados dias de Verão. Estas variações de temperatura podem gerar na betonilha de protecção e camada de forma variações dimensionais incompatíveis com as propriedades dos materiais, o que gera o aparecimento de fissuras.

A colocação de isolamento térmico sobre as membranas de impermeabilização, sob a protecção pesada realizada pela betonilha, teria garantido a essas membranas variações de temperatura muito menores, reduzindo as suas varia-

ções dimensionais provocadas pela temperatura e aumentando a durabilidade de todo o sistema.

4.2.3 Camada de dessolidarização

Na cobertura de Tipo A foi utilizada uma camada de protecção do sistema de impermeabilização composta por uma betonilha armada com 4 cm de espessura, dessolidarizada das membranas de impermeabilização por intermédio de um feltro geotêxtil de drenagem. De acordo com o mapa de quantidades elaborado pelo Empreiteiro, este feltro apresentava uma massa de 90 g/m².

A observação da interface camada de protecção/sistema de impermeabilização, mostrou que o feltro não desempenhou a função de dessolidarização de forma adequada, não garantindo uma separação conveniente entre a betonilha e as membranas.

Nos documentos de homologação concedidos pelo LNEC aos diferentes sistemas baseados em membranas de betume polímero, é sempre referido que no caso de ser aplicada uma betonilha armada como protecção pesada, esta deve ser dessolidarizada da impermeabilização por um material adequado, sendo dado como exemplo um feltro de poliéster não-tecido ou mantas de geotêxtil com 200 g/m².

De acordo com o DTU 43.1, em terraços técnicos ou de acesso limitado a peões, a dessolidarização entre a betonilha e as membranas do sistema de impermeabilização deverá ser garantida por uma *camada de areia* com 3 cm de espessura separada da protecção por um não tecido sintético com pelo menos 170 g/m².

Pelo que se referiu conclui-se que a dessolidarização entre a betonilha armada e as membranas de impermeabilização não foi correctamente garantida.

4.2.4 Fraccionamento da betonilha

O fraccionamento da betonilha na cobertura de Tipo A mostrou ser claramente insuficiente, tendo em conta a degradação apresentada.

A forma correcta consistiria num fraccionamento efectuado de modo a obter painéis com uma dimensão máxima de 4 m e superfície inferior a 10 m², separados por juntas com 10 mm a 20 mm de largura preenchidas com material imputrescível e com capacidade de deformação.

4.2.5 Colocação de equipamentos sobre a cobertura

As disposições implementadas tendo em conta a colocação de equipamentos pesados na cobertura de Tipo A não foi a mais adequada.

Os equipamentos deveriam ser solidarizados a maciços de betão pousados sobre uma camada de dessolidarização que é aplicada sobre o sistema de impermeabilização em zona corrente.

4.2.6 Configuração das juntas de dilatação

Na cobertura de Tipo A foram utilizadas juntas de dilatação planas, o que envolve sempre um risco para o sistema de impermeabilização.

Nos documentos de homologação concedidos pelo LNEC aos diferentes sistemas baseados em membranas de betume polímero, é recomendada a sobre-elevação das juntas de dilatação para realizar a sua impermeabilização.

Em normas francesas, as juntas de dilatação planas são interditas em coberturas de acessibilidade limitada ou contendo equipamentos mecânicos.

A solução mais adequada consistiria em juntas de dilatação sobre-elevadas, protegidas preferencialmente com rufos metálicos.

4.2.7 Configuração dos remates com o contorno ou com elementos emergentes

A configuração dos remates com o contorno ou com elementos emergentes na cobertura de Tipo A era inadequada, sendo isso facilmente demonstrável pela observação dos vários descolamentos e roturas encontrados nesses pontos singulares durante as visitas realizadas ao empreendimento.

Os remates com elementos emergentes não foram reforçados de acordo com o que é sugerido nos documentos de homologação concedidos pelo LNEC aos diferentes sistemas baseados em membranas de betume polímero, e que vai de encontro às prescrições do DTU 43.1. Nomeadamente, não estava garantida a protecção e a rufagem da parte das membranas que é soldada aos elementos emergentes.

4.3 Cobertura Tipo B

4.3.1 Composição do revestimento de impermeabilização propriamente dito

De acordo com a proposta do Empreiteiro para este tipo de cobertura, a massa média das membranas de impermeabilização não excederia os 7,0 kg/m². Na normalização francesa, está previsto para coberturas com inclinação superior a 5 % uma solução também composta por duas membranas mas com uma massa média de pelo menos 10,0 kg/m².

4.3.2 Sistema de fixação das membranas adoptado

Na cobertura de Tipo B foi adoptado um sistema de impermeabilização independente, fixado mecanicamente ao suporte constituído por placas rígidas de lâ mineral. Este sistema revelou-se pouco eficaz, sobretudo nas zonas mais expostas à acção do vento onde houve levantamento dos revestimentos de impermeabilização.

De acordo com a normalização francesa aplicável, para coberturas com inclinação superior a 5 %, como é este caso, o revestimento de impermeabilização deveria ser obrigatoriamente do tipo aderente ao suporte. Consideramos por isso que o tipo de fixação adoptado na cobertura de Tipo B não era o mais adequado. Em algumas zonas observamos que o número de fixações por metro quadrado era inferior ao preconizado pela normalização.

Eventuais obras de reparação poderiam visar a substituição de todo o sistema nas zonas mais expostas à acção do vento. Deveria ser aí adoptado um sistema de impermeabilização aderente, sendo as placas de lâ de rocha fixadas à estrutura metálica por intermédio de fixações mecânicas com uma densidade de 10 fixações por metro quadrado, numa faixa de 4 m de largura junto ao bordo da cobertura.

4.3.3 Inexistência de protecção das zonas de passagem

A cobertura de Tipo B era ocasionalmente percorrida por elementos da manutenção do Centro Comercial. Não dispunha de qualquer tipo de zonas de passagem bem delimitadas, o que potenciava a rotura por punçoamento das membranas de impermeabilização, através dos dispositivos de fixação mecânica utilizados nesta cobertura. Estas zonas deveriam por isso ser criadas, sendo aí adoptada uma protecção própria.

5 Conclusões

O estudo de caso apresentado permitiu avaliar as patologias dos sistemas de impermeabilização da cobertura em análise, expor as suas causas e apontar a sua resolução. O deficiente comportamento de coberturas em terraço só será evitado se houver uma correcta especificação da solução construtiva a adoptar, uma compatibilização adequada dos sistemas de impermeabilização com os restantes elementos construtivos e uma pormenorização exaustiva de detalhes construtivos como suporte à execução.

6 Bibliografia

- [1] Documentos de homologação n.^{os} 412, 492, 497, 498 e 499, concedidos pelo LNEC.
- [2] Document NF P 84-204-1 (DTU 43.1): *Travaux d'étanchéité des toitures terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie.*
- [3] Document NF-P 84-206-1 (DTU 43.3): *Mise en œuvre des toitures en tôles d'acier nervurées avec revêtement d'étanchéité.*

IMPERMEABILIZAÇÕES DE COBERTURAS EM TERRAÇO

Anomalias Devidas a Erros de Concepção

Ana Walter*

Correio electrónico: ananwalter@net.sapo.pt

Grandão Lopes†

Correio electrónico: glopes@lnec.pt

Jorge de Brito‡

Correio electrónico: jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

Muitas anomalias que ocorrem nas impermeabilizações de coberturas em terraço dos edifícios são resultantes de erros de concepção. Nesta comunicação abordam-se alguns erros ao nível do projecto desta especialidade que podem ser origem de patologia nas coberturas em terraço.

Palavras-chave: anomalias, coberturas, concepção, erros, impermeabilização, terraço.

1 Introdução

Para garantir condições satisfatórias de comportamento dos revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço, em condições normais de utilização, é indispensável uma intervenção adequada ao nível da concepção / projecto, qualidade dos materiais a utilizar, aplicação em obra e manutenção. Se os materiais usados não são muitas vezes os apropriados e a sua aplicação em obra é feita inadequadamente, verifica-se frequentemente a inexistência do projecto de execução ou é-lhe atribuída uma importância diminuta.

Por isso, muitas das anomalias que ocorrem nestes elementos da envolvente superior dos edifícios são resultantes de erros de concepção. Nesta comuni-

* Eng.º Civil, Mestranda em Construção pelo Instituto Superior Técnico.

† Investigador Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Dep. de Edifícios.

‡ Professor Associado do Instituto Superior Técnico, Dep. de Eng. Civil e Arquitectura.

cação, abordam-se exactamente alguns erros ao nível do projecto desta especialidade que podem ser origem de patologia nas coberturas em terraço.

2 Erros de concepção

São várias as causas possíveis para a ocorrência de anomalias no revestimento de impermeabilização de coberturas em terraço associadas a erros de concepção. De seguida, apresenta-se uma listagem desses erros:

- Indefinição ou concepção deficiente das camadas a aplicar na cobertura;
- Indefinição ou concepção deficiente do sistema de protecção em zona corrente;
- Concepção deficiente das camadas da cobertura do ponto de vista da acção do vento;
- Falta de definição de juntas de esquadramento em protecções pesadas rígidas;
- Falta de definição de bandas ou camadas de dessolidarização;
- Falta de definição de caminhos de circulação em coberturas de acessibilidade limitada;
- Disposições geométricas ou de conformação inadequadas;
- Pormenorização deficiente das juntas de dilatação;
- Pormenorização deficiente de remates em elementos emergentes;
- Pormenorização deficiente dos pontos de evacuação de águas pluviais;
- Concepção deficiente do sistema de drenagem;
- Desenhos incompletos, contraditórios ou excessivamente simplificados;
- Escolha errada dos materiais ou dos equipamentos de aplicação;
- Caderno de encargos deficiente ou inexistente.

3 Anomalias devidas a erros de concepção

3.1 Generalidades

De seguida apresentam-se as causas possíveis de anomalias em coberturas em terraço associadas somente a erros de concepção. Distinguir-se-ão as anomalias em zona corrente daquelas que se podem observar em pontos singulares da cobertura.

Os tipos de membranas referenciados no texto são aqueles que mais correntemente são usados em Portugal: membranas betuminosas, tradicionais ou não, e membranas de PVC.

3.2 Superfície corrente

3.2.1 Perfurações

A perfuração do revestimento pode resultar da acção perfurante sob o revestimento de impermeabilização das peças de fixação mecânica que são utilizadas nos sistemas colocados com esta técnica e das que são usadas na fixação do suporte isolante à estrutura resistente.

A acção de elementos britados de camadas de protecção pesada rígida directamente assentes sobre o sistema de impermeabilização (sem a interposição duma camada de dessolidarização) é também motivo para a ocorrência desta anomalia.

Nos terraços jardins, é conveniente que às membranas seja adicionado um aditivo anti-raízes, para que seja diminuta a probabilidade das raízes da vegetação atravessar o respectivo sistema impermeabilizante, perfurando-o no caso limite.

3.2.2 Arrancamento

O arrastamento dos elementos soltos da protecção pesada pode dever-se a uma insuficiente espessura da camada da protecção pesada constituída por estes elementos, a que corresponde uma reduzida massa por unidade de superfície, ou a dimensões diminutas dos elementos soltos, que são assim facilmente arrastáveis pela acção do vento.

Quando se trata de sistemas acabados com protecções leves colados a suportes isolantes de fraca resistência à tracção perpendicular, a possibilidade de arrancamento do sistema pode resultar exactamente da perda de coesão daquele suporte isolante.

3.2.3 Descolamento das juntas de sobreposição

As principais causas do descolamento das juntas de sobreposição da impermeabilização da superfície corrente da cobertura estão relacionadas com a reduzida largura das juntas de sobreposição das membranas respectivas.

A acção do vento também é primordial no aparecimento desta anomalia, nomeadamente se se verifica a inexistência de protecção pesada, pelo menos em certas zonas da superfície corrente, e se é insuficiente a quantidade de peças de fixação mecânica por unidade de área da cobertura, em sistemas de impermeabilização fixados mecanicamente (Figura 1).

A acção da temperatura sobre as membranas betuminosas autoprotégidas com folha de alumínio pode também pôr em risco a aderência destas ligações, devido ao efeito provocado pela diferença acentuada entre os coeficientes de dilatação térmica da folha de alumínio e do betume.

A acção da temperatura tem também influência na estabilidade dimensional das membranas de PVC que, quando mal formuladas, nomeadamente quanto ao tipo e teor de plastificante, podem sofrer deformações acentuadas de retracção, pondo assim em risco as ligações entre si.

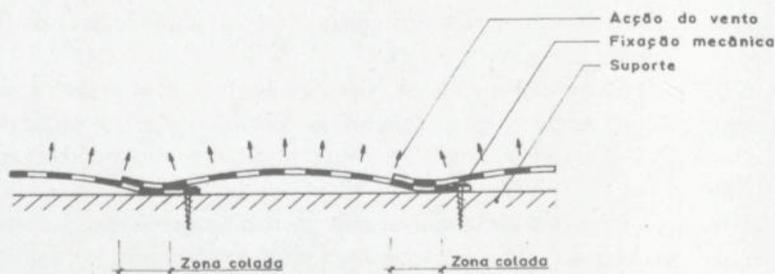


Figura 1: Descolamento por pelagem, devido à acção do vento, da junta de sobreposição dum sistema fixado mecanicamente [2].

3.2.4 Formação de pregas

A principal causa da formação de pregas do revestimento de impermeabilização da superfície corrente da cobertura é a acção da temperatura.

Esta patologia é mais frequente quando o revestimento é constituído por materiais com características térmicas bastante distintas, como é o caso das membranas betuminosas não armadas e autoprotégidas com folhas metálicas, como as folhas de alumínio ou de cobre.

Este fenómeno é também mais corrente nos revestimentos tradicionais com base em betumes insuflados, por integrarem misturas betuminosas com pontos

de amolecimento mais baixos do que os que se verificam nas usadas nas membranas de betume-polímero.

Nas membranas de PVC, a redução da ductilidade deve-se sobretudo à perda do plastificante que é incorporado no produto pastoso no processo de fabrico, podendo tal situação dar origem à formação de pregas neste tipo de membranas.

O enrugamento das membranas de borracha butílica, quando aplicadas em sistemas aderentes sem qualquer tipo de protecção pesada, é um fenómeno que pode também ser detectado neste tipo de solução de impermeabilização.

Na concepção dos sistemas e na escolha dos materiais utilizados, devem assim ter-se em conta os parâmetros referidos.

3.2.5 Permanência prolongada de água

As principais causas da permanência prolongada de água na superfície corrente da cobertura são essencialmente a sua reduzida pendente, a conformação insatisfatória da camada de forma ou ainda obstruções de caleiras ou de embocaduras das saídas das águas pluviais.

A inexistência de ralos nas embocaduras dos tubos de queda contribui substancialmente para a fácil obstrução destes pontos, a qual é agravada quando é insuficiente a sua secção de escoamento (Figura 2, à esquerda).

A conformação inadequada das pendentes nas zonas circundantes das embocaduras de tubos de queda é uma outra causa relevante para o aparecimento desta anomalia nestes pontos singulares. Assim, ao nível do projecto torna-se necessário prever o rebaixamento da camada de forma nessas zonas para evitar uma sobrelevação do respectivo revestimento de impermeabilização. Esta é devida ao engrossamento deste revestimento, resultante da aplicação, não só de uma camada complementar de remate, como também das peças de ligação com o tubo de queda (Figura 2, à direita) ou com outro dispositivo de recolha e descarga da água pluvial.

As deformações acentuadas de suportes muito compressíveis, em zonas localizadas, são também causa desta anomalia.

3.2.6 Fissuração

As principais causas da manifestação da fissuração no revestimento de impermeabilização estão geralmente relacionadas com defeitos de concepção. Apresentam-se como exemplo a inexistência duma camada de dessolidarização entre a camada de protecção pesada e o revestimento de impermeabilização e a inexistência, na camada de protecção pesada rígida, de juntas de esquadramento convenientemente afastadas entre si.



Figura 2: À esquerda, inexistência de ralos nas embocaduras dos tubos de queda [1]; à direita, peça de remate para a embocadura de um tubo de queda [3].

Quando a camada de protecção pesada é formada por elementos soltos, a fissuração do revestimento pode também dar-se pelo envelhecimento prematuro deste, devido ao arrastamento, por acção do vento, dos elementos soltos da protecção pesada. As razões deste arrastamento foram já atrás apontadas, ficando então o revestimento de impermeabilização aparente sujeito assim mais directamente à acção dos agentes atmosféricos normais.

Uma outra camada que contribui para o aparecimento da fissuração no sistema de impermeabilização é o seu suporte, podendo tal dever-se à natureza do respectivo material ou ao tipo de ligação do sistema de impermeabilização.

Quanto à natureza do material, a incompatibilidade química entre os materiais constituintes do suporte e os materiais do revestimento de impermeabilização, ou seja, a possibilidade de migração de componentes entre estes dois materiais (por exemplo, membranas de PVC plastificado sobre suportes isolantes, como as espumas de poliuretano ou o poliestireno expandido, não revestidos superficialmente, e ainda alguns destes tipos de membranas de PVC em contacto directo com produtos betuminosos), reduz a capacidade de deformação dos revestimentos, podendo assim conduzi-los à sua fissuração.

Quando o suporte é constituído por placas de material isolante, podem verificar-se deformações ou encurvamentos destas placas devidos a gradientes de temperatura entre as suas faces superior e inferior, podendo também originar-se fissuração se o suporte não estiver dessolidarizado do revestimento.

Quando o suporte é constituído por argamassas ou betões de ligantes hidráulicos, há deformações do suporte no seu plano devidas a retracções por secagem, ou alongamentos ou contracções originados por variações de temperatura e humidade dos materiais, sendo tais movimentos também motivo para a possibilidade de ocorrer fissuração no revestimento de impermeabilização, se este tiver sido previsto em sistema aderente ao suporte.

Assim, sob o ponto de vista de ligação do sistema de impermeabilização ao suporte, nos sistemas aderentes a probabilidade de ocorrência de fissuras é

maior, devido à maior facilidade da transmissão das deformações do suporte a esse sistema.

Por último, quando o suporte é constituído por uma camada rígida de betão ou argamassa aplicada sobre um isolante térmico, a inexistência de juntas de esquadramento convenientemente espaçadas nessa camada rígida é outra causa possível para a fissuração no revestimento de impermeabilização.

3.3 Pontos singulares

3.3.1 Insuficiente altura dos remates

Como exemplo de erro de projecto, pode-se referir a falta de definição das camadas a aplicar sobre a impermeabilização, com reflexos ao nível da espessura de cada uma delas, não se garantindo assim a altura mínima dos remates da impermeabilização, acima da superfície aparente da última camada da cobertura, criando a possibilidade de infiltrações de água por essas zonas.

Um outro exemplo de erros de projecto no aparecimento desta anomalia é a insuficiente sobrelevação da soleira das portas relativamente à superfície corrente da cobertura (Figura 3, à esquerda) e a correcta definição do respectivo remate prolongando-o sob a soleira de portas (Figura 3, à direita).

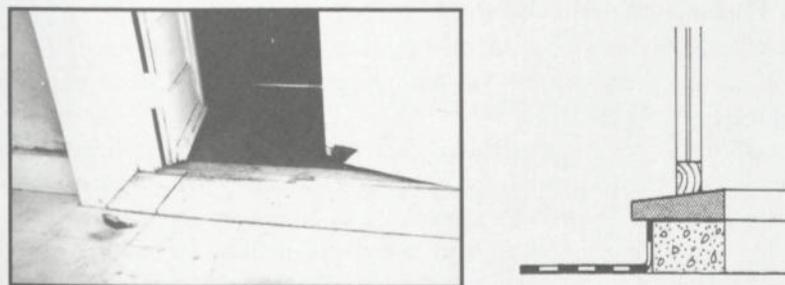


Figura 3: À esquerda, insuficiente sobrelevação da soleira de porta em relação à superfície corrente [1]; à direita, esquema de remate inadequado sob soleira de porta [2].

3.3.2 Inadequado capeamento do coroamento

Uma das vias de penetração da água para o tardo do revestimento de impermeabilização e para as camadas subjacentes é através do inadequado capeamento do coroamento das platibandas.

Verifica-se que, nas platibandas onde o remate do revestimento de impermeabilização não recobre o paramento horizontal, a superfície do coroamento tem pendente nula, é inexistente ou é reduzido o prolongamento na vertical do

capeamento (Figura 4), a estanquidade à água desta zona singular da cobertura pode ficar comprometida.



Figura 4: Prolongamento na vertical do capeamento inexistente [1].

A não utilização de capeamentos apropriados, como por exemplo chapas metálicas ou de fibrocimento, elementos prefabricados de betão bem compactado, com as juntas entre peças ou as fixações mal vedadas, compromete também a estanquidade à água.

3.3.3 Fluência ou deslizamento de remates

Existe uma maior probabilidade de ocorrência da fluência ou deslizamento dos remates em revestimentos de base betuminosa e entre estes os formados por betumes insuflados.

O desenvolvimento significativo do remate de impermeabilização e a inexistência duma fixação mecânica complementar neste, cujo desenvolvimento em altura é demasiado elevado, são causas da ocorrência deste fenómeno.

A acção da temperatura é assim o agente fundamental para a ocorrência desta patologia, especialmente quando os revestimentos são aplicados sobre painéis isolantes, na vertical ou próximo dessa posição, devido à maior capacidade de absorverem energia, com o respectivo aumento da sua temperatura.

3.3.4 Descolamento e fissuração de remates

A inadequada protecção do bordo superior do remate, por inexistência de peças e produtos adicionais, tais como rufos e mástiques, pode contribuir para a ocorrência desta patologia.

O remate inserido apenas no reboco do elemento emergente e não penetrando pela alvenaria de tijolo ou de blocos de betão é também um exemplo da falta ou da incorrecta definição destes pontos singulares da cobertura.

Os deficientes processos de fixação adoptados nos remates da impermeabilização às tubagens emergentes, tal como a não realização da sua cintagem e aperto nessa zona ou os acentuados deslocamentos na direcção vertical dessas

tubagens, sem a dessolidarização conveniente da impermeabilização da respectiva tubagem, são outras possíveis indefinições que se podem observar nas especificações de projecto.

A aplicação de apoios de betão ou de plástico de lajetas de sombreamento directamente sobre a impermeabilização que tem como suporte um material isolante de elevada deformabilidade são soluções que à partida devem ser evitadas. A deformação do isolante, que é acompanhada pela da impermeabilização, faz com que o revestimento do paramento vertical do elemento emergente fique sujeito a forças no seu plano que, sendo superiores às forças resistentes de aderência, dão origem ao descolamento em questão (Figura 5, à esquerda). Em geral, protecções pesadas sobre o mesmo tipo de camadas com as características das anteriores podem também dar origem às anomalias em questão.

A falta de definição duma junta, na protecção pesada rígida da superfície corrente, a uma distância de cerca de 0,3 m dos paramentos de platibandas ou de paredes emergentes, faz com que possa ser excedida a capacidade resistente a esforços de corte do respectivo remate do revestimento de impermeabilização, dando assim origem a fendilhações localizadas ao longo desse remate. Este esforço é transmitido à platibanda ou à parede emergente pelo impulso da protecção pesada rígida, gerado por movimentos de dilatação de origem térmica dessa camada. Aquela fendilhação é agravada quando não forem definidas juntas de esquartelamento, convenientemente afastadas entre si, na camada de protecção pesada rígida.

3.3.5 Fissuração de remates em juntas de dilatação

Relacionadas com carências ao nível da concepção, podem ser apontados alguns exemplos relativos à anomalia em questão.

A concepção de remates das juntas de dilatação ao nível da superfície corrente da cobertura, em vez de sobreelevados, especialmente se esta é acessível à circulação e permanência de pessoas, pode ser motivo para a mais fácil ocorrência desta anomalia, devido à maior possibilidade desses remates ficarem sujeitos a acções mecânicas resultantes da respectiva utilização (Figura 5, à direita).

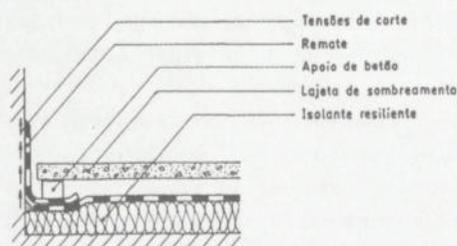


Figura 5: À esquerda, esquema do mecanismo de descolamento de remates com elementos emergentes da cobertura por acção de forças localizadas [2]; à direita, remate ao nível da superfície corrente da cobertura [1].

A camada de protecção pesada rígida sem interrupção sobre a junta de dilatação também é causa do aparecimento de fissuração nos remates em questão.

A inexistência de uma faixa de dessolidarização com cerca de 0,15 m para cada lado da junta, assim como a inexistência dum empanque ou fundo de junta, que sirva de suporte ao remate em questão, podem também provocar a fissuração desse remates.

A prescrição, nos remates das juntas, de materiais de fraca resistência mecânica a esforços de tracção e de rasgamento pode contribuir ainda para originar a sua fissuração, sendo assim a qualidade dos materiais escolhidos um factor igualmente importante para evitar este tipo de anomalia.

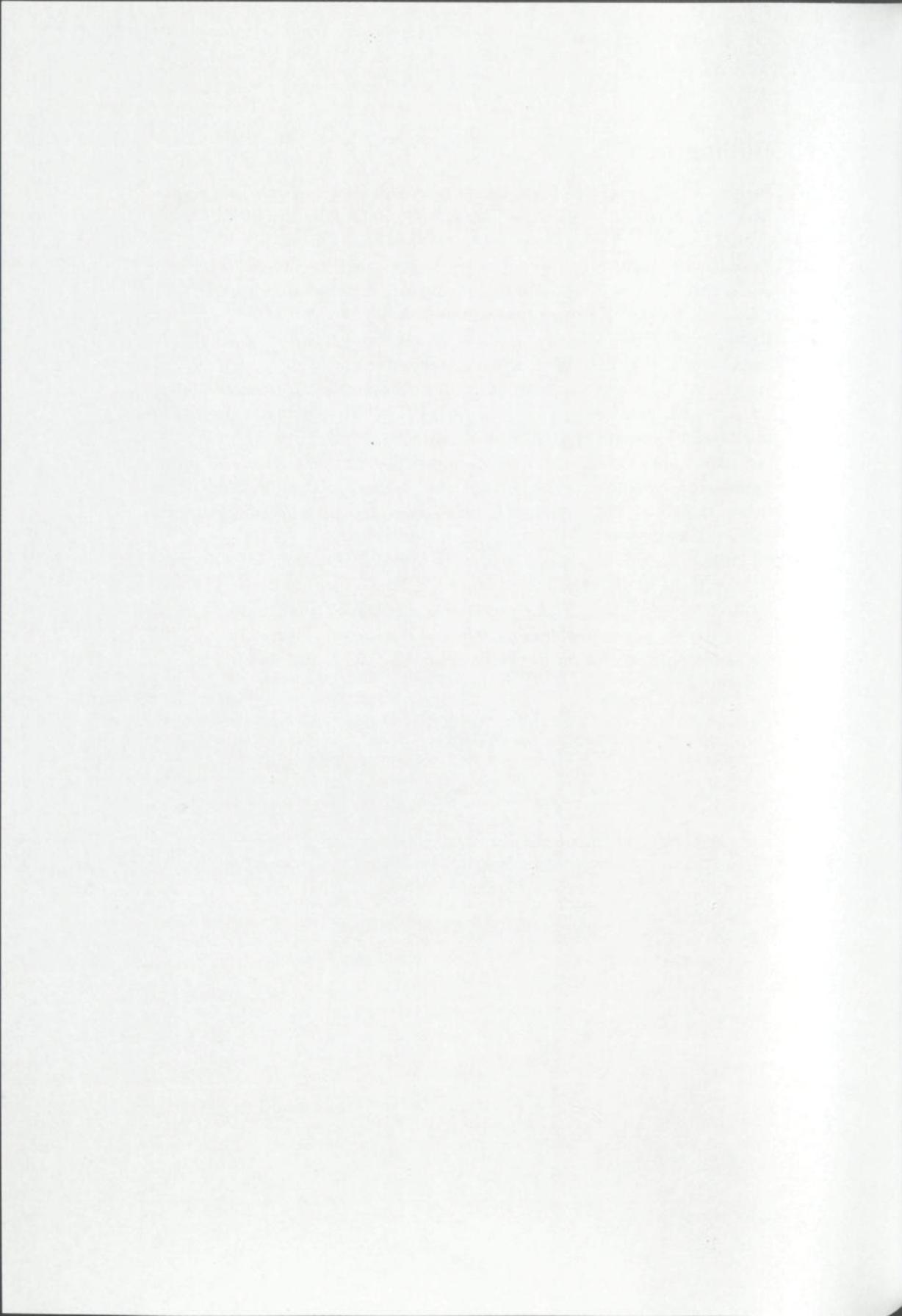
4 Conclusões

Muitas das anomalias poderiam ser reduzidas ou mesmo eliminadas, caso fosse mais pormenorizada, cuidada e conscienciosa a intervenção ao nível da concepção dos sistemas de impermeabilização e das restantes camadas da zona corrente das coberturas em terraço, bem como ao nível dos pontos singulares dessas coberturas.

As causas possíveis das diversas anomalias aqui referidas associadas a erros de concepção apontam para a necessidade de melhorar fundamentalmente a pormenorização das soluções adoptadas, através de um projecto de impermeabilizações autónomo, o qual constitui, segundo se julga, uma das aspirações das empresas ligadas a este sector da construção.

5 Bibliografia

- [1] Walter, A. *Sistema de classificação para inspeção de impermeabilizações de coberturas em terraço*. Lisboa, IST, 2002. Dissertação de Mestrado.
- [2] Grandão Lopes, J. M. *Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço*. Lisboa, LNEC, 1998. Informação Técnica Edifícios, ITE 33.
- [3] Catálogos técnicos da firma Imperialum S. A.
- [4] Brito, J. de *Desenvolvimento de um sistema de gestão de obras de arte em betão*. Lisboa, IST, 1992. Tese de Doutoramento.
- [5] Walter, A. *Sistema de classificação para inspeção de impermeabilizações de coberturas em terraço*. Lisboa, IST, 2001. Seminário de Investigação, 10.º Curso de Mestrado em Construção.
- [6] Grandão Lopes, J. M. *Modelo de inquérito-tipo para avaliação do desempenho de coberturas em terraço*. 11.º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização e 3.º Congresso Latino-Americano de Impermeabilização, Lisboa, LNEC, 2000.
- [7] Grandão Lopes, J. M. *Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço*. Lisboa, LNEC, 1998. Informação Técnica Edifícios, ITE 34.
- [8] Walter, A. *Classificação das patologias associadas à impermeabilização em superfície corrente e drenagem de coberturas em terraço*. Lisboa, IST, 2000. Tecnologia da Construção de Edifícios, 10.º Curso de Mestrado em Construção.



DESCOLAMENTO DO REVESTIMENTO DE PISO DE UM PAVILHÃO GIMNODESPORTIVO

Paulo da Silva Pinto*

Correio electrónico: pnspe@clix.pt

Vasco Peixoto de Freitas†

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

Neste artigo apresenta-se um estudo realizado pelo Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, em Abril de 1999, num pavilhão gimnodesportivo cujo revestimento de piso, à base de PVC, apresentava problemas de descolamento.

Para além dos sintomas patológicos observados, descrevem-se também as medições e sondagens realizadas com o objectivo de identificar as causas que estariam na origem do problema, refere-se qual o diagnóstico elaborado e os principais fenómenos físicos associados ao problema e, por fim, indicam-se os princípios de reparação que foram equacionados.

Após análise das patologias e das medições e sondagens realizadas, concluiu-se que o problema estaria relacionado com fenómenos de condensações internas na interface de colagem do revestimento de piso, condensações essas que levaram à degradação da cola utilizada.

Apesar da existência de uma folha de polietileno na camada de suporte do pavimento, com o objectivo de funcionar como barreira à transferência de humidade, tanto em fase líquida como em fase vapor, a sua eficácia não foi adequada. Tal como os restantes materiais e elementos construtivos, este tipo de componentes deve responder a uma multiplicidade de exigências funcionais, que devem ser devidamente compatibilizadas em função das diferentes solicitações a que são submetidos durante o seu *período de vida*.

Palavras-chave: Condensações Internas, Impermeabilização, Barreiras Pára-Vapor.

* Eng.º Civil, M. Sc., colaborador do Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Civis.

1 Introdução

Em Abril de 1999 foi realizado, pelo Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – FEUP, um estudo sobre os problemas de descolamento do revestimento à base de PVC do pavimento de um pavilhão gimnodesportivo, que se pretende aqui apresentar com a seguinte estruturação (Figura 1):

- Descrição da patologia – análise visual;
- Sondagens e medições realizadas – análise física;
- Diagnóstico elaborado, em que se procuram definir as causas do problema, com base na informação recolhida;
- Soluções de reparação equacionadas.

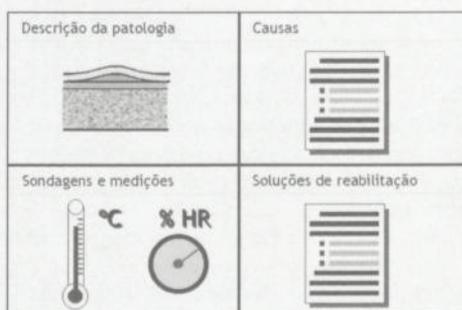


Figura 1: Metodologia seguida no estudo do problema.

2 Descrição do Problema Observado

O pavimento térreo do pavilhão gimnodesportivo apresentava problemas de descolagem e levantamento do seu revestimento à base de PVC, particularmente visível na zona das juntas. Após o levantamento do revestimento na zona de uma junta detectou-se uma forte humedificação na interface de colagem, como se procura evidenciar na Figura 2.

3 Caracterização do Pavimento Estudado

De acordo com a informação recolhida e a sondagem realizada, o pavimento térreo do pavilhão apresentava a seguinte constituição (Figura 3):

- Camada de *tout-venant*, com cerca de 20 cm de espessura;
- Filme plástico (folha de polietileno);
- Camada base em betão armado, com cerca de 15 cm de espessura;

— Revestimento à base de PVC, colado ao suporte.



Figura 2: Aspecto da interface de colagem do revestimento do pavimento térreo, na zona de uma junta.

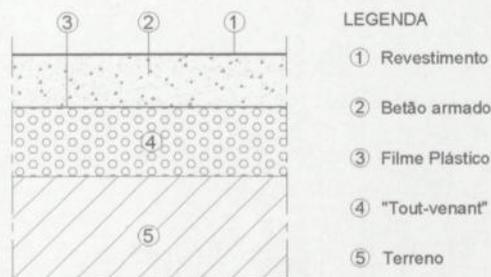


Figura 3: Constituição do pavimento térreo do pavilhão estudado.

4 Sondagem e Medições Efectuadas

4.1 Objectivos da sondagem e medições

Por forma a obter uma informação mais precisa das condições higrotérmicas do pavimento térreo em análise efectuou-se um conjunto de medições com vista à caracterização dos seguintes parâmetros:

- Humidade superficial dos paramentos interiores das paredes;
- Humidade relativa e temperatura do ar;
- Humidade relativa na interface de colagem do revestimento do pavimento térreo;
- Temperatura das várias interfaces no pavimento térreo.

Para além das medições foi também realizada uma sondagem, com o objectivo de se recolherem amostras da camada base do pavimento térreo, até uma

profundidade de cerca de 20 cm, que posteriormente foram sujeitas a secagem para determinação do seu teor de humidade.

4.2 Equipamentos utilizados

Para a realização da sondagem foi utilizada uma caroteadora com cerca de 5 cm de diâmetro (Figura 4) e uma máquina de furar, nas camadas superficiais.

As medições da temperatura e da humidade das superfícies interiores das paredes, do pavimento e do ambiente interior, foram efectuadas com diferentes equipamentos, assim designados:

- Aparelho de medida do teor de humidade superficial *Humidimetre* (Figura 5);
- *Termohigrómetro* e *Termohigrógrafo* para registo semanal da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e da humidade relativa (% HR) da ambiência;
- *Registador*, *Termopares* e *Sonda de Humidade Relativa* para registo em contínuo da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) nas várias interfaces do pavimento térreo e da humidade relativa (% HR) sob o revestimento de piso (Figura 6).

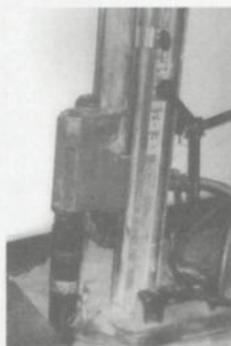


Figura 4: Caroteadora utilizada na sondagem.



Figura 5: *Humidimetre*.



Figura 6: Equipamentos utilizados para registo em contínuo da temperatura nas várias interfaces do pavimento térreo e da humidade relativa sob o revestimento de piso.

4.3 Apreciação dos resultados da sondagem efectuada

A sondagem efectuada permitiu confirmar a existência de um filme plástico na separação entre o *tout-venant* e a camada base em betão. No entanto, este filme apresentava sinais de degradação, nomeadamente perfuração e falta de elasticidade.

Os teores de humidade detectados nas amostras da camada base do pavimento térreo foram decrescentes em profundidade (Figura 7), sendo da ordem dos 0,08 kg/kg para a camada superficial e dos 0,02 kg/kg para uma profundidade de cerca de 17 cm. Para o betão, valores acima dos 0,06 kg/kg indicam que o material está *saturado*.

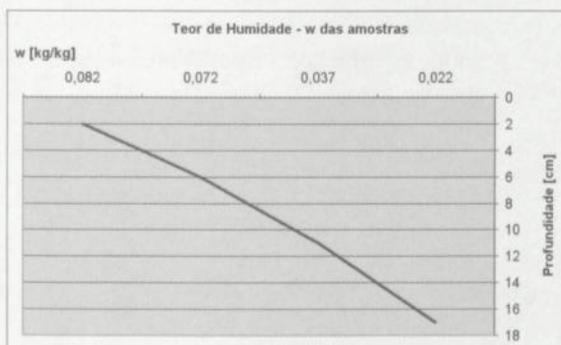


Figura 7: Teor de humidade das amostras da camada base do pavimento térreo, em função da sua profundidade média.

4.4 Apreciação dos resultados das medições efectuadas *in situ*

As medições efectuadas com o *Humidimetre* permitiram concluir que os paramentos interiores das paredes de fachada não apresentavam sinais de hu-

midificação, indicando que o problema não deveria estar relacionado com humidade ascensional.

No que respeita aos registos higrotérmicos das várias interfaces do pavimento térreo, instalou-se uma sonda de humidade relativa entre o revestimento e a camada base do pavimento, assim como cinco termopares nas seguintes interfaces (Figura 8):

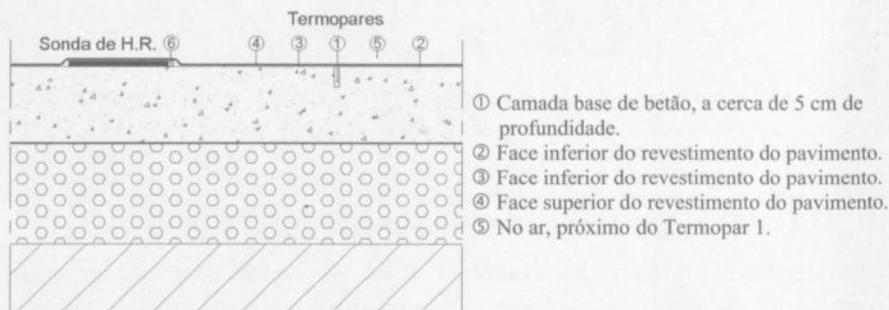


Figura 8: Localização dos vários sensores colocados no pavimento térreo.

Na Tabela 1 apresentam-se os valores das medições da temperatura t e da humidade relativa HR da ambiência interior e da camada base do pavimento térreo, registados por volta das 18 horas do dia 26 de Fevereiro de 1999 e por volta das 07 horas do dia 28 do mesmo mês – alturas em que se verificaram as condições mais extremas do período de medições. Apresentam-se também os valores da pressão parcial de vapor correspondentes a cada uma das situações extremas, calculadas através da seguinte expressão [3]:

$$P_s = 610,5 e^{\frac{at}{b+t}}$$

em que:

P_s – Pressão de saturação do ar, em Pa;

e – número de Nepper: $e \cong 2,718$;

a – constante: $a = 21,875$ para $t < 0$ °C;

$a = 17,269$ para $t \geq 0$ °C;

b – constante: $b = 265,5$ para $t < 0$ °C;

$b = 237,3$ para $t \geq 0$ °C;

t – temperatura do ar, em °C.

Tabela 1: Valores extremos da temperatura e da humidade relativa da ambiência interior e da camada base do pavimento térreo.

Dia	Designação	t (°C)	HR (%)	P (Pa)
26/02/99	Ambiente interior	14,5	75	1238
	Camada base do Pavimento	13,0	95	1422
28/02/99	Ambiente interior	10,6	60	767
	Camada base do Pavimento	12,5	95	1376

Estas medições mostram que:

- Na interface de colagem do revestimento do pavimento térreo, o ar encontra-se praticamente saturado (HR = 95 %);
- A temperatura da camada base em betão (Termopar ①) é relativamente estável (12 °C a 13 °C), enquanto a temperatura do revestimento (Termopares ②, ③ e ④) varia de uma forma sinusoidal ao longo do dia, entre valores superiores e inferiores à temperatura da camada base.

5 Causas Prováveis do Problema Observado

Tendo em atenção a complexidade do processo construtivo é sempre difícil definir a causa ou as causas que estão na origem das patologias dos edifícios. No entanto, no presente caso, pensamos que o problema observado e analisado se deve à ocorrência de condensações internas na superfície de colagem do revestimento do pavimento térreo.

As condensações do vapor de água ocorrem pelas seguintes razões:

- No Inverno há uma variação da temperatura entre dia e noite, no interior do edifício, com algum significado, tendo atingido o valor mínimo de cerca de 10 °C no período analisado, mas podendo descer até temperaturas consideravelmente mais baixas. Pelo contrário, na base do pavimento, a cerca de 5 cm de profundidade, a temperatura registada foi mais ou menos constante, com um valor de cerca de 12,5 °C, devido à sua inércia térmica.
- Durante o período analisado registou-se também uma variação acentuada da humidade relativa do ambiente interior do pavilhão (entre os 55 % e os 90 %), ao contrário da interface de colagem do revestimento onde se registaram valores pouco variáveis, da ordem dos 95 % a 100 %.
- Os gradientes de pressão de vapor de água entre a base do pavimento térreo e o ambiente interior do pavilhão geram um fluxo ascendente de vapor de água.

- Como o revestimento do pavimento é pouco permeável (praticamente impermeável) ao vapor de água, funcionando como um pára-vapor colocado na zona fria do elemento construtivo (durante a noite), geram-se condensações na interface de colagem do revestimento.
- A água resultante das condensações provoca o humedecimento da cola do revestimento, *sensível* à água, originando o levantamento do mesmo nas zonas mais frágeis – as juntas.

Por outro lado, os fluxos de humidade que atingem o revestimento do pavimento térreo podem ter diferentes origens, como por exemplo: humidade de construção presente na camada base do pavimento, humidade ascensional proveniente do terreno, etc. Contudo, face aos valores medidos do teor de humidade da camada base do pavimento (Figura 7), somos de opinião que esses fluxos resultam sobretudo da difusão de vapor de água através do pavimento.

O fluxo de difusão de vapor não é devidamente restringido por uma barreira pára-vapor adequada, pois, como se referiu anteriormente no § 4.3, o filme plástico que deveria desempenhar essa função encontrava-se degradado.

6 Metodologia para os Trabalhos de Reparação

6.1 Princípios gerais

Nos trabalhos de reparação a efectuar interessa adoptar procedimentos que assegurem resultados satisfatórios a longo prazo, muito embora seja sempre difícil uma resolução total dos problemas associados ao comportamento da envolvente dos edifícios e à humidade sem uma intervenção significativa.

Tendo em atenção as patologias observadas e os resultados das sondagens e medições efectuadas, propôs-se ou a substituição do revestimento do pavimento por um novo sistema que não seja *sensível* à água e/ou de elevada permeabilidade ao vapor, para evitar a ocorrência de condensações, ou então a seguinte intervenção:

- Remoção do revestimento do pavimento numa profundidade da ordem dos 8 cm;
- Limpeza da superfície da camada base, em betão, e sua regularização;
- Aplicação de uma barreira pára-vapor, com uma permeância P_e não superior a 2×10^{-12} kg/(m²·s·Pa). Esta barreira deverá também garantir um corte hídrico à humidade ascensional e na sua selecção deve atender-se aos aspectos referidos no § 6.2;
- Colocação de uma camada de dessolidarização adequada, por exemplo um filme de polietileno, areia e/ou um geotêxtil;

- Realização de uma nova camada de base em betão armado, convenientemente fraccionada;
- Recolocação do revestimento do pavimento, seguindo as recomendações do fabricante.

6.2 Selecção da barreira pára-vapor

A escolha de uma barreira pára-vapor é sobretudo condicionada pelas suas características de permeabilidade ao vapor de água. No entanto, estas características podem sofrer alterações significativas ao longo do *período de vida* do material. A existência de orifícios, mesmo que de pequenas dimensões, pode comprometer seriamente o seu funcionamento. Para alguns componentes, por exemplo, o simples manuseamento dos materiais pode originar a sua perfuração, aumentando significativamente a sua permeabilidade ao vapor.

As condições de serviço dos elementos construtivos também poderão afectar o desempenho das barreiras, devido, por exemplo, ao contacto com temperaturas muito elevadas ou muito baixas, com substâncias susceptíveis de provocar degradação, tais como água, óleos, etc.

Outras zonas problemáticas são as juntas, os pontos de atravessamento de tubagens ou outras zonas pontuais que necessitam de selagem. É importante garantir a continuidade da barreira, pelo que as juntas devem ser estanques e de fácil execução.

Assim, para além da permeabilidade ao vapor de água, existem outras propriedades que poderão ter maior ou menor importância no desempenho de uma barreira pára-vapor, de acordo com o tipo de aplicação pretendida, tais como:

- Resistência mecânica, nomeadamente a esforços de tracção, punção, etc.;
- Elasticidade;
- Estabilidade dimensional;
- Estabilidade higrotérmica;
- Resistência a agentes de deterioração;
- Facilidade de fabrico, aplicação e selagem das juntas;
- Adequado comportamento ao fogo;
- Aderência (normalmente sem importância para barreiras do tipo membrana);
- Etc.

A importância de cada um destes parâmetros poderá então variar em função do tipo de elemento construtivo em que é aplicada uma barreira. A título de exemplo, apresenta-se na Tabela 2 a importância relativa de algumas das

propriedades das barreiras pára-vapor, em termos qualitativos, segundo a ASTM C 755-85 [1].

Tabela 2: Critérios de selecção de barreiras pára-vapor [1].

Elemento Construtivo	Resistência ao punçoamento	Resistência à abrasão	Resistência ao corte	Não corrosiva	Resistência ao apodrecimento	Resistência à humidade	Notas
Paredes	Baixa	Baixa	Baixa				
Pavimentos térreos	Alta	Alta	Baixa		X	X	
Coberturas	Baixa	Alta	Média				
Câmaras frigoríficas	Alta	Alta	Alta	X	X	X	Sem retracção

X – significa recomendável.

7 Conclusões

Na realização de pavimentos térreos com revestimentos *sensíveis* à humidade, como por exemplo revestimentos colados, revestimentos em madeira, etc., é importante evitar a ascensão de água líquida e a ocorrência de condensações internas, recorrendo para tal a uma adequada impermeabilização e barreira pára-vapor.

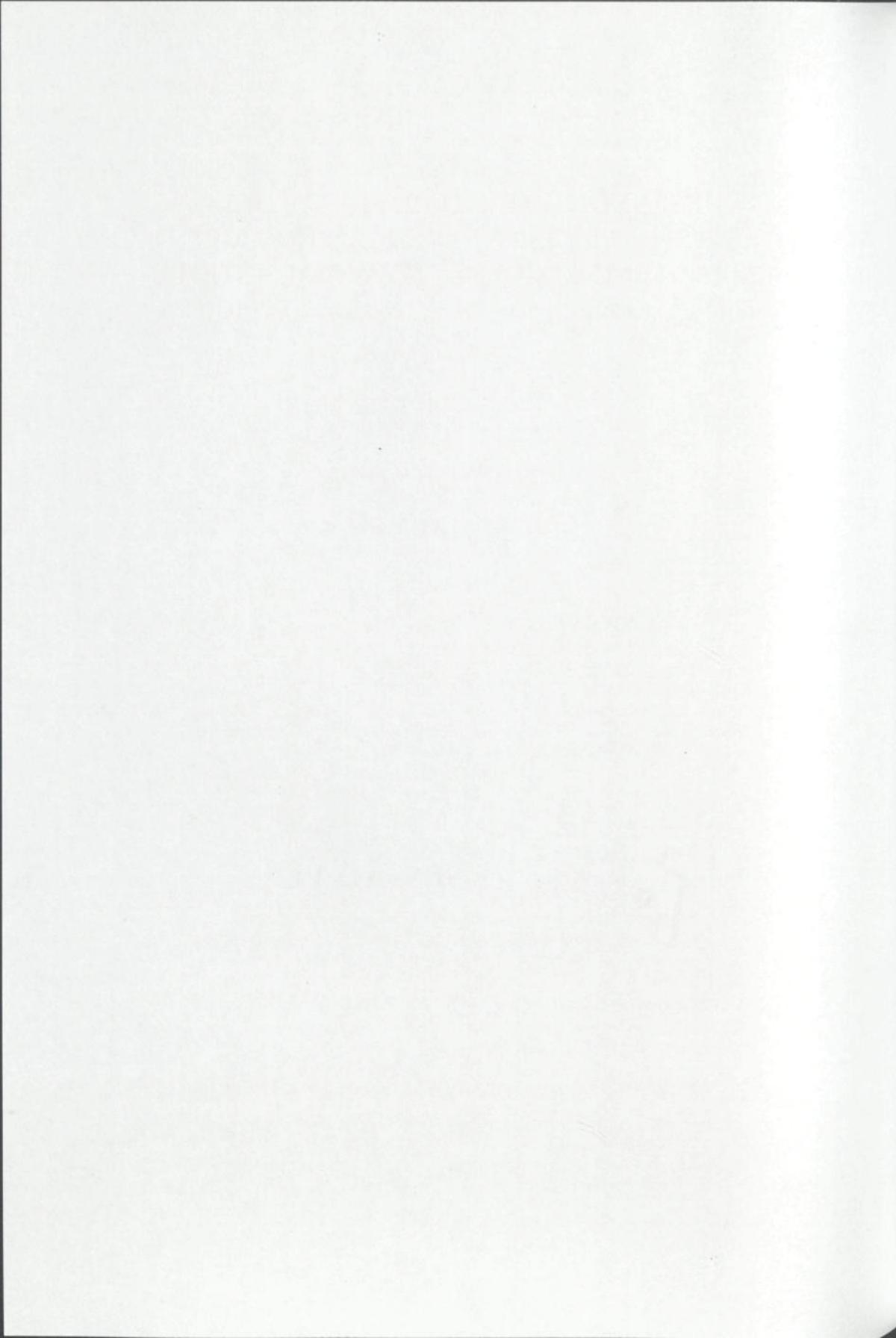
Na selecção e aplicação deste tipo de materiais existem outros parâmetros a ter em conta para além da sua permeabilidade, que deverão ser devidamente compatibilizados. No § 6.2 referem-se alguns desses parâmetros e, tomando como exemplo as barreiras pára-vapor, refere-se também a importância relativa de cada um deles.

8 Bibliografia

- [1] American Society for Testing and Materials (ASTM). *Standard Practice for Selection of Vapor Retarders for Thermal Insulation. C 755-85*. Filadélfia, ASTM, 1985 (reaprovada em 1990).
- [2] Freitas, V. P. & Pinto, P. S. *Permeabilidade ao Vapor de Materiais de Construção. Condensações Internas*. Nota de Informação Técnica NIT 002. Porto: LFC/FEUP, 1998.
- [3] Freitas, V. P. *Relatório LFC/IC – 060.99*. Porto: LFC/IC, 1999.
- [4] Pinto, P. S. *Caracterização de Barreiras Pára-Vapor e sua Aplicação*. Dissertação de Mestrado, FEUP, 2002.



SESSÃO VI



DESENVOLVIMENTO DE FICHAS DE DIAGNÓSTICO E DE INTERVENÇÃO NO ÂMBITO DA MANUTENÇÃO CORRECTIVA NUM SISTEMA INTEGRADO DE MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Marisa Antunes*

Correio electrónico: marisa@fe.up.pt

Helena Corvacho†

Correio electrónico: corvacho@fe.up.pt

Resumo

No âmbito de um projecto que concebeu uma metodologia para implementação de um sistema integrado de manutenção para um extenso parque de habitação social, foi proposta uma determinada estratégia de manutenção correctiva como complemento da manutenção planeada.

A estratégia proposta pressupôs a tipificação de procedimentos e um registo sistemático de ocorrências. Como instrumentos para alcançar esses objectivos, foram desenvolvidas fichas simplificadas, quer para o diagnóstico de patologias quer para pequenas intervenções de reparação.

Para servir de base a diagnósticos preliminares de patologias, no decorrer de inspecções de rotina aos edifícios ou na sequência de uma reclamação de moradores, foi elaborada uma ficha para registo dos dados considerados relevantes para uma primeira análise do problema. Feita essa primeira análise e já com a identificação das prováveis patologias presentes, a metodologia proposta parte para aquilo a que se convencionou chamar de diagnóstico específico, apoiado em fichas correspondentes a cada patologia tipo.

Se o diagnóstico for conclusivo e o problema se inserir no âmbito do sistema de manutenção desenvolvido (excluem-se, neste caso, as intervenções mais profundas de reabilitação) passa-se à selecção da(s) ficha(s) de intervenção a utilizar.

Na presente comunicação, será feita uma breve descrição da metodologia proposta e serão apresentadas algumas das fichas desenvolvidas.

Palavras-chave: Manutenção correctiva, Tipificação de procedimentos.

* Eng.ª Civil, colaboradora do Instituto da Construção da FEUP.

† Prof.ª Auxiliar da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Civis.

1 Introdução

O trabalho apresentado neste estudo é parte de um projecto mais vasto que tem como objectivo conceber a estrutura e o funcionamento de um Sistema Integrado de Manutenção de Edifícios de Habitação (SIMEH), a ser aplicado a um parque de habitação social, a cargo de um município da Área Metropolitana do Porto.

Especificamente para a gestão desse parque habitacional, foi criada uma pequena empresa municipal de forma a agilizar os procedimentos e servir com eficiência, proximidade e rapidez os moradores dos diversos bairros. Trata-se de uma empresa com um quadro técnico muito reduzido e centralizado que deverá dar resposta às necessidades de um parque habitacional consideravelmente disseminado pelo Concelho, em bairros de características muito diversas. Como apoio local, instalaram-se nos maiores bairros, gabinetes de Acção Social.

A proposta resultante do estudo efectuado teve, necessariamente, em conta as características dos recursos disponíveis e assim, pretendeu-se, tanto quanto possível, fornecer instrumentos para levar a cabo procedimentos técnicos, acessíveis a pessoal não especializado na área técnica (como por exemplo as assistentes sociais).

O sistema concebido inclui três diferentes áreas da gestão de edifícios:

- Área técnica (identificação, planeamento e promoção de acções de manutenção);
- Área económica;
- Área funcional.

O funcionamento do sistema é baseado na tipificação de procedimentos e no registo sistemático de todas as acções, sendo apoiado por uma ferramenta informática.

A estrutura desenvolvida inclui o cadastro, o plano de manutenção e a gestão das acções de manutenção. O plano de manutenção define uma calendarização para acções de manutenção periódica e uma rotina de inspecções, bem como os procedimentos da manutenção dita reactiva ou correctiva.

2 Estratégia de Manutenção Correctiva

2.1 Metodologia proposta

Como foi referido acima, o sistema prevê o recurso à chamada manutenção correctiva a qual incluirá as acções de manutenção não programadas. Estas acções resultarão da detecção de anomalias quer no decorrer de uma inspecção

periódica quer durante o simples uso, sendo, neste caso, objecto de uma reclamação por parte do utente.

As inspecções periódicas terão como objectivo a detecção precoce dessas anomalias e assim, as acções a empreender serão, na sua grande maioria, pequenas reparações ou acções preventivas.

A estratégia proposta para a manutenção correctiva foi, largamente, condicionada pela exiguidade de meios, sobretudo de pessoal técnico, como já foi referido e pode sintetizar-se no esquema apresentado na Figura 1.

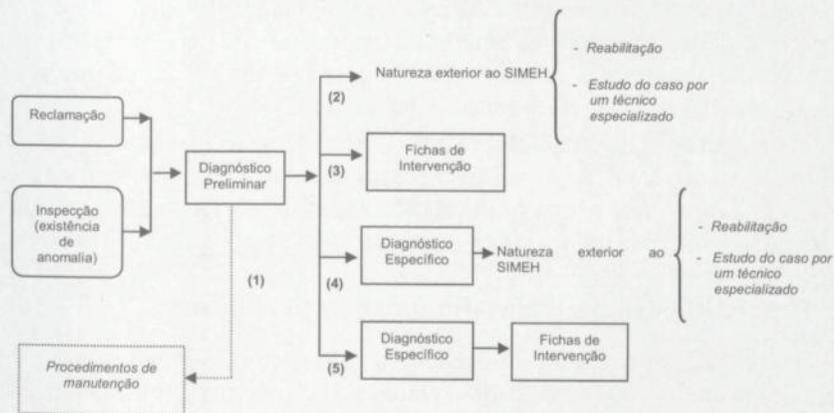


Figura 1: Metodologia proposta para os procedimentos de manutenção correctiva [1].

Quando ocorre uma reclamação, o primeiro passo a dar será o de realizar o chamado diagnóstico preliminar que será detalhado adiante. No caso da detecção da anomalia se verificar no decorrer de uma inspecção periódica, o responsável pela inspecção deverá proceder, de imediato, ao diagnóstico preliminar.

Na sequência do diagnóstico preliminar, abrem-se 5 caminhos possíveis de encaminhamento do problema. O caminho designado por (1) no esquema da Figura 1, resulta de uma situação em que a intervenção de reparação necessária estava já prevista nos procedimentos de manutenção planeada e estes se realizarão em tempo útil, pelo que não será efectuada nenhuma acção específica de correcção do problema.

A alternativa (2) ocorre quando a partir do diagnóstico preliminar se conclui que se trata de uma situação fora do âmbito do SIMEH, quer porque não é possível identificar uma ou mais patologias tipo a ser exploradas num diagnóstico específico (ver caracterização deste procedimento mais à frente), sendo assim necessária a realização de um estudo por um técnico especializado que vá mais longe do que os procedimentos tipificados do SIMEH, quer porque a dimensão do problema ou o estado de degradação do edifício conduzem à ne-

cessidade de uma reabilitação, não se enquadrando esta acção na área da simples manutenção.

A hipótese (3) do esquema verifica-se quando o diagnóstico preliminar é suficientemente conclusivo e dispensa qualquer análise posterior. Nessa situação, pode ser seleccionada uma ficha de intervenção tipo, para que se proceda à acção de reparação.

Quando os dados recolhidos pelo diagnóstico preliminar permitem a identificação de uma ou mais patologias tipo a estudar com mais detalhe, estaremos nos casos (4) ou (5). Em ambos se procede ao chamado diagnóstico específico, podendo este conduzir à conclusão de que se trata de uma situação exterior ao SIMEH, caminho (4), ou conduzir à selecção de uma ficha de intervenção tipo que permitirá uma reparação imediata, caminho (5).

Para a aplicação da metodologia proposta foi necessário, como já dissemos, tipificar procedimentos e adaptá-los a pessoal não técnico. Assim, foram concebidas fichas de diagnóstico (preliminar e específico) e fichas de intervenção. De seguida, caracterizaremos, sumariamente, estas ferramentas.

2.2 Procedimento para um diagnóstico preliminar

Na Figura 2, apresenta-se a ficha de diagnóstico preliminar que pretende orientar a primeira recolha de dados relativos à ocorrência de uma determinada anomalia construtiva. Trata-se, basicamente, de um formulário a ser preenchido e teve em conta os seguintes aspectos mais relevantes:

- Uma vez que o preenchimento da ficha poderá vir a ser feito por pessoal não técnico, a abordagem teria de ser simples e a linguagem a utilizar não poderia ser especializada mas sim acessível a todos;
- O conjunto de informações recolhidas teria de ser, suficientemente, completo e elucidativo de forma a permitir uma avaliação qualificada de um técnico dos serviços centrais e a identificação segura da acção de reparação a empreender ou das análises subsequentes a efectuar (diagnóstico específico).

Na ficha de diagnóstico preliminar são recolhidos dados referentes ao local da anomalia, a eventuais intervenções anteriores no mesmo local, ao aspecto e extensão da anomalia (poderá recorrer-se ao registo fotográfico), à inspecção de compartimentos vizinhos, à evolução do problema no tempo, etc. É, ainda, previsto um campo para preenchimento por parte do técnico dos serviços centrais de modo a completar a caracterização construtiva do elemento afectado, a identificar a anomalia e a definir o encaminhamento a dar ao processo.

DIAGNÓSTICO PRELIMINAR	DIAGNÓSTICO PRELIMINAR
<p>INFORMAÇÃO GERAL</p> <p>Empreendimento: _____</p> <p>- Modo de edificação: _____ Habitação: _____</p> <p>- Motivo da Inspeção: Reclamação _____ Inspeção de rotina _____</p> <p>- Inspeção feita por: _____ Hora: _____ Data: _____</p> <p>CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL ONDE SE MANIFESTA A ANOMALIA</p> <p>Identificação do local: _____</p> <p>- Sistema / Instalação / Componente: _____</p> <p>- Intervenções anteriores: _____ Responsável: _____ Data: _____</p> <p>DESCRIÇÃO DA MANIFESTAÇÃO / EXAME</p> <p>- Aspecto da manifestação: _____</p> <p><small>Local fotografado ou filmado. Local fotografado ou filmado e data e hora da primeira manifestação.</small></p> <p>- Observação visual da anomalia: _____ Esquema: _____</p> <p>Amostragem e localização? _____</p> <p>Extensão aproximada: _____</p> <p>- Prolonga-se para outros compartimentos? _____ Quais? _____</p> <p><small>Indicar se a anomalia é permanente ou transitória, se há relação com o movimento das águas, se há risco de danos materiais.</small></p> <p><small>Indicar se a anomalia é de natureza estrutural ou decorativa.</small></p> <p>- História: _____</p> <p>Data em que surgiu: _____ Estado de tempo: _____</p> <p>Aparece e desaparece em ciclos? _____ Como evoluiu: _____</p> <p>- Manifestações afins: _____</p> <p><small>Indicar se há infiltração de água, se há danos materiais, se há risco de danos materiais.</small></p>	<p>OBSERVAÇÕES</p> <p>Deverão ser escritas, neste campo, todas as considerações que se julgarem relevantes para o caso em análise.</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>A PREENCHER PELO TÉCNICO</p> <p>- Caracterização construtiva de zona afetada: _____</p> <p>- Identificação da anomalia: _____</p> <p><input type="checkbox"/> CASO PARTICULAR</p> <p>Necessário intervenção de um técnico especializado</p> <p>Observações: _____</p> <p><input type="checkbox"/> CASO TÍPICO</p> <p><input type="checkbox"/> Dar por concluído o diagnóstico</p> <p>Ficha(s) de intervenção a utilizar: _____ Referência: _____</p> <p>Observações: _____</p> <p><input type="checkbox"/> Prover o diagnóstico específico</p> <p>Diagnóstico(s) específico(s) a utilizar: _____ Referência: _____</p> <p>Observações: _____</p> <p><input type="checkbox"/> CASO DO ÂMBITO DA MANUTENÇÃO</p> <p>Procedimentos de manutenção: _____</p> <p>Data: ____/____/____</p> <p style="text-align: right;">Obrato</p>

Figura 2: Ficha de diagnóstico preliminar [1].

2.3 Fichas de diagnóstico específico

Quando a conclusão do diagnóstico preliminar indica a necessidade de inspeccionar com mais detalhe numa determinada direcção, tendo por base uma ou mais patologias prováveis, utilizam-se as fichas de diagnóstico específico que, para cada tipo de patologia, conduzem o novo levantamento de dados e orientam a sua análise.

Suponhamos, por exemplo, que o diagnóstico preliminar indicou a possibilidade de estar a ocorrer uma infiltração de água. Trata-se, agora, de confirmar essa suspeita e de identificar as suas origens. Na Figura 3, podemos ver as duas primeiras páginas da ficha de diagnóstico específico para infiltrações.

Em cada uma destas novas fichas é apresentada alguma informação prévia sobre o fenómeno em causa e seus sintomas, de forma a permitir uma identificação mais fácil por alguém sem formação técnica. Seguem-se uma série de campos de preenchimento, referentes a verificações importantes para o diagnóstico que, no caso das infiltrações, serão, entre outras: a ocorrência de fissuração, o destacamento de revestimentos, deficiências na zona do enquadramento de vãos, a falência da impermeabilização de coberturas, a existência de anomalias no sistema de drenagem, deficiências na vedação de juntas, etc.

DIAGNÓSTICO ESPECÍFICO	
V - DIAGNÓSTICO DAS CAUSAS	
Demoração para qual se verifica a infiltração da humidade	Causas possíveis
□ Parede exterior	<input type="checkbox"/> Falhas de execução
	<input type="checkbox"/> Deslocamento de revestimento exterior
	<input type="checkbox"/> Impermeabilização incorrecta em zonas próximas do revestimento
	<input type="checkbox"/> Deficiência na construção e execução de paredes de alvenaria
	<input type="checkbox"/> Existência de porcelanatos obturados com argamassa ou impermeabilizante
	<input type="checkbox"/> Defeitos de aplicação das juntas com inclinação para exterior
	<input type="checkbox"/> Dificuldade de execução de juntas de dilatação, obturadas com resinas ou materiais inadequados
	<input type="checkbox"/> Deficiência em emprego de impermeabilizantes em juntas de dilatação estruturais, ou funcionamento incorrecto
	<input type="checkbox"/> Vedação incorrecta de juntas de dilatação
	<input type="checkbox"/> Falhas de execução de juntas de dilatação
□ Enquadramento das janelas	<input type="checkbox"/> Anomalias na execução
	<input type="checkbox"/> Deficiente aplicação de selos, aplicação incorreta e parciais
	<input type="checkbox"/> Sistema janelas em contacto com exterior ou mesmo contacto para o exterior
	<input type="checkbox"/> Sistema sem suporte posterior adequado
	<input type="checkbox"/> Sistema incorrecto
	<input type="checkbox"/> Qualidade dos materiais de vidro do vidro não sendo adequada ao tipo de aplicação
	<input type="checkbox"/> Deficiente qualidade de montagem da janela e do vidro
	<input type="checkbox"/> Deficiente execução do vedante com a câmara não sendo estanque e parcial
	<input type="checkbox"/> Deficiente impermeabilização do contorno das janelas
	<input type="checkbox"/> Deficiente execução do vedante
□ Coberturas inclinadas	<input type="checkbox"/> Impermeabilização parcial mal executada ou deteriorada em sua posição
	<input type="checkbox"/> Deficiente impermeabilização dos elementos de acabamento
	<input type="checkbox"/> Falhas de execução impermeabilizante de impermeabilização
	<input type="checkbox"/> Inicial ou, depois, consumo de água com impermeabilizante inadequado
	<input type="checkbox"/> Inexistência de ventilação de infiltração de infiltração, possibilitando a humidade
	<input type="checkbox"/> Impermeabilização
	<input type="checkbox"/> Anomalias nos elementos de acabamento
	<input type="checkbox"/> Deficiente execução de impermeabilização de impermeabilização
	<input type="checkbox"/> Deficiente execução de impermeabilização de impermeabilização
	<input type="checkbox"/> Deficiente execução de impermeabilização de impermeabilização
□ Coberturas em terraço	<input type="checkbox"/> Impermeabilização
	<input type="checkbox"/> Impermeabilização

Figura 4: Diagnóstico das causas das infiltrações [1].

2.4 Fichas de intervenção

No final do procedimento proposto como estratégia para a manutenção correctiva, temos a adopção de uma ou mais fichas de intervenção que definem pequenas acções de reparação a levar a cabo, de modo a impedir a evolução do processo de degradação que se verificou estar em curso.

Assim, suponhamos que para o exemplo da ocorrência de infiltração de água no interior de um edifício se tinha chegado à conclusão que a anomalia se verificava na vizinhança de uma junta de dilatação que apresentava deficiências de vedação.

Seria, então, seleccionada a ficha de intervenção referente ao tratamento de juntas de dilatação que de uma forma simples e tipificada fornece indicações de como se deverá proceder a essa operação. Na Figura 5, apresenta-se esta ficha.

Para além de um campo de informação geral a preencher, fornece-se, nesta ficha, indicações sobre os materiais e equipamentos a utilizar, estando prevista a hipótese destas indicações serem seleccionadas pelo técnico dos serviços centrais, encontrando este várias alternativas à escolha e ainda, campos em branco para indicações adicionais. São descritas, de seguida, as várias etapas da operação e apresentados esquemas gráficos para uma melhor compreensão.

No campo destinado a observações, será possível ao técnico recomendar cuidados especiais a ter na acção de reparação a efectuar, bem como indicar outras fichas de intervenção que, eventualmente, devam ser utilizadas no mesmo edifício.

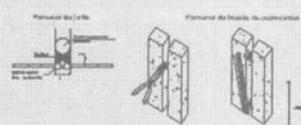
FICHA DE INTERVENÇÃO		FICHA DE INTERVENÇÃO										
[INT. 11. EF. 04. 75. 06]		[INT. 11. EF. 04. 75. 03]										
ELEMENTOS PRINCIPAIS – Parcela de trabalho PARA OBRAS DE MANUTENÇÃO		ELEMENTOS PRINCIPAIS – Parcela de trabalho PARA OBRAS DE MANUTENÇÃO										
TITULÁRIO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO		TITULÁRIO DE JUNTAS DE DILATAÇÃO										
0 – INFORMAÇÃO GERAL 1. Empreendimento: 2. Habitação: Topologia: 3. Separação de Diagn. Preliminar (Klagn. Específico) Apreciação de com a referência: 4. Intervenção efectuada por: Data:		1. Aplicação de dispositivos preventivos Os meios para a evitar que as juntas verticais possam ser, por exemplo, um elemento de fissão, deverão obedecer aos princípios que se descrevem nos seguintes:										
1 – ANOMALIA Treatmento de juntas de dilatação As anomalias em juntas podem ser diversas, afectando as diferentes camadas, sendo as consequências mais graves a perda de estanqueidade e a deterioração do material. As causas podem ser várias, desde a utilização de materiais de baixa qualidade, até a falta de manutenção. Antes de se iniciar os trabalhos, é necessário o diagnóstico correcto de cada junta em questão. Em função do estado de degradação da junta, poderá ser necessário, ou não, realizar todos os trabalhos que se descrevem.		Equipar: 										
II – MATERIAIS E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS Materiais: <input type="checkbox"/> Fita de papel alcatrão (com protecção de novo da junta) <input type="checkbox"/> Mortar à base de polímeros (Elastomero de 1ª categoria, segundo a certificação da TRUP – França) <input type="checkbox"/> Cimento regular de Portland <input type="checkbox"/> Cimento <input type="checkbox"/>		Equipamentos: <input type="checkbox"/> Escova manual <input type="checkbox"/> Fresa <input type="checkbox"/> Escova <input type="checkbox"/> Actinóide <input type="checkbox"/> Martelo <input type="checkbox"/> Pistão para aplicar fita de papel alcatrão <input type="checkbox"/>										
III – INTERVENÇÃO Para o tratamento de juntas de dilatação o conjunto de operações a efectuar são as seguintes:		IV – OBSERVAÇÕES Cuidados especiais para a intervenção em áreas: Outras fichas de intervenção a utilizar: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Designação</th> <th>Referência</th> <th>Nota</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Designação	Referência	Nota						
Designação	Referência	Nota										
I. Retirar todo o material da junta que se apresenta degradado II. Remoção de todo o material que se apresenta a uma altura não inferior de 20 cm III. Casos que necessitem de mais de um tipo de junta Aplicar fita de papel alcatrão de acordo com o procedimento descrito no ponto II. O cimento não deve ser adicionado ao morteiro, e a sua percentagem não deve ser superior a 10% do volume de morteiro. $R = \frac{V}{L \times 12 \text{ cm} \times P} \times 100$ Onde: R = % de cimento L = comprimento da junta em m P = espessura da junta em cm		V – A PREENCHER PELO RESPONSÁVEL PELA INTERVENÇÃO Observação sobre o resultado dos trabalhos: Data: Responsável:										

Figura 5: Exemplo de ficha de intervenção – Tratamento de juntas de dilatação [1].

3 Conclusão

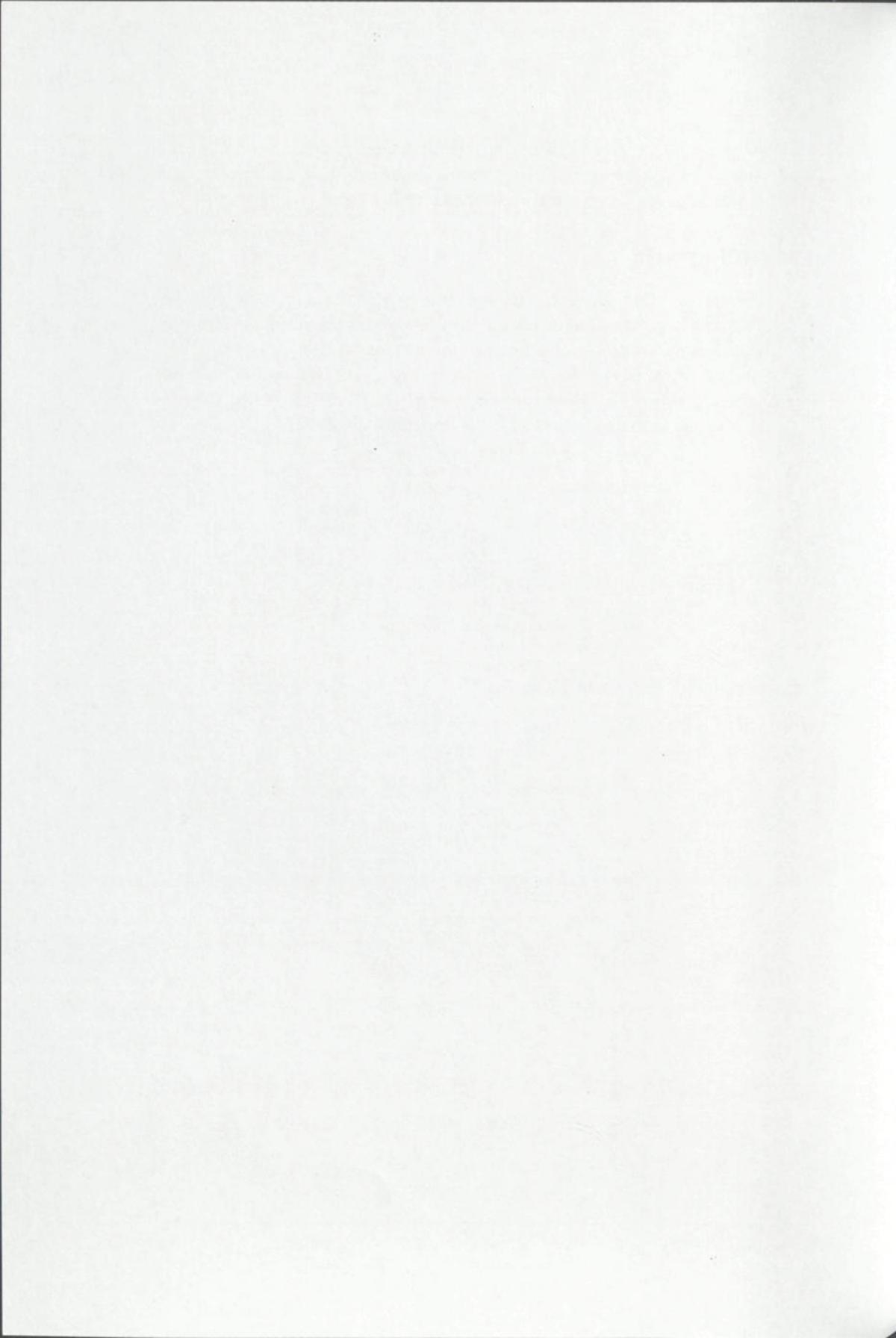
A metodologia proposta para as actuações correctivas, no âmbito de um sistema integrado de manutenção de edifícios, aqui apresentada, teve, como vimos, dois princípios orientadores: a tipificação de procedimentos e a adaptação a uma reduzida disponibilidade de quadros técnicos.

O desenvolvimento de fichas que permitam de uma forma sistemática o levantamento de todos os dados necessários, facilitando, simultaneamente, o registo de todas as ocorrências e fornecendo orientação técnica para pequenas reparações é um trabalho que poderá ser, sucessivamente, melhorado e adaptado a cada empreendimento. O próprio sistema assim o determinará, criando um cadastro que fundamentará, de forma cada vez mais sólida, as decisões a tomar.

Com este tipo de procedimento sistemático, poderemos, mesmo com um quadro técnico muito reduzido, evitar gastos desnecessários e minimizar o carácter aleatório e singular de cada reparação levada a cabo.

4 Bibliografia

- [1] Abrantes, V. *et al.* *Desenvolvimento de uma Metodologia para Implementação de um Sistema Integrado de Manutenção de Edifícios de Habitação*, Relatórios de Progresso. Porto: Instituto da Construção, 2002;
- [2] Antunes, M. & Corvacho, M. H. *The Use of Checklists and Repair Work Sheets in a Building Maintenance System*. XXX IAHS World Congress on Housing, Coimbra, pp. 1959-1964, Setembro de 2002.



PATOLOGIAS OBSERVADAS EM 13 CONJUNTOS HABITACIONAIS DE UM PROGRAMA PER

Nuno Mendes Machado*

Correio electrónico: nuno.machado@fe.up.pt

Isabel Fernandes Lopes†

Correio electrónico: ilopes@fe.up.pt

Vasco Peixoto de Freitas‡

Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

O Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, efectuou um estudo sobre as patologias de 13 conjuntos habitacionais (programa PER – Programa de Erradicação e Reajustamento) de um concelho do distrito do Porto.

A realização deste estudo apoiou-se em várias visitas efectuadas aos edifícios, onde se recolheram fotografias das patologias e testemunhos dos moradores. Foram também consultados elementos dos projectos e realizaram-se sondagens, com o objectivo de avaliar a configuração dos elementos de construção e das causas que estão na origem dos problemas observados.

Palavras-chave: Diagnóstico, Patologia da Construção, Reabilitação de Edifícios.

* Eng.º Civil, mestrando em Construção de Edifícios na FEUP, colaborador do Laboratório de Física das Construções – LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

† Eng.ª Civil, colaboradora do Laboratório de Física das Construções – LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

‡ Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Director do Laboratório de Física das Construções – LFC.

1 Introdução

O Laboratório de Física das Construções – LFC da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, efectuou um estudo sobre as patologias de 13 conjuntos habitacionais (programa PER – Programa de Erradicação e Realojamento) de um concelho do distrito do Porto.

A realização deste estudo apoiou-se em várias visitas efectuadas aos edifícios, onde se recolheram fotografias das patologias e testemunhos dos moradores. Foram também consultados elementos dos projectos e realizaram-se sondagens, com o objectivo de avaliar a configuração dos elementos de construção e das causas que estão na origem dos problemas observados.

2 Descrição Sumária dos Edifícios

Os conjuntos habitacionais estudados apresentam diversas configurações para as paredes exteriores e diferentes revestimentos (Figura 1).

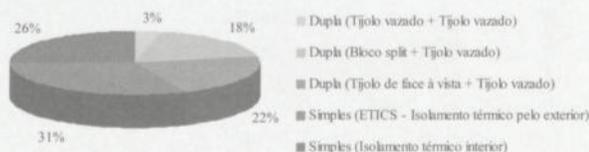


Figura 1: Constituição das paredes exteriores.

As peças desenhadas e escritas a que tivemos acesso, nem sempre se encontravam completas ou não correspondiam ao edificado, surgindo dificuldades na análise dos pormenores construtivos. Sempre que ocorria uma situação de dúvida foram realizadas sondagens.

O gráfico da Figura 2a mostra que 85 % dos fogos tem isolamento térmico nas paredes exteriores.

Foram encontrados edifícios cuja cobertura não tinha isolamento térmico (8 %), embora haja algumas dúvidas em relação àqueles em que não foi possível verificar a sua existência (23 %). Relativamente ao tipo de isolamento térmico utilizado, verifica-se que o poliestireno e a lã mineral são os materiais mais utilizados (Figura 2b).

O revestimento das coberturas inclinadas é realizado por chapas de fibrocimento. As coberturas planas estavam impermeabilizadas com telas em PVC com protecção pesada.

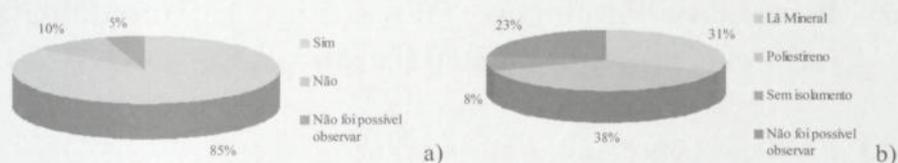


Figura 2: Isolamento térmico; a) Nas fachadas; b) Nas coberturas.

Na generalidade, o sistema de ventilação dos edifícios era natural, existindo apenas um conjunto habitacional em que a ventilação era mecânica e centralizada na cobertura.

Cerca de 50 % dos fogos apresentavam dispositivos de admissão de ar através dos compartimentos principais (quartos e sala), como se pode observar no gráfico da Figura 3.



Figura 3: Admissão de ar através dos compartimentos principais.

A extracção de ar efectua-se pelos compartimentos de serviço (cozinha e instalações sanitárias). Cerca de 47 % dos fogos apresentava extracção mecânica de ar nas cozinhas (Figura 4a). Em grande parte dos fogos, as cozinhas não estavam separadas fisicamente da lavandaria.

Cerca de 39 % das instalações sanitárias dispunham de um sistema de autoventilação constituído por grelhas de admissão e extracção de ar (Figura 4b).

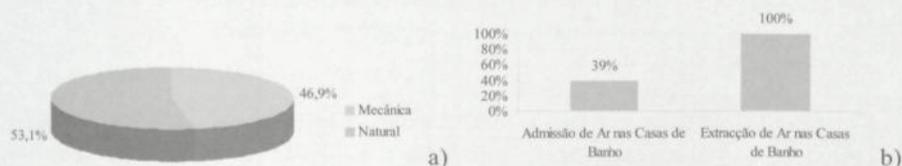


Figura 4: Extracção de ar; a) Cozinhas; b) Instalações sanitárias.

3 Principais Patologias Observadas e Metodologia para os Trabalhos de Reparação

3.1 Patologias observadas no exterior

3.1.1 Paredes exteriores

Foram observadas fissuras na envolvente exterior dos edifícios. A Figura 5 mostra diferentes tipos de fissuração. Esta anomalia resultará da forma como foi aplicado o pano exterior, do apoio em corpos em consola, da falta de confinamento dos elementos e do comportamento do tijolo face às acções higrotérmicas (expansão do tijolo). É frequente o pano exterior estar parcialmente apoiado sobre a forra, que faz o tratamento do topo da laje, e o grampeamento do pano exterior não existir ou ser inadequado.

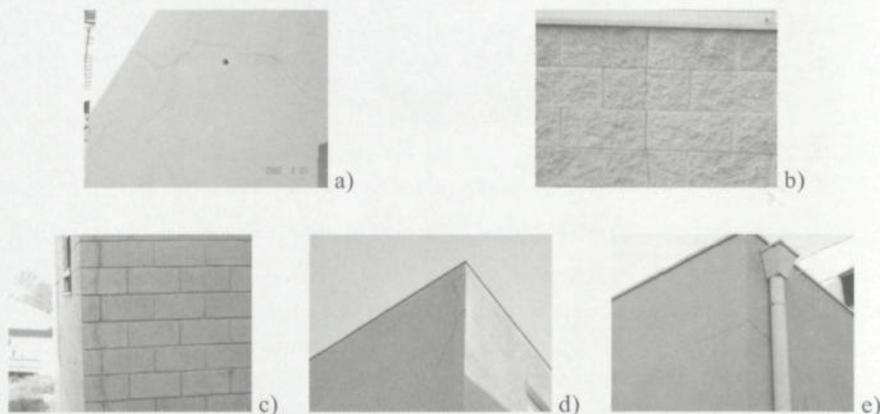


Figura 5: Fissuração em fachadas; a) e b) Fissuração em zona corrente; c) e d) Fissuração em cunhais; e) Fissuração na platibanda.

Tendo em atenção as fissuras detectadas e a falta eventual de estabilidade revelada pelos panos exteriores de parede, consideramos que a reparação das fachadas rebocadas terá que ser devidamente ponderada, em termos económicos e de segurança na utilização, e deverá orientar-se pelos seguintes princípios:

- Travamento complementar do pano exterior;
- Tratamento prévio das fissuras;

— Revestimento integral das paredes com sistema de isolamento térmico exterior associado a reboco delgado armado à base de argamassa com polímeros — ETICS.

O tratamento das fissuras em bloco *split* e em tijolo de face à vista exige uma substituição parcial dos elementos fissurados por uma forra do mesmo material, após tratamento das fissuras, admitindo que o pano exterior tem um apoio estável e está convenientemente grampeado.

As juntas de dilatação (Figura 6) deverão ser tratadas com um mástique à base de poliuretano de características adequadas. É vantajosa a aplicação de um cobre-juntas, para protecção mecânica das juntas (Figura 7).

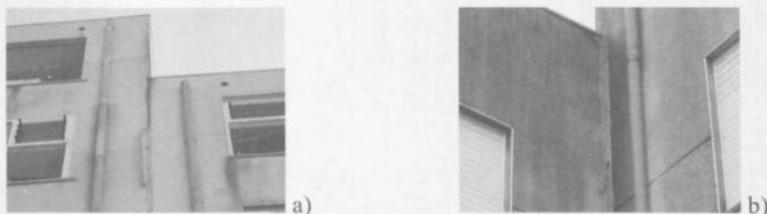


Figura 6: Degradação da juntas de dilatação.

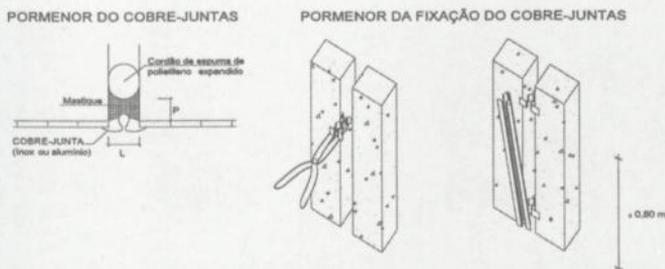


Figura 7: Esquema de princípio do tratamento das juntas de dilatação vertical.

3.1.2 Cobertura

Uma das anomalias mais frequentes observada nas coberturas em terraço foi a degradação do sistema de impermeabilização, nomeadamente nas platibandas e nos elementos emergentes da cobertura (Figura 8). Também foi verificado em alguns algerozes deficiências nos remates com a platibanda.

Na solução de reparação, para além da correcção da impermeabilização, foi recomendada a colocação de poliuretano projectado sob os algerozes para as situações em que não havia continuidade do isolamento térmico da cobertura.

Foi observado que a ligação cobertura/fachada em tijolo de face à vista era deficiente permitindo a entrada de água para o interior (Figura 8c). Para esta anomalia preconizou-se a desmontagem do pano exterior, por troços, de forma a corrigir a impermeabilização que deve subir 0,20 m na face exterior do pano interior da parede.

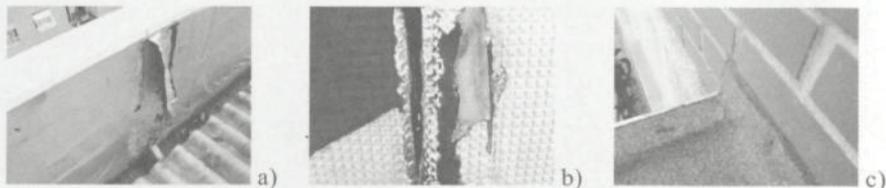


Figura 8: a) e b) Degradação do sistema de impermeabilização das platibandas; c) Ligação cobertura/fachada não adequada.

As infiltrações que se verificaram em fogos situados no último andar deviam-se a um deficiente remate ou má colocação das chapas de fibrocimento.

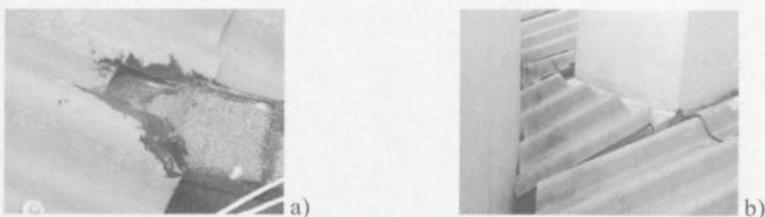


Figura 9: Deficiente remate ou má colocação das chapas de fibrocimento.

A inexistência de isolamento térmico ou o deficiente posicionamento das placas de poliestireno expandido sobre a laje da cobertura (Figura 10a) são a causa das condensações observadas nos tectos dos fogos do último andar (Figura 10b e Figura 10c). Foi recomendado não só uma recolocação adequada do isolamento como também um reforço da sua espessura.



Figura 10: a) Deficiente posicionamento do isolante térmico na cobertura; b) e c) Condensações em tectos do último andar.

3.2 Patologias observadas no interior

3.2.1 Paredes e tectos

Foram observados muitos fogos com problemas de condensação em paredes e tectos (Figura 11). A ocorrência de condensações superficiais em paredes e tectos, deve-se à persistência de uma humidade relativa elevada, junto a essas superfícies, o que facilita o aparecimento e o desenvolvimento de bolores.

As condensações ocorrem quando se verificam uma ou mais das seguintes condições:

- Ausência de aquecimento do ambiente interior ou aquecimento insuficiente e intermitente ($t < 17\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- Fraco isolamento térmico da envolvente;
- Produção de vapor de água significativa no interior do fogo;
- Ventilação insuficiente;
- Higroscopicidade inadequada dos revestimentos interiores.

A resolução do problema passa pela intervenção que passamos a enunciar:

- Reforço do sistema de ventilação dos fogos;
- Desumidificação;
- Eventual reforço de isolamento térmico na laje de tecto da cobertura inclinada.

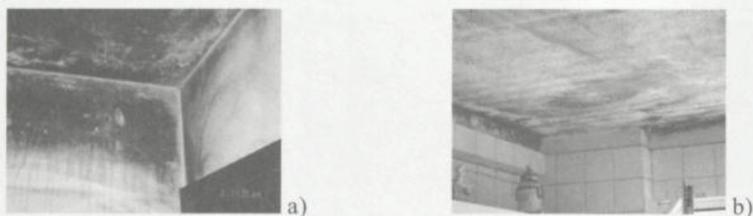


Figura 11: Condensações superficiais.

Também foram observadas condensações superficiais nas zonas de ponte térmica (Figura 12). Uma solução para o problema passa pela aplicação, no interior, de painéis de gesso cartonado associado a isolante térmico.

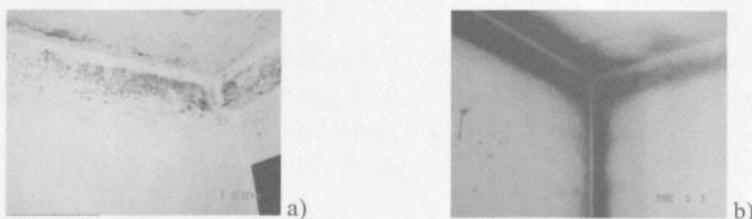


Figura 12: Condensações superficiais nas zonas de ponte térmica.

A falta de qualidade das redes de abastecimento de água e drenagem de esgotos estão na origem de fugas nas canalizações que provocam a degradação visível dos revestimentos (Figura 13).

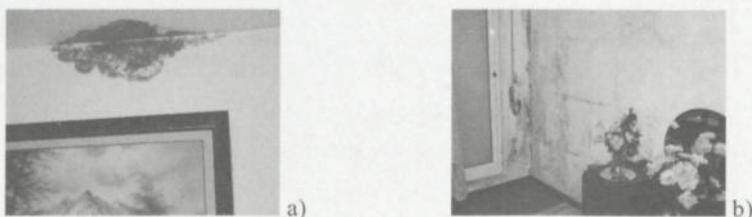


Figura 13: Humidade resultante de fugas nas canalizações.

Também se verificaram infiltrações pelas chaminés correspondentes às condutas de ventilação (Figura 14a). A chuva, sob acção do vento, infiltrava-se pelos ventiladores estáticos (Figura 14b). Em certos casos, os sistemas de ventilação não garantiam uma extracção eficaz de todos os fogos como se pode

verificar na Figura 14c, e o seu dimensionamento não estava de acordo com as recomendações do LNEC.



Figura 14: Infiltração pelo sistema de ventilação; a) Manchas de humidade junto às saídas de ar; b) Ventilador estático; c) Conduatas de ventilação.

3.2.2 Pavimentos

As anomalias verificadas nos pavimentos foram essencialmente o descolamento dos revestimentos, nomeadamente dos elementos cerâmicos devido à sua expansão, pelo facto de não terem sido criadas as juntas adequadas (Figura 15).

A expansão da cerâmica com a humidade é particularmente preocupante devido à sua parcela irreversível, podendo atingir valores significativos. Este fenómeno varia com o tipo de material. Em Portugal não há estudos completos de caracterização da expansão irreversível dos elementos cerâmicos, mas sabemos que o desenvolvimento deste processo pode atingir vários anos, existindo registos de acidentes causados por este fenómeno em construções com mais de cinco anos.



Figura 15: Destacamento do revestimento cerâmico.

Para evitar o aparecimento deste tipo de anomalias é conveniente criar juntas de fraccionamento que permitam absorver os movimentos dos pavimentos. As juntas devem ser criadas no contorno e espaçadas de 2 m em 2 m, sendo preenchidas com um mástique adequado para pavimentos.

3.2.3 Vãos envidraçados

A degradação dos apanelados (Figura 16a) e dos revestimentos das paredes adjacentes aos vãos (Figura 16b e Figura 16c) eram anomalias frequentes devido à entrada de água pelas caixilharias. As infiltrações que se verificavam nas janelas tinham origem na ligação da caixilharia à fachada (configuração das padieiras, ombreiras e peitoris) e na inexistência de corte hídrico contínuo.

Nas caixilharias onde ocorriam infiltrações de água, foi recomendado realizar um corte hídrico contínuo entre o pano exterior e o pano interior de parede.



Figura 16: Infiltrações pela caixilharia.

4 Conclusões

As principais anomalias observadas no presente estudo (1665 fogos), são as condensações superficiais e as infiltrações pelas paredes. O primeiro problema, causado pelo deficiente funcionamento do sistema de ventilação, ausência de aquecimento, reduzida inércia higroscópica e deficiente isolamento térmico, representa um grave problema na medida em que a sua resolução depende do trinómio aquecimento/desumidificação/ventilação. Estes conjuntos habitacionais, construídos no âmbito do programa PER, são destinados a famílias de recursos limitados pelo que dificilmente poderão aquecer as casas. Nestes edifícios a desumidificação é a solução mais razoável para a resolução do problema.

O problema das infiltrações pelas fachadas prende-se com a deficiente concepção e execução da ligação caixilharia/fachada e pela inexistência de um corte hídrico contínuo.

5 Bibliografia

- [1] Freitas, V. P.; Machado, N. & Lopes, I. *Relatórios LFC/IC 101, 102, 103, 104, 109, 110, 111, 113, 114, 119, 120*, Porto, 2002.

PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

A Cidade de Vila Real

Sandra Pereira*

Correio electrónico: spereira@utad.pt

Jorge Faustino†

Correio electrónico: faustino@utad.pt

José Barbosa Vieira‡

Correio electrónico: jbvieira@utad.pt

Anabela Paiva§

Correio electrónico: apaiva@utad.pt

Resumo

O trabalho apresentado nesta comunicação insere-se num dos projectos do Observatório da Construção de Trás-os-Montes e Alto Douro, que visa a criação de um sistema de certificação de edifícios de habitação, situados em Trás-os-Montes e Alto Douro (TMAD). Este trabalho está a ser desenvolvido em colaboração com a Caixa Geral de Depósitos e com as Câmaras Municipais das oito cidades de TMAD.

Neste sentido, foi realizado o levantamento das principais patologias existentes em edifícios de habitação, na cidade de Vila Real. O levantamento foi efectuado através de inquéritos dirigidos aos utilizadores de edifícios de habitação desta cidade, com menos de 6 anos de idade.

A presente comunicação centra-se na análise dos resultados dos inquéritos realizados na cidade de Vila Real. São ainda reportados e analisados os principais resultados do tratamento estatístico dos dados recolhidos e apresentadas algumas sugestões no sentido de solucionar este tipo de problemas.

Palavras-chave: Patologias, Qualidade, Edifícios de habitação.

* Eng.^a Civil, colaboradora da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Engenharias.

† Assistente da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Engenharias.

‡ Prof. Auxiliar Convidado da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Engenharias.

§ Prof. Associado da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Departamento de Engenharias.

1 Introdução

No âmbito do Observatório da Construção de Trás-os-Montes e Alto Douro [1], está a ser desenvolvido trabalho conducente à definição de um sistema de certificação e avaliação da qualidade de edifícios de habitação, adaptado à realidade de TMAD [2]. Com o desenvolvimento e implementação deste sistema pretende-se contribuir, de forma sustentada, para a melhoria da qualidade dos edifícios de habitação. O sistema deve ser aplicável a edifícios de habitação, nas fases de projecto e construção, bem como a edifícios já construídos.

No sentido de desenhar e implementar o processo de certificação, é importante caracterizar a atitude das várias entidades envolvidas no processo de construção. Um primeiro passo consiste em realizar o levantamento dos aspectos mais relevantes que influenciam a decisão de aquisição de habitação, e proceder à análise dos resultados. Um factor crítico de sucesso desta iniciativa é a sensibilização dos consumidores e das restantes entidades envolvidas neste processo para a necessidade, importância, e inevitabilidade, de um processo de certificação.

Tendo em vista os objectivos referidos, foi definida uma metodologia que passa pela caracterização dos aspectos mais relevantes que influenciam a decisão de aquisição de habitação em TMAD [2] e pelo levantamento das patologias mais frequentes no parque habitacional de TMAD [3]. O levantamento das patologias está a ser realizado através de inquéritos dirigidos aos utilizadores de edifícios de habitação com menos de 6 anos (1996-2000), em 8 cidades de TMAD.

Nesta comunicação são apresentados os principais resultados dos 112 inquéritos realizados na cidade de Vila Real. São, também, apresentadas justificações para os resultados obtidos, bem como algumas sugestões no sentido de solucionar os problemas encontrados.

2 Análise dos Resultados Obtidos nos Inquéritos

2.1 Características genéricas dos edifícios estudados

Da análise dos resultados dos 112 inquéritos realizados em edifícios de habitação multifamiliar, na cidade de Vila Real, pode concluir-se que:

- 41 % dos edifícios analisados têm 3 anos de idade, 22 % têm 2 anos de idade e 15 % têm 4 anos de idade;
- A tipologia mais frequente é a tipologia T3, ocorrendo em 46 % das habitações analisadas;

- 35 % dos edifícios têm 3 andares, 25 % têm 6 andares e 21 % têm 5 andares;
- 84% dos edifícios possuem elevadores;
- 64 % dos edifícios têm o rés-do-chão destinado a comércio;
- 74 % dos edifícios são em banda, situando-se 42 % destes no extremo da banda;
- 36 % dos edifícios têm cobertura em terraço e 33 % têm cobertura inclinada com telha de barro.

2.2 Análise das patologias

As patologias (problemas, anomalias) analisadas no interior das habitações estão relacionadas com: humidade, isolamento acústico, isolamento térmico, ventilação, segurança contra incêndios e acesso a deficientes.

Através da análise dos inquéritos verifica-se que os principais problemas são [4]:

- A falta de acesso para deficientes em 86 % dos casos;
- A existência de ruídos incómodos em 85 % dos casos;
- Os problemas devidos à humidade em 59 % dos casos;
- Os gastos elevados ou muito elevados com aquecimento em 51 % dos casos.

Através da análise dos resultados referentes às zonas comuns dos edifícios, pode concluir-se que os elementos construtivos onde aparecem mais problemas são os degraus das escadas (31 %).

O problema mais frequente nos degraus é o aparecimento de manchas, em 63 % dos casos, sendo esta percentagem relativa apenas ao total dos degraus onde aparecem problemas. Nos restantes elementos as manchas são também o problema mais frequente, com excepção das paredes das comunicações horizontais, em que o problema mais frequente é o descasque da tinta. No pavimento da entrada também é frequente a danificação do material de revestimento, bem como nas paredes da entrada e da caixa de escadas o aparecimento de manchas.

Pela análise dos resultados da pergunta relativa à avaliação do estado da zona comum, verifica-se que é razoável em 53 % dos casos e bom em 40 % dos casos.

Relativamente ao exterior do edifício verifica-se que há patologias no exterior em 48 % dos casos, sendo as mais frequentes a queda de revestimento (57

%) e o aparecimento de fissuras (56 %). Verifica-se ainda que o revestimento mais comum nas fachadas são os materiais cerâmicos (73 %).

Pela análise do gráfico da Figura 1, verifica-se que 48 % dos edifícios com problemas de humidade têm as fachadas revestidas com material cerâmico.

Pela análise dos resultados da pergunta relativa à avaliação do estado do exterior do edifício, verifica-se que é razoável em 54 % dos casos e bom em 41 % dos casos.

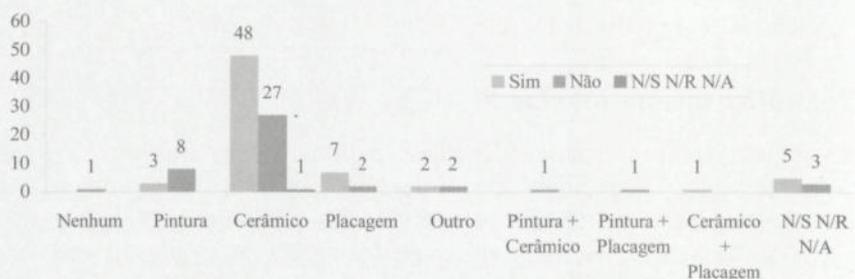


Figura 1: Problemas de humidade – revestimento exterior.

No ponto seguinte são apresentadas justificações para a existência de ruídos incómodos, problemas devidos à humidade e gastos elevados ou muito elevados com aquecimento, que correspondem às principais anomalias nos edifícios de habitação multifamiliar na cidade de Vila Real. Também são apresentadas algumas sugestões no sentido de solucionar este tipo de problemas.

3 Justificação e Soluções para as Principais Patologias

3.1 Existência de ruídos incómodos

De acordo com a análise dos inquéritos realizados, verifica-se que em 85 % dos casos há incomodidade resultante de ruído da vizinhança (Figura 2).

A incomodidade da vizinhança, em 48 % dos casos, é proveniente das habitações superiores. Seguem-se os ruídos provenientes da zona comum (38 %), do exterior da habitação (32 %), das habitações inferiores (31 %) e do elevador (29 %).

Relativamente à incomodidade proveniente de ruídos emitidos no interior da habitação, a percentagem de respostas afirmativas reduz-se para metade (43 %), em comparação com o ruído de vizinhança.

Os ruídos incómodos provenientes da habitação têm origem essencialmente nos WC's e provocam incomodidade nos quartos, em 29 % dos casos (percentagem relativa à percentagem de respostas afirmativas).

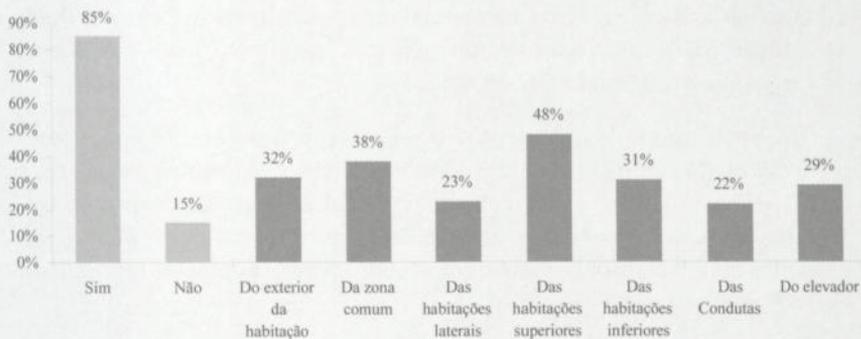


Figura 2: Isolamento acústico – ruídos provenientes do exterior.

Através da observação de várias obras e da realização de inquéritos a alguns dos principais construtores de Vila Real, chegou-se à conclusão que o tipo de construção predominantemente é do tipo tradicional, executado em estrutura porticada de betão armado, lajes aligeiradas, alvenarias exteriores duplas em tijolo cerâmico e divisórias interiores em tijolo cerâmico.

A análise dos inquéritos indica que os envidraçados são constituídos por vidro duplo, em 90% dos casos, com predominância de aplicação de caixa de estores para colocação de persianas.

A caixa de elevador é executada em betão armado, com revestimento aplicado directamente sobre as paredes estruturais da mesma, ou sobre uma parede de tijolo cerâmico, que forra esta caixa na zona dos apartamentos.

Nos pavimentos executa-se geralmente uma camada de regularização em argamassa de cimento e areia, para posterior colocação do revestimento final. Este tipo de pavimento não contém descontinuidades na sua constituição.

De um modo geral, a execução das tubagens é realizada com recurso a abertura de rasgos em paredes e pavimentos, resultando numa falta de continuidade de comportamento dos elementos à exigência funcional *isolamento sonoro*.

Com base em bibliografia existente na área [4, 5] e na análise do tipo de construção predominante na região de Vila Real e dos inquéritos realizados podem sugerir-se algumas justificações para a ocorrência de incomodidade devida ao ruído:

- Os ruídos incómodos provenientes das habitações laterais, superiores e inferiores podem ser devidos ao facto de o edifício ter sido construído em situação de incumprimento da legislação sobre o ruído, nomeadamente no que respeita aos elementos de separação de fogos do mesmo edifício. A incomodidade proveniente dos pisos superiores pode ser devida à abertura de roços nos pavimentos estruturais, na fase de construção, para instalação de tubagens, os quais provocam o aumento da transmissão de ruído por condução aérea;
- De igual modo, os elementos de separação das zonas comuns não são executados com suficiente isolamento sonoro a sons de condução aérea. Regra geral, nas zonas comuns estes elementos são executados com materiais com baixo coeficiente de absorção sonora, resultando assim uma reverberação elevada com o conseqüente aumento do valor do nível sonoro nessas zonas;
- Os ruídos incómodos provenientes do exterior da habitação indiciam falhas de isolamento sonoro a sons aéreos na zona dos vãos envidraçados, uma vez que predominantemente se usa como protecção solar as persianas, incorporadas nas caixas de estore. Com esta solução resultam descontinuidades do isolamento sonoro a sons de condução aérea, da fachada dos edificios. Há ainda pouco cuidado em melhorar o isolamento sonoro das caixas de estores, que seria possível através da colocação no seu interior de um material absorvente;
- Relativamente ao ruído proveniente dos elevadores, colocados numa caixa de betão armado, há transmissão de energia sonora directamente para os fogos, uma vez que não há separação resiliente entre o fogo e o elevador, pois regra geral faz-se o revestimento da caixa de elevador directamente sobre o betão armado. Mesmo quando se faz uma parede de tijolo a formar parede dupla com o betão, não existe o cuidado de separar os elementos por materiais resilientes, nem de colocar materiais absorventes na caixa de ar;
- No que diz respeito aos ruídos provenientes do interior da habitação, a situação mais incómoda é a provocada pela utilização dos WC's. Isto é devido ao facto de, geralmente, não haver qualquer cuidado no isolamento das canalizações, o qual é necessário para a redução do ruído emitido pelas descargas de efluentes domésticos.

3.2 Problemas devidos à humidade

Conclui-se do tratamento dos dados do inquérito realizado em Vila Real que as principais patologias em paredes exteriores são:

- Queda de revestimento cerâmico, em 58 % dos casos;
- Fissuras, em 56 % dos casos;
- Manchas, bolores ou fungos, em 24 % dos casos.

As fissuras que a generalidade dos edifícios apresentam são o resultado de um conjunto de factores que, agindo cada um por si isoladamente ou em conjunto, evidenciam o seu efeito na fissuração dos paramentos exteriores (Figura 3). Como factores ou causas, podemos apontar algumas, cujos efeitos não são unicamente visíveis em TMAD [6, 7, 8].

A existência de uma ligação deficiente entre elementos com módulos de elasticidade diferentes.

A ligação estrutura resistente/parede exterior, é frequentemente, executada de uma forma incorrecta, através da aplicação deficiente dos elementos metálicos que efectuem o travamento, das redes metálicas ou acrílicas quer no tipo, qualidade e resistência da rede aplicada, (quando aplicada), e essencialmente no inadequado comprimento de amarração. Assim, apenas é deslocada a localização da provável fissura. A aplicação de retículos de armaduras cruzadas na ligação entre diferentes elementos, apenas transporta as fissuras para os extremos do reticulado.

A ligação entre diferentes elementos é mais grave e visível na maioria dos edifícios quando se analisam elementos como platibandas e guardas de varandas. Há um corte nítido na ligação entre a base de assentamento horizontal e o elemento vertical (Figura 3). Os pilares utilizados são escassos, (deviam ser espaçados de 2 m a 3 m) e não possuem os devidos comprimentos de amarração das armaduras. É visível o escorregamento e a falta de cinta de travação. Nos cunhais não é efectuada uma correcta continuidade das armaduras. Há cortes que evidenciam esse facto.

Os moldes utilizados em pilares de betão armado são geralmente metálicos, não sendo possível deixar ferros que efectuem essa ligação. A parede exterior, se desligada da estrutura resistente, nem sempre está devidamente isolada e protegida de possíveis movimentos do betão armado.

As alvenarias, são executadas utilizando argamassas sem qualquer controle, juntas com grandes espessuras 2 cm, 3 cm e 4 cm (a espessura aconselhada é de 1 cm). Não há cuidado na localização da paragem de assentamento das paredes de alvenaria de tijolo quando o pano não é construído todo no mesmo dia.

Por outro lado, no Norte do país, a principal técnica utilizada de impermeabilização das paredes exteriores é o ceresitamento das superfícies, isto é, a aplicação de uma argamassa rica ao traço 1:2, com aditivo hidrófugo, com mais ou menos 1,5 cm de espessura. Porque é uma argamassa rica em cimento, está sujeita a retracções e parte ao menor movimento da estrutura, não per-

mitindo a dissipação de fissuras. Sobre este ceresite utilizam-se, quase sempre, rebocos demasiado fortes, o que conduz a superfícies fissuradas na sua quase totalidade. Estas fissuras apresentam-se de uma forma aleatória, isto é, sem direcção definida.

Os betões não são geralmente devidamente controlados e, não tendo a resistência indicada, além de outros factores, conduzem a fluências elevadas, o que provoca inevitáveis fissuras e até ruína e esmagamento das alvenarias de tijolo.

Betões fracos em resistência, sem compacidade, comprimentos de amarração das armaduras deficientes, etc., são factos visíveis nas regiões de TMAD e que provocam fissuras que mesmo depois de exteriormente tratadas, dificilmente estabilizam. Outro factor fundamental é a deformabilidade excessiva que as estruturas apresentam. Este facto, não colocando em causa a segurança, é negativo em termos da generalidade da construção e deve ser corrigido no acto do cálculo.

Para evitar a frequente queda de revestimento cerâmico (Figura 3) deve ser efectuado o estudo e análise: da qualidade e estado do suporte; do ligante (cola); do material cerâmico e da mão de obra.



Figura 3: Exemplos de queda de revestimento e fissuras em fachadas.

Entende-se por suporte o reboco de base sobre o qual vamos aplicar o revestimento cerâmico como acabamento final. O desempenho, aprumo, rugosidade, eficaz aderência à parede, a argamassa utilizada, entre outros, definem a qualidade do reboco de base. Há um conjunto de cuidados prévios que têm que ser respeitados e correctamente executados, sob pena de o revestimento final vir a evidenciar este facto. Nomeadamente a aplicação de linhadadas, redes acrílicas ou metálicas, ferros na ligação dos panos com os pórticos, são aspectos cuja correcta execução define a qualidade do trabalho e da construção.

A não aplicação das regras de bem construir origina a fissuração do reboco de base que é visível exteriormente, sempre que o revestimento final é cerâmico, pela rotura ou queda do material.

Os produtos cerâmicos (que se aplicam em revestimentos no exterior) são fabricados (cozidos) a altas temperaturas, facto que os torna demasiado rígidos. Consequentemente quando aplicados, partem ou descolam ao menor movimento do suporte.

A elevada temperatura do fabrico melhora a impermeabilização e estanquidade dos produtos cerâmicos. No entanto, ao vitrificar o material, reduz-se-lhe a aderência necessária para aplicação. Os fabricantes de produtos cerâmicos devem efectuar testes (alguns já os realizaram) que conduzam à identificação das colas e ligantes que devem ser utilizados nos produtos que fabricam.

A utilização de ligantes e colas não indicadas (e certificadas) são talvez a principal causa da queda dos revestimentos cerâmicos.

Além do fabrico e utilização não adequada dos ligantes e colas há que considerar as dimensões das peças do revestimento cerâmico porque, quanto maiores forem as dimensões destas, maior é a probabilidade de rotura ou queda do revestimento. Por outro lado, no acto de assentamento das peças cerâmicas o operário deve deixar o intervalo (espaçamento) necessário, entre elementos, capaz de absorver os movimentos provocados pelas amplitudes térmicas. Este espaçamento será o indicado pelo fabricante.

A tomação final das juntas do revestimento cerâmico deve ser efectuada com massas que possuam a elasticidade necessária à absorção das variações das dimensões das peças e que simultaneamente garantam a impermeabilização das juntas.

A queda dos revestimentos cerâmicos em regiões com grandes amplitudes térmicas como TMAD, pode ocorrer essencialmente se o material aplicado for poroso, permitindo que a humidade ambiente, chuvas, etc., nele penetrem até ao suporte, ou que esta humidade e água consigam infiltrar-se pelas juntas entre elementos, seja o material poroso ou não.

Em qualquer dos casos, ao verificar-se uma diminuição acentuada da temperatura e o congelamento, de forma cíclica, da água existente no dorso dos elementos ou nas juntas, as tensões que se desenvolvem provocam a descolagem e queda dos elementos cerâmicos.

Pode não ocorrer a queda dos elementos cerâmicos no todo, mas apenas o descascar (desagregar) do material como consequência do congelamento da água por este absorvida.

A qualidade do material cerâmico a aplicar também é essencial, pelo que, os técnicos que intervêm em qualquer empreendimento devem impor o uso de materiais devidamente certificados.

O recurso a mão de obra qualificada para a aplicação dos produtos cerâmicos (ladrihadores) é difícil, por que não há formação de profissionais (recursos humanos) para as necessidades do mercado, facto que correntemente se verifica na região.

A existência de fissuras em paredes exteriores revestidas com material cerâmico é visível através da ocorrência de manchas e fungos nas juntas dos cerâmicos, local onde a parede fissurou, além das escorrências (babados) de cloretos que constituem os cimentos utilizados nos rebocos de base. Nas fissuras existentes a humidade que nelas penetra efectiva a retenção de poeiras e consequente criação de fungos e manchas.

3.3 Gastos elevados ou muito elevados com aquecimento

Este problema está relacionado por um lado com elevado custo dos combustíveis disponíveis no mercado e com o tipo de construção adoptada nesta região.

Embora seja corrente a aplicação de vidros duplos, como já foi referido, não é comum o isolamento das caixas de estores, solução muito comum nesta cidade, nem a eficiente vedação das caixilharias.

No que se refere à transmissão de calor através das fachadas, embora a solução adoptada, parede dupla com isolamento na caixa de ar, seja regulamentar em termos de projecto, acaba por o não ser após construção, devido à sua deficiente execução [6].

As pontes térmicas continuam a ser um problema, apesar da definição da sua correcção em fase de projecto, pois com frequência não são executadas ou são-no de uma forma deficiente.

4 Conclusões

Os resultados dos inquéritos mostram que os requisitos mínimos de qualidade, no que se refere à construção em Vila Real, não estão a ser cumpridos. Relacionando estes resultados com o tipo de construção mais comum nesta cidade podem retirar-se algumas conclusões que se referem em seguida.

A incomodidade devida ao ruído é devida essencialmente à transmissão do som das habitações superiores. As causas principais estão relacionadas com o deficiente isolamento sonoro, com a não existência de descontinuidades nas lajes de pavimento e com a abertura de roços para passagem de tubagens.

Os problemas devidos à humidade estão essencialmente relacionados com a queda do revestimento e com o aparecimento de fissuras nas fachadas, as quais são devidas, entre outros aspectos, à deficiente ligação estrutura resistente/parede exterior, à espessura das juntas de assentamento e à utilização de argamassas demasiado ricas. A prevenção destes aspectos requer o uso de mão-de-obra qualificada e a aplicação das regras de bem construir.

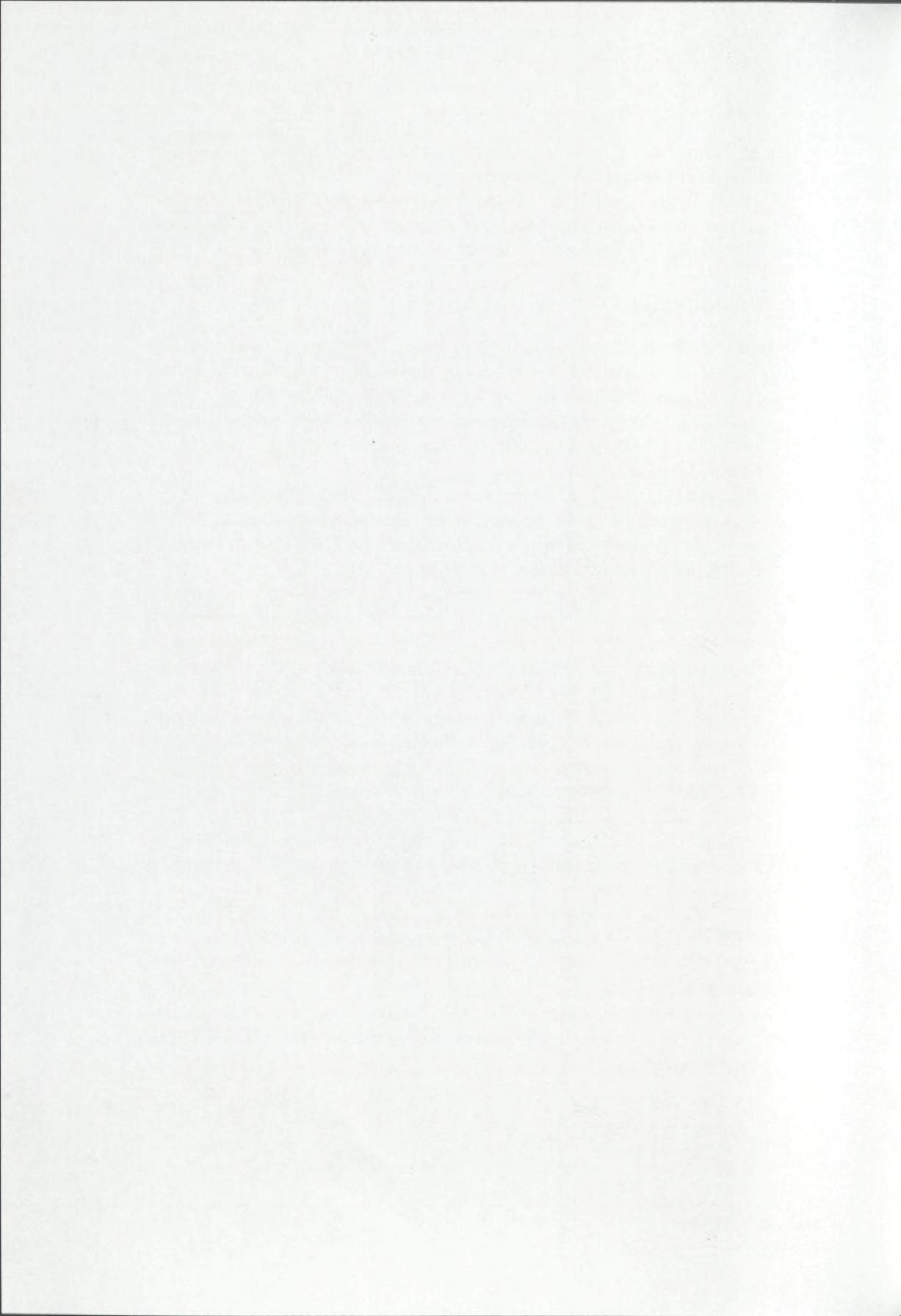
Os gastos elevados em aquecimento estão essencialmente relacionados com a deficiente execução das paredes duplas e colocação do isolamento térmico, uma vez que a aplicação de vidros duplos já está generalizada.

Deve caminhar-se para uma boa aplicação dos regulamentos e legislação, acompanhada por formação contínua, adequada.

É desejável uma reeducação e formação adequada para todos os intervenientes no processo construtivo, com vista a melhorar os padrões da qualidade da construção em Vila Real, em particular nos aspectos acima referidos.

5 Bibliografia

- [1] Paiva, A., Rodrigues, E., Faustino, J., Vieira, J., Ramos, L. *Observatório da Construção em Trás-os-Montes e Alto Douro: um Instrumento de Apoio à Intervenção dos Agentes Regionais do Sector Imobiliário Habitacional*. 3.º Congresso Internacional de Avaliação do Imobiliário, da Construção e de Empresas, 2000. LNEC. Lisboa, Portugal. As actas encontram-se em publicação.
- [2] Paiva, A., Faustino, J. & Vieira, J. *Caracterização da Ocorrência de Patologias em Edifícios de Habitação em Trás-os-Montes e Alto Douro*, Congresso Nacional Construção - Construção 2001, IST, Lisboa, Portugal, pp. 633-640, Depósito Legal n.º 173 942/01.
- [3] Pereira, S., Faustino, J. Vieira, J, Paiva, A., *The occurrence of pathologies in residential buildings, in TMAD, and the relation with the orientation*, XXX IAHS World Congress on Housing – Housing construction an Interdisciplinary Task, 2002, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal. pp. 1835-1841, ISBN 972-9027-31-5.
- [4] Hamayon, L. *Reussir L'Acoustique d'un Bâtiment, Conception architecturale et Technique des Bâtiments d'Habitation et des Établissements d'Enseignement. Isolation et Corection Acoustique*. Le Moniteur, 1996.
- [5] Silva, P. M. *A componente Acústica na Reabilitação de Edifícios de Habitação*, Edifícios 5, 1998, LNEC, Lisboa, Portugal.
- [6] APICER, CTCV, e DEC-FCTUC *Manual de alvenaria de tijolo*, Associação Portuguesa de Industriais de Construção, Coimbra, 2000, Depósito Legal n.º 122 566/98.
- [7] Lo, Y. *Delamination of External Wall Finishes of Housing*, XXX IAHS World Congress on Housing – Housing construction an Interdisciplinary Task, 2002, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, pp. 1571-1576, ISBN 972-9027-31-5.
- [8] LNEC, *Revestimentos para paramentos interiores de paredes de alvenaria de blocos de betão celular autoclavado*, Proc.º 83/11/7334, 1983, Lisboa, Portugal.



PATOLOGIAS FUNCIONAIS EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS

António Lobato dos Santos*

Correio electrónico: antoniosantos@esoterica.pt

Pedro Lima Gaspar†

Correio electrónico: pedrogaspar@esoterica.pt

Resumo

Este artigo procura caracterizar e exemplificar o conceito de *Patologia Funcional* aplicada aos edifícios de escritórios e sistematizar os vários aspectos associados a este fenómeno.

Na primeira parte é abordada a importância da Flexibilidade nos espaços de escritórios e sua relação com os vários modelos de organização de espaços de trabalho, explicitando-se os parâmetros de Eficácia e Eficiência na avaliação do desempenho de um edifício de escritórios.

Na segunda parte, é apresentado um sistema de distinção qualitativa entre as várias gerações de edifícios de escritórios existentes, como forma de ilustrar os desenvolvimentos decorrentes da evolução das tecnologias de telecomunicações e das expectativas de conforto (ambiental, organizacional e comunicacional) dos utentes.

Na terceira parte define-se Patologia Funcional como um impedimento à flexibilidade de utilização de edifícios de escritórios, mais evidente em edifícios mais antigos dado o desfazamento entre os actuais padrões de exigência e os padrões que presidiram ao seu desenho, definindo-se vários níveis de gravidade de manifestações deste fenómeno.

Palavras-chave: Edifícios de Escritórios, Flexibilidade, Patologias Funcionais.

* Arquitecto, Assistente, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa.

† Arquitecto, Assistente, Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa.

Estes modelos de organização dos espaços tem vindo a alterar-se mercê do impacto das evoluções dos meios de trabalho e telecomunicações, o que aumenta a necessidade de Flexibilidade por parte dos Edifícios de Escritórios.

1.3 Eficiência e eficácia

O desempenho dos espaços dos edifícios de escritórios pode ser avaliado sob dois pontos de vista, distintos e complementares.

O parâmetro da Eficácia expressa a adequabilidade do meio ao fim, ou seja quão adequado é um edifício ao uso que se lhe pretende dar. Este parâmetro depende da articulação entre o perfil da organização (necessidades, hábitos, expectativas) e as características do edifício (configuração, organização, infra-estruturas, etc.).

O parâmetro da Eficiência expressa o desempenho de um determinado instrumento no cumprimento de uma tarefa. No caso da utilização de edifícios de escritórios, existe uma variedade de metodologias de análise que incidem sobre a influência do contexto físico no desempenho de uma organização, desde a definição do tipo de organização e do ambiente de trabalho, até estudos sobre a utilização do espaço e do tempo.

2 Edifícios de Escritórios em Portugal

2.1 Breve caracterização

Em Portugal, a maioria dos Edifícios de Escritórios são construídos de acordo com uma lógica de especulação imobiliária, em que os promotores produzem espaço terciário para venda a entidades que colocarão o edifício no mercado de aluguer, sendo raros os casos de edifícios *feitos à medida*. Os edifícios acabados são geralmente adquiridos como fonte de rendimento por Fundos de Investimento, ou por entidades que procuram acomodação (sobretudo entidades oficiais).

A produção de edifícios de escritórios segue a designada filosofia Europeia, na qual os edifícios são colocados no mercado prontos a ocupar, com acabamentos interiores e infra-estruturas de controlo ambiental operacionais, (mas sem infra-estruturas comunicacionais), por oposição à filosofia anglo-saxónica designada de *Shell and Core*, e na qual os edifícios são comercializados com os espaços interiores locáveis em tosco [1].

2.2 Classes

A análise de alguns dos parâmetros de caracterização das três categorias de distinção qualitativa entre edifícios de escritórios existentes em Portugal [2]

permite ilustrar a evolução das capacidades dos edifícios de escritórios providenciarem Flexibilidade aos seus ocupantes.

Tabela 1: Classes de Edifícios de Escritórios em Portugal

	CLASSES		
	C	B	A
Época Construção	Até 1970	1970 Até 1990	Após 1990
Estrutura	BA Pilar/Viga	BA Fungiforme	BA Fungiforme
Estacionamento	Não	1 Lugar / 50 m ²	1 Lugar / 25 m ²
Elevadores	Padrão <i>Habitacional</i>	Abaixo Padrão Fabricantes	Padrão Fabricantes
Pé Direito Tosco	2,70 m	3,00 m	3,50 m
Pé Direito Limpo	2,70 m	2,70 m	3,00 m
Alojamento Infra estruturas	Calha embebida	Tecto Falso	Tecto Falso Pavimento Falso
Sistemas Ventilação	Natural	Inexistente	Integrada
Sistemas Climatização	Não	Unidades Fachada	Sistemas Mistos Controle Individual

Constata-se um crescendo nas características associadas à provisão de flexibilidade funcional, a par da expressão de uma crescente consciência do impacto ambiental das construções tanto do ponto de vista da construção, como da gestão e utilização.

Esta acelerada evolução de padrões espaciais e infraestruturais deu-se num espaço de cerca de 30 anos, fruto da evolução dos hábitos e expectativas da sociedade ocidental, a par de desenvolvimentos acelerados nas tecnologias de telecomunicações e informática, ao nível da acessibilidade, autonomia e portabilidade (Computadores Pessoais, Portáteis, Internet, Intranet, Telemóveis).

3 Patologias Funcionais

3.1 Definição

Poderemos designar por Patologia Funcional a existência de uma situação intrínseca à construção, que ao comprometer a flexibilidade de utilização do edifício, dificulta a melhoria do desempenho do binómio edifício/organização, afectando desse modo as expectativas e/ou necessidades dos seus ocupantes.

A Patologia Funcional possui um cariz relativo (por oposição ao carácter absoluto de uma anomalia construtiva) visto que um edifício poderá continuar

a ser adequado às funções que desempenha, só revelando as suas insuficiências aquando de uma mudança de locatário ou do tipo de organização espacial.

Estudos realizados em Londres pela consultora DEGW [1] demonstram que não existe um tipo de edifício de escritórios capaz de acolher todos os tipos de organização de escritórios indiferentemente, pelo que as Patologias Funcionais existirão *sempre* no sentido de que é impossível conceber um edifício universalmente flexível.

É essencial distinguir patologias funcionais e construtivas. Embora possam andar a par, estas últimas podem ser corrigidas por intervenções pontuais, enquanto que as patologias funcionais só dificilmente e com grandes custos se podem corrigir.

3.2 Categorias

As Patologias Funcionais podem ser agrupadas em categorias, consoante a sua profundidade, génese e dificuldade de resolução, conforme se descreve seguidamente.

3.2.1 Patologias de contexto

Nesta categoria podemos reunir os aspectos relacionados com a configuração geral do edifício que são muito influenciados por factores extrínsecos ao projecto, como sejam as disposições regulamentares ou a configuração do lote.

Neste capítulo incluem-se problemas como a (falta de) acessibilidade, a inexistência de lugares de estacionamento na proporção adequada ou a configuração dos pisos. Os problemas nesta categoria são praticamente impossíveis de resolver, dada tratarem-se de problemas supra-estruturais.

3.2.2 Patologias de dimensionamento

Neste grupo incluem-se problemas relacionados com a estratégia estrutural adoptada, que tem um carácter determinante na provisão da flexibilidade. Neste grupo incluem-se questões como a coordenação modular da malha estrutural, o tipo de estrutura e o impacto sobre instalação de redes (nomeadamente em casos de sistemas viga/pilar), as limitações inerentes a um pé-direito em tosco inferior a 3 metros (Figura 2), ou a posição relativa do Núcleo de Circulações no piso.

As patologias nesta categoria só podem ser corrigidas através de soluções extremamente custosas e complexas, possíveis pelas actuais técnicas de remodelação e alteração de estruturas, mas que implicam a desocupação do edifício durante longos períodos de tempo e a intervenção em outras camadas da construção.



Figura 2: Remodelação de Edifício em Lisboa, construído em 1991, com 2,90 m de pé-direito tosco e calhas de pavimento. A densidade de postos de trabalho a prever e o padrão de infra-estruturação a garantir implicaram a instalação parcial da rede de dados no tecto, em conflito com redes de AVAC a manter, o que conduziu a um tecto falso com 50 cm de altura, restando um pé-direito geral limpo de 2,40m.

3.2.3 Patologias de Equipamento

As patologias nesta categoria incluem fenómenos associados às redes e instalações do edifício, que determinam em grande parte a eficiência do seu funcionamento e que podem ser corrigidas com o edifício em funcionamento mas com elevados custos financeiros e de tempo, incluindo o transtorno para os ocupantes.

Nesta categoria incluem-se aspectos como o desempenho dos Elevadores (velocidade de escoamento), e a dimensão e tipo de espaços previstos para distribuição de infra-estruturas (prumadas, calhas de pavimento, tectos falsos) cujo sub-dimensionamento ou *rigidez* é grande condicionante da flexibilidade nos modelos de ocupação dos espaços.

3.2.4 Patologias Materiais

Esta categoria agrupa as Patologias que decorrem de decisões ao nível das soluções de acabamentos (envelope exterior inclusive), incluindo-se deficientes articulações modulares entre os vários sistemas e componentes e a adopção de acabamentos *definitivos*.

Os fenómenos desta categoria são muito condicionantes à flexibilidade na utilização dos espaços e à adaptabilidade dos mesmos (Figura 3).



Figura 3: Edifício em Lisboa, construído em 1999. Tipo e métrica da caixilharia não articulados com malha estrutural, dificultando subdivisão em gabinetes com 2,70m. O tecto falso em gesso cartonado dificultou adaptação da iluminação e sistemas AVAC.

4 Conclusão

Da análise dos capítulos anteriores, constata-se a existência de fenómenos que podemos designar de Patologias Funcionais, que consistem na incapacidade de determinados edifícios de escritórios acolherem satisfatoriamente a evolução das actividades para que foram inicialmente concebidos.

Estes fenómenos são distintos de patologias de cariz construtivo e decorrem da evolução dos modelos e formas de organização dos espaços de trabalho que se pretendem implementar nos edifícios.

Conclui-se que quanto mais a montante na lógica de projecto e construção se encontra a génese da patologia, mais condicionante é o fenómeno em termos de flexibilidade de utilização do espaço, e mais difícil e custosa é a eventual correcção da mesma.

As patologias funcionais não constituem forçosamente uma deficiência, podendo ser considerados como um *traço da personalidade* do edifício a ter em conta em lógicas de gestão e utilização do parque de edifícios de escritórios existente, cada vez mais prementes no contexto de uma crescente consciência da necessidade de sustentabilidade do património existente.

5 Bibliografia

- [1] Duffy, F. *The New Office*. London: Conran Octopus Limited, 1997.
- [2] AA.VV. *Tendências da Gestão Imobiliária*. Lisboa: Vida Económica Editor, 1997.

PATOLOGIAS EM CONSTRUÇÕES RECENTES

Estudo de Casos

Pedro Lima Gaspar*

Correio electrónico: pedrogaspar@esoterica.pt

António Lobato Santos†

Correio electrónico: antoniosantos@esoterica.pt

Resumo

Este artigo procura ilustrar o processo de envelhecimento de construções recentes, através da apresentação comparada de três casos reais de equipamentos das décadas de 50, 60 e 70. Os edifícios foram escolhidos como particularmente representativos da época em que foram construídos pois, desde então, praticamente não sofreram alterações e apenas foram sujeitos a operações de manutenção reactiva, episódicas e pontuais.

Numa primeira fase são descritos de forma sucinta os métodos de levantamento e diagnóstico, tal como foram implementadas. Serão identificadas e sistematizadas as situações comuns às construções estudadas, através de uma grelha de análise que cruza as questões da durabilidade com os problemas de obsolescência funcional. Por fim, apresentam-se resumidamente as acções preconizadas e os respectivos custos para cada um dos casos estudados.

Palavras-chave: Construções recentes, Vida útil, Obsolescência, Durabilidade.

1 Introdução

1.1 Vida útil

Todos os edifícios possuem uma *Vida Útil*, período durante o qual respondem às exigências de funcionamento para as quais foram projectados e construídos. Para tal, é necessário que se cumpram três condições base [1]:

- Durabilidade (longevidade física da construção);
- Funcionalidade (adaptação às exigências que se espera que cumpra);

* Arquitecto, assistente no Departamento de Projecto da FA-UTL.

† Arquitecto, assistente no Departamento de Projecto da FA-UTL.

- Rentabilidade (expressa nos rendimentos que dele se possam extrair ou no equilíbrio entre as despesas associadas à sua gestão e o orçamento de que se dispõe).

Quando qualquer destas três variáveis deixa de se cumprir, diz-se que o edifício alcançou o limite da sua vida útil (por exemplo, devido a colapso estrutural, obsolescência das suas infra-estruturas ou encargos de manutenção demasiado altos para os rendimentos gerados). Na prática, comprova-se empiricamente que as partes que constituem um edifício não “envelhecem” todas do mesmo modo e com o mesmo ritmo [2].

Torna-se pois importante definir patamares de durabilidade das partes, sistemas ou componentes da construção, perspectivando as necessidades futuras de operações de manutenção e substituição [3, 4].

No que respeita ao envelhecimento das construções, e de forma simplificada, distinguem-se geralmente quatro principais camadas de longevidade [4]:

Tabela 1: Camadas de longevidade que afectam a vida útil das construções.

Estrutura	Com uma longevidade média de 50-75 anos, para as construções em betão, mas que se pode estender a séculos no caso de estruturas em pedra.
Fachadas e compartimentação interior	Com intervalos entre intervenções que podem ir até aos 30 anos, mas que ficam normalmente pelos 15 anos.
Infra-estrutura	Com vida útil média entre os 5 anos (redes de comunicações) e os 15 anos (redes de águas).
Acabamentos	De vida útil variável, dependendo do grau de utilização, qualidade de execução e qualidade do material utilizado.

2 Metodologia

O estudo, tal como foi desenvolvido, destinava-se a avaliar o desempenho de diferentes edifícios e das suas componentes, nomeadamente ao nível da estrutura, envolvente exterior, infra-estrutura, acabamentos, compartimentação interior e adequação funcional às necessidades dos utentes.

Neste sentido, procedeu-se a uma caracterização da situação existente (e que se apresenta neste artigo), com base em dados recolhidos em campo. Posteriormente, definiram-se os respectivos programas de intervenção, adequados à situação real de cada caso, de acordo com uma listagem de condicionantes presentes ou futuras e foram elaboradas as respectivas estratégias de projecto.

2.1 Caracterização dos casos estudados

2.1.1 Edifício A (anos 50)

O edifício A, localizado em Portalegre, data de meados dos anos 50 e é um equipamento de volumetria simples (Figura 1a), composta de dois corpos de três pisos, estrutura porticada de betão armado, alvenarias em parede simples de tijolo maciço e coberturas inclinadas em chapa de fibrocimento (Figura 1b).

Esta construção assenta sobre um embasamento em granito e encontra-se rebocada pelo exterior. Os acabamentos interiores são de elevada qualidade, com bom nível de execução. O edifício não tem elevadores e apresenta um nível de infra-estruturação próximo do original, à excepção de novas redes telefónicas e de voz e dados.



Figura 1: a) Vista geral do Edifício A; b) Vista das coberturas.

2.1.2 Edifício B (anos 60)

O edifício B data do final dos anos 60 e é composto por dois corpos de três pisos, que se organizam em torno de pátios de planta quadrada (Figura 2a). Os perímetros interiores destes pátios são delimitados por galerias de distribuição (Figura 2b) às quais se acede por acessos verticais localizados em cantos opostos dos pátios. O edifício tem um uso educacional/laboratorial.

Este edifício foi originalmente projectado para uma das antigas colónias portuguesas, mas diversos factores levaram à sua construção em Lisboa, com muito poucas adaptações em relação ao projecto original. Este facto explica a existência de certas características típicas da arquitectura tropical (galerias de distribuição abertas ao exterior, palas de ensombreamento, ventilação nas zonas de acessos verticais, etc.).

A estrutura é constituída por um sistema porticado, pilar/viga, com os vazios preenchidos com alvenaria de tijolo. As coberturas são revestidas a chapa de fibrocimento.

O padrão de acabamentos interiores é baixo, com pavimentos em taco ou bloco cerâmico assente sobre betonilha e paredes e tectos rebocados.

O nível de infra-estruturação original é relativamente pobre e o edifício sofreu uma sucessiva adição de redes em função das exigências ditadas pelo uso.



Figura 2: a) Vista do interior do Edifício B; b) Vista das galerias de distribuição.

2.1.3 Edifício C (anos 70)

O edifício C, construído no início dos anos 70, localiza-se no Redondo e estrutura-se em torno de um pátio interior a céu aberto (Figura 3b). O sistema construtivo é relativamente corrente, com uma estrutura porticada aparente, preenchida por alvenaria de tijolo, rebocada e pintada (Figura 3a). O edifício não tem elevador.

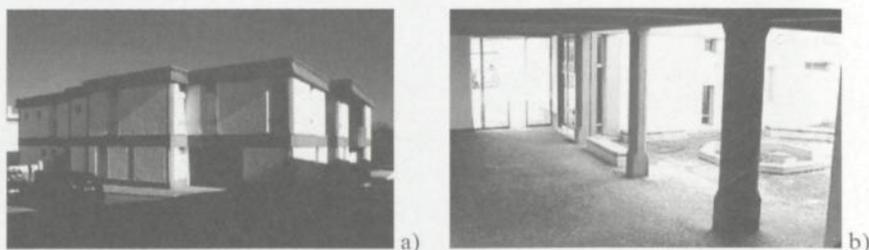


Figura 3: a) Vista geral do Edifício C; b) Vista do pátio interior.

O padrão de acabamentos e infra-estruturas é do tipo doméstico (estores em plástico, pavimentos em tijoleira, interiores estucados, redes eléctricas reduzidas ao essencial), não obstante tratar-se de um equipamento que serve todo o Concelho.

Do ponto de vista das infra-estruturas, verifica-se a existência de um sistema de aquecimento por radiadores cujo funcionamento é assegurado por tubagens colocadas à vista e que substitui o sistema original, entretanto obsoleto e desactivado.

3 Trabalho de Campo

O trabalho de campo foi realizado entre os meses de Outubro e Dezembro de 2001 e consistiu em campanhas de levantamento, diagnóstico e registo de patologias em fichas de levantamento, registo fotográfico de anomalias e levantamento dimensional do todo ou da parte das construções para complemento e actualização das bases existentes.

Para cada caso estudado, foi produzido um relatório com a descrição, análise e conclusões do levantamento, a indicação do programa de trabalhos, a metodologia a adoptar e os respectivos custos.

3.1 Resultados comparados

3.1.1 Estrutura e elementos primários

Os casos A e C não apresentam anomalias estruturais expressivas, à excepção de fissuração pontual ao nível das lajes dos pisos superiores, devido a efeitos de variação da temperatura.

O edifício B mostra sinais de degradação nas extremidades e faces inferiores das palas (Figura 4a), devido à ocorrência de água da chuva e ao relativamente reduzido recobrimento de armaduras. Este edifício revela ainda sinais de assentamento pontual de lajes do piso térreo, por incompatibilidade entre as acções decorrentes de novos usos (sobrecargas e vibração) e a capacidade resistente do próprio terreno.

Os casos B e C apresentam juntas de dilatação deterioradas, sem fundo de junta ou mesmo com junta exposta, originando anomalias relacionadas com a penetração de água.

3.1.2 Envolvente exterior

As anomalias em elementos da envolvente exterior manifestam-se sobretudo por infiltrações e salitre ao nível dos pisos térreos ou zonas em contacto com o terreno (casos A - Figura 4b - B e C) e, com menor gravidade, por ocorrência de água da cobertura (manchas de humidade nos casos A e C e presença pontual de salitre no caso B).



Figura 4: a) Edifício B: topos e faces inferiores das palas enegrecidos pela presença de humidade; b) Edifício A: vista de compartimento em contacto com o terreno, com manchas de humidade visíveis no pavimento e na parede.

As caixilharias apresentam um nível de degradação desigual, mais profundo nas caixilharias de alumínio (empeno das folhas móveis, perda de estanquidade nos casos B e C e deficiente estanquidade entre a parede e a caixilharia em ferro, no caso A). Em todos os casos detectou-se uma grande incidência de defeitos ao nível das ferragens (dobradiças, puxadores, etc.) que, nos casos mais graves, impediam a utilização normal dos vãos exteriores.

3.1.3 Infra-estruturas

Todos os edifícios apresentam sinais de obsolescência ao nível das infra-estruturas, com particular gravidade nas redes de águas e esgotos (casos A e C), redes eléctricas e iluminação (todos os casos estudados). Verifica-se ainda que as redes telefónicas e de voz e dados foram substituídas, aumentadas ou alteradas em todos os casos, normalmente com instalação de cabos em calhas técnicas à vista (Figura 5).

As redes de águas pluviais foram reconstruídas pelo exterior, no caso do edifício A — devido a anomalias registadas no passado — ou reduzidas à drenagem das coberturas directamente para o exterior, através de pingadeiras, nos edifícios B e C, devido à obsolescência das redes originais.

Em termos de redes de climatização, verificou-se a obsolescência das redes originais no edifício A e C, entretanto substituídas por aparelhos individuais (caso A) e, no caso do edifício C, rede de aquecimento centralizada, com instalação à vista (Figura 6).

O edifício B revela sinais de adição sucessiva de novas redes (fluidos e gás com fins laboratoriais) de forma casuística, à vista ou aproveitando as características existentes da construção (calhas de pavimento, etc.).



Figura 5: Espaço de trabalho. No perímetro da sala, junto ao tecto, é visível uma calha técnica periférica, que desce junto às paredes para servir os postos de trabalho.

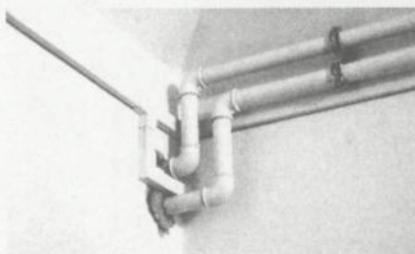


Figura 6: Edifício C, instalação à vista de infra-estruturas informáticas (em calha) e de redes de climatização.

3.1.4 Acabamentos e elementos secundários

Ao nível dos acabamentos verifica-se uma relação directa entre a qualidade das soluções construtivas e do nível de execução e o seu estado de conservação actual, independentemente da idade da construção.

De facto, o edifício com melhor nível de acabamentos (edifício A, com pavimentos em lioz ou madeira de azinho, lambris em mármore, etc.) e melhor qualidade de execução (construção dos anos 50, com mão de obra supervisionada) apresenta ainda hoje excelente estado de conservação.

Inversamente, os edifícios B e C, cujo padrão de qualidade dos acabamentos é mais baixo (tijoleira assente sobre betonilha, estuque sem protecção, etc.) apresentam anomalias por desgaste pelo uso (edifícios B), pela presença de humidade ao nível do piso térreo (edifícios B e C) ou por obsolescência das soluções construtivas (edifício C, tectos falsos).

Em todos os edifícios, as instalações sanitárias apresentavam elevados graus de deterioração e obsolescência.

3.1.5 Conforto e Funcionalidade

Todos os casos estudados apresentam um desempenho térmico considerado muito mau, que conduzem a situações de extremo desconforto quer na estação quente, quer durante o Inverno. Este facto decorre da ausência de protecção térmica em todos os casos estudados (vidros simples, paredes e coberturas não isoladas), de factores de projecto e utilização (galerias exteriores no caso B, pátio aberto no caso C) e de extremos climáticos locais (casos A e C), ver figura 7.

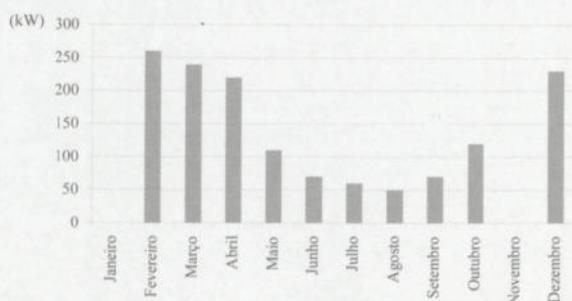


Figura 7: Edifício A, dados relativos do consumo eléctrico em 2001, com maiores consumos nos meses mais frios (não estão disponíveis dados de Janeiro e Novembro).

Do ponto de vista da funcionalidade, detecta-se uma tendência de crescimento das necessidades de ocupação de espaço (em todos os casos), com especial incidência nas zonas de trabalho (secretarias, gabinetes, laboratórios) e zonas de arquivo. Este padrão conduziu a mudanças de organização interna, incluindo transferência de serviços para outras construções (casos A e B), duplicação de áreas de trabalho (casos A e C), adaptação de espaços existentes para novas funções (todos os casos).

Nestas transformações, verifica-se que os espaços muito 'detalhados' para um uso muito específico (por exemplo, gabinetes médicos) tendem a dar lugar a espaços menos 'especificados' (salas de trabalho).

4 Análise de Resultados

Pela comparação dos resultados obtidos através dos trabalhos de campo pode concluir-se o seguinte:

- a) As construções correntes datadas desde meados dos anos 50 ainda não apresentam anomalias sensíveis ao nível da estrutura (de betão armado), mesmo para situações de ausência ou reduzida manutenção;
- b) As principais anomalias físicas detectadas afectam moderadamente alvenarias e rebocos e decorrem sobretudo de situações de entrada de água ao nível do solo (infiltrações, salitre) ou de infiltrações e escorrência de água ao nível das coberturas e platibandas;
- c) As anomalias consideradas mais graves prendem-se com factores de conforto térmico;
- d) Em todos os casos, detectou-se a obsolescência mais ou menos total das infra-estruturas, decorrente da sua deficiente concepção, subdimensionamento das redes numa perspectiva de necessidades futuras e inadequação às exigências de uso e normativas actuais;
- e) Do ponto de vista do uso, verifica-se a tendência para o crescimento das necessidades de espaço de trabalho e de arquivo em todos os edifícios, em detrimento de espaços muito detalhados para uma função muito específica.

4.1 Fim da vida útil

Nenhum dos casos estudados atingiu, como um todo, o limite da sua vida útil, muito embora alguns dos seus componentes e sistemas sejam considerados obsoletos ou degradados para além da sua recuperação. Estas características são mais evidentes nas infra-estruturas, zonas de águas e, em geral, todas as soluções construtivas de menor padrão de qualidade, independentemente da idade do edifício.

4.1.1 Acções a desenvolver

O tipo e âmbito das acções a desenvolver foram definidos caso a caso com os respectivos donos de obra. No entanto, como pontos comuns, sublinha-se a necessidade de efectuar reabilitações do ponto de vista térmico em todos os edifícios, de substituir integralmente as infra-estruturas existentes e de dotar os edifícios de novas infra-estruturas, actualmente não existentes (redes de segurança, elevadores, controlos de acesso, etc.).

4.1.2 Custos

Os estudos actuais [2, 5] apontam para relações de $1/3$ ou $1/4$ entre o investimento na construção de um edifício e as despesas com a sua gestão, durante o seu período de vida útil, e que incluem a gestão corrente, custos de manutenção (inspecção das partes e componentes e a sua reparação/substituição, o mais

cedo possível na sua curva de degradação), custos de utilização (sobretudo consumos energéticos, que representam uma componente elevada dos custos globais).

Os casos estudados parecem confirmar essa tendência, pois os custos de intervenção estimados para cada caso aproximam-se dos 60 % do investimento inicial, a preços de 2002.

5 Conclusões

O estudo de casos efectuado compara o envelhecimento e degradação de três construções diferentes, de três épocas distintas, com características construtivas semelhantes, ainda que se registem diferenças no padrão de execução e qualidade dos revestimentos e acabamentos (decrecente desde os anos 50).

O estudo comparado destes três casos parece confirmar as tendências de evolução ao longo da vida útil das construções, verificando-se uma certa estabilidade nas camadas arquitectónicas de maior importância hierárquica [3] (estrutura e elementos primários) e uma tendência mais acelerada de degradação ou mudança nas camadas de menor inércia (infra-estrutura e acabamentos).

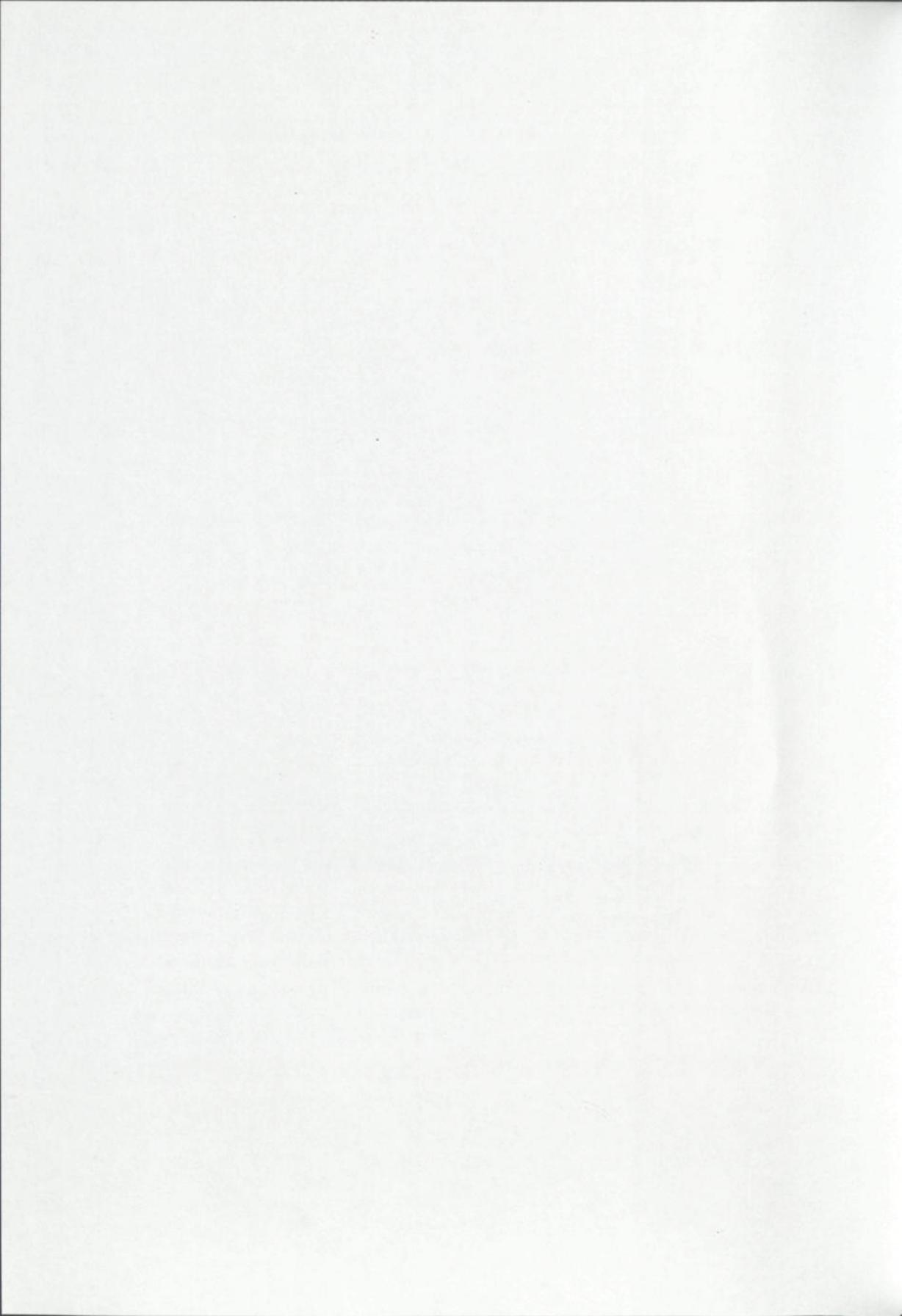
Nota-se ainda, nos casos estudados, que o verdadeiro factor que obriga a uma intervenção se prende com a obsolescência técnica, funcional e normativas das infra-estruturas.

6 Bibliografia

- [1] Ang, G. K. I., Wyatt, D. P. *Performance Concept in Procurement of Durability and Serviceability of Buildings* 8DBMC, Vancouver, 1999, pp. 1821-1832.
- [2] Brand, S. *How Buildings Learn - What happens after They're Built*, Orion Books, London, 1997, p. 243.
- [3] Gaspar, P. *O Layering como Estratégia Funcional para o Aumento da Vida Útil das Edificações* Construção 2001, IST, Lisboa, pp. 945-952.
- [4] Duffy, F. *The New Office*. Conran Octopus, London, 1997, p. 256.
- [5] Moss, G. W. *Service Life Performance Audit* 8DBMC, Vancouver, 1999, pp. 1552-1559.



SESSÃO VII



PREVENÇÃO DE RISCOS DE FALHAS NA ENGIL, S. A.

Romeu Sanches*

Correio electrónico: romeu.sanches@engil.pt

Rui Campos†

Correio electrónico: rui.campos@engil.pt

Resumo

Apoiada no seu sistema de gestão da qualidade, a Engil, S. A., está a desenvolver uma metodologia para prevenir/reduzir os riscos tecnológicos na realização das suas obras.

Esta metodologia baseia-se na recolha e análise da falha, que pode ser detectada tanto no processo produtivo como no período de assistência em garantia. A informação recolhida é tratada de modo a permitir o desenvolvimento da prevenção, abordada no planeamento e controlo das actividades de construção.

Apresentam-se, também, dois estudos de casos que demonstram a forma como a Engil, S. A. os abordou e como foram divulgados os ensinamentos retirados destas experiências para prevenir o seu reaparecimento.

1 Modelo de Prevenção dos Riscos

1.1 Objectivo

A Engil, S. A. implementou em 1998, numa obra piloto, um sistema de recolha e tratamento das falhas. Este trabalho enquadrou-se num projecto de colaboração entre a Engil, S. A. e o Prof. Lino Costa para o desenvolvimento da sua tese de doutoramento [1]. Os resultados obtidos demonstraram a relevância em implementar uma metodologia de prevenção dos riscos baseada na própria experiência da empresa. No entanto, não estavam reunidas as condições necessárias para alargar a experiência ao universo das obras da Engil, S. A. Contudo, a recolha e o tratamento das falhas foi orientada para as deficiências encontradas no período de assistência em garantia, com a gestão e contabilização das reparações executadas.

* Eng.º Civil.

† Eng.º Civil.



A certificação pela ISO 9001:2000, em Abril 2001, e a implementação do sistema de gestão da qualidade permitiu reunir as condições para alargar a metodologia de prevenção a todas as obras da Engil, S. A. De facto, a gestão do produto não conforme, requisito da norma, assim como a qualidade do produto final, passaram a ser um dos objectivos para a nossa organização. Assim, foi iniciada uma acção de melhoria, no início do ano 2002, tendo como objectivo desenvolver uma metodologia de prevenção orientada em três vertentes:

- O tratamento do produto não conforme;
- A análise de riscos;
- A prevenção através do planeamento e controlo das actividades de construção.

1.2 Esquema do modelo

Como já foi abordado, a metodologia de prevenção baseia-se na recolha, no tratamento e na divulgação da informação. Este ciclo é também apoiado na recolha de informação proveniente do exterior com o objectivo de reunir a melhor informação e garantir a sua relevância.

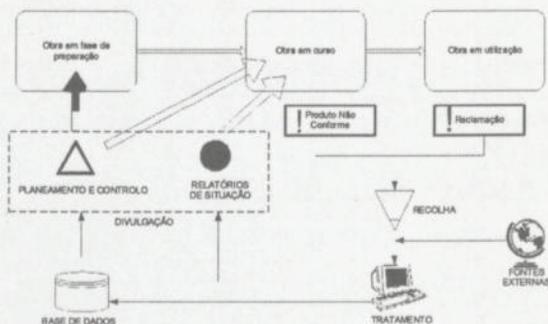


Figura 1: Esquema do modelo de prevenção.

1.3 Importância da detecção da falha

A fim de se definir e caracterizar as necessidades da empresa ao nível da prevenção das falhas, foi necessário dar um importante enfoque na detecção e recolha das mesmas. A detecção da falha passa a ser, assim, uma ferramenta para caracterizar *os pontos fracos* do *know-how* da Engil, S. A. Para sensibilizar as direcções de obra sobre este assunto, foi necessário clarificar uns con-

ceitos ao nível da falha e, mais propriamente, o conceito de produto não conforme. Através de uma apresentação informática (autoformação) foram mostrados casos práticos de produtos não conforme (PNC) e os objectivos desta recolha.

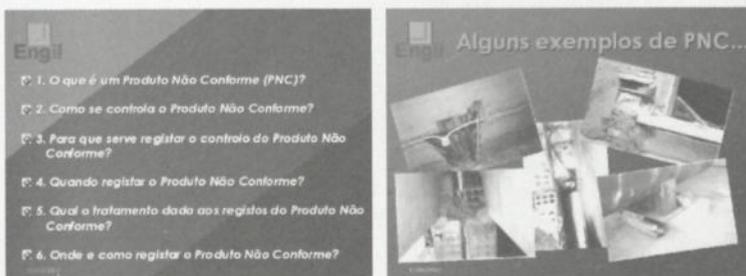


Figura 2: Índice da apresentação enviada e exemplos de PNC.

Na fase de assistência em garantia, foi pormenorizada e melhorada a base de dados para permitir uma contabilização mais rigorosa dos custos e dos casos ligados às reclamações recebidas.

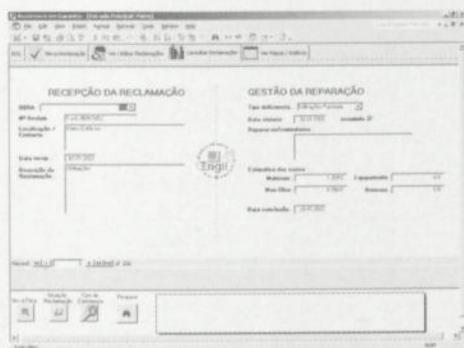


Figura 3: Entrada de dados na base para a gestão das reclamações.

2 Tratamento das falhas

2.1 Recolha

Quando, em 1998, foi lançada a base de dados para recolher a informação proveniente das falhas no processo construtivo, foi também necessário desen-

volver uma ficha para recolher a informação destas falhas [1]. A experiência, com os seus sucessos e insucessos, serviu como base de trabalho para melhorar o relatório do produto não conforme hoje existente (RPNC) e que se encontra inserido no sistema de gestão da qualidade da Engil, S.A.

Figura 4: Relatório do produto não conforme (RPNC).

2.2 Diagnóstico

O diagnóstico do produto não conforme passa também pela classificação das hipóteses de causas. Foram assim definidos grupos e subgrupos de causas.

Tabela 1: Hipóteses de causas.

Grupos de causas	
H1	Relações e responsabilidades contratuais
H2	Concepção e escolha de produtos / materiais
H3	Programação / preparação de obra
H4	Comunicação e divulgação de documentos
H5	Aprovisionamentos
H6	Aplicação em obra e nível de qualidade da mão de obra
H7	Condições de estaleiro
H8	Outras

Quanto à gestão das reclamações, foram também estabelecidos critérios de classificação dos tipos de problemas permitindo um tratamento uniformizado da informação.

tipo prob
Caixilharia / Serralharia
Cantarias
Carpintaria
Diversos
Equipamento elec ou AVAC
Fissuras exteriores
Fissuras interiores
Infiltrações Cobertura
Infiltrações Fachada
Infiltrações Pavimento
Pavimento betão
Pavimentos em madeira
Rede de águas e saneamento
Revestimento paredes
Revestimento pavimento
Revestimento tectos

Figura 5: Classificação dos tipos de problemas encontrados na assistência em garantia.

2.3 Análise de tendências

A compilação dos dados relativos ao produto não conforme é realizada através de uma folha de cálculo e, no futuro, com o apoio de uma base de dados. Relativamente a cada relatório inserido caracteriza-se a actividade e o grupo de causas com recurso a uma cor específica. O resultado final é um mapa global onde se destacam as cores dominantes, ou seja, as actividades mais críticas ou as causas mais frequentes.

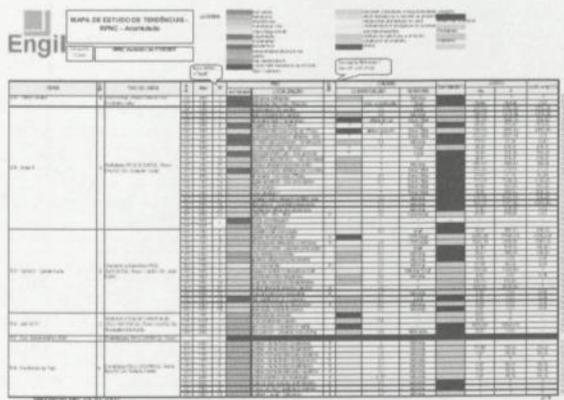


Figura 6: Mapa de estudo de tendências RPNC.

Para além desta análise, são contabilizados o número de casos e os custos obtendo-se gráficos de repartição por tipo de actividade e por tipo de causa.

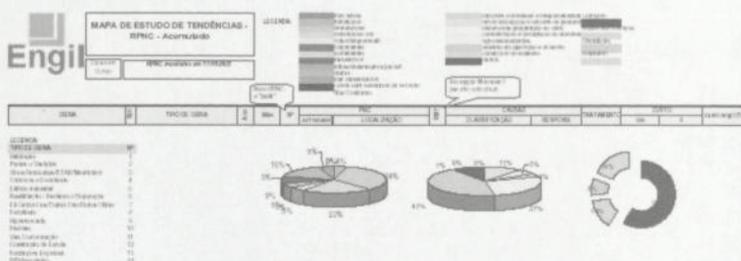


Figura 7: Repartição por tipo de actividade ou por tipo de causas.

Os dados provenientes da assistência em garantia são tratados pela própria base de dados e permitem obter dados por obra ou por tipo de deficiência.

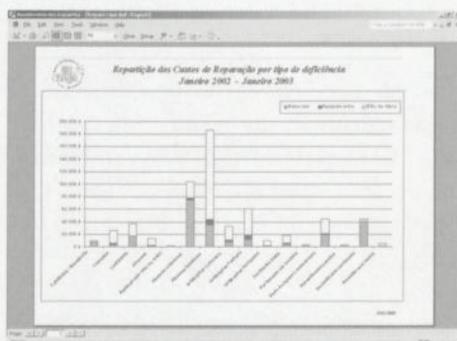


Figura 8: Repartição dos custos de reparação por tipo de deficiência.

2.4 Divulgação

A divulgação destes dados é uma etapa fundamental na metodologia de prevenção dos riscos porque ela irá permitir a “rentabilização” dos esforços e recursos mobilizados nas fases de recolha e tratamento. Desta forma, a divulgação e sensibilização é feita através de dois vectores de comunicação:

- Os relatórios semestrais e anuais, divulgados digitalmente, apresentando as tendências, assim como os casos mais singulares mas relevantes para o período estudado;
- A base de dados, para o planeamento e controlo da qualidade das novas obras, na qual são inseridos os ensinamentos ou os alertas necessários para evitar a repetição das falhas já detectadas. Esta divulgação passa

pelas ferramentas do controlo da qualidade, nomeadamente, os procedimentos construtivos, os planos de inspecção e ensaio e os boletins de verificação.

3 Estudo de Casos

Os casos abaixo descritos apresentam os recursos utilizados no planeamento e controlo das novas obras para reduzir o risco de falhas ocorridas e consideradas críticas em duas actividades.

3.1 Revestimentos de fachada com pedras fixadas mecanicamente

3.1.1 A falha detectada

Uma má aplicação do sistema de fixação em pontos singulares originou a queda dos elementos de pedra, como se pode constatar nas seguintes fotografias.

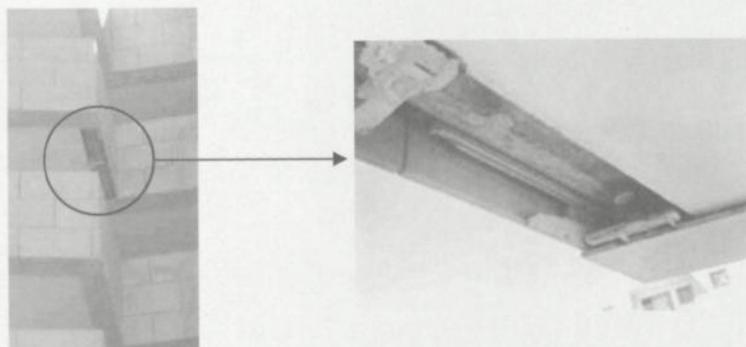


Figura 9: Caso de queda de pedra em revestimento de fachada.

3.1.2 O planeamento e controlo resultante para novas obras

Para evitar que se repita o mesmo caso, foram analisadas as causas cruzando-as com informação externa, nomeadamente o DTU.55.2 [2] que define as regras de execução deste tipo de fachada.

Foi assim revisto, e acrescentado a base de dados, um novo procedimento de construção clarificando as regras de construção e desenvolvido um boletim de verificação para acompanhar a realização deste tipo de trabalhos.

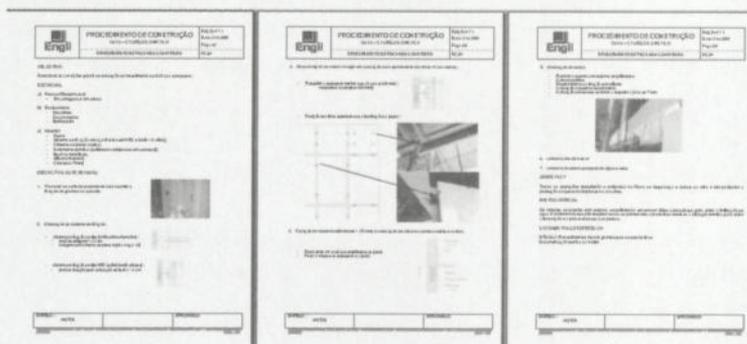


Figura 10: Procedimento de Construção.

BOLETIM DE VERIFICAÇÃO		REVESTIMENTO DE PAVIMENTO DE MADEIRA		Módulo 1	
<p>Verificações na recepção dos materiais</p>					
<p>Verificações no acompanhamento dos trabalhos materiais</p>					

Figura 11: Boletim de Verificação.

3.2 Revestimento de piso com madeira

3.2.1 A falha detectada

Ao fim de pouco tempo de utilização, o revestimento de piso (soalho) de um edifício de habitação apresenta, na sua generalidade, o aparecimento de juntas abertas (superior a 3 mm) entre as tábuas, como se pode constatar na seguinte fotografia.

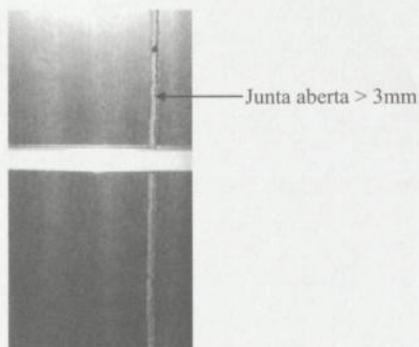


Figura 12: Junta entre as tábuas do soalho.

Foi então analisado o problema, recorrendo aos serviços do Instituto da Construção [3] no sentido de caracterizar as causas desta patologia e permitir uma reparação eficaz dos danos provocados.

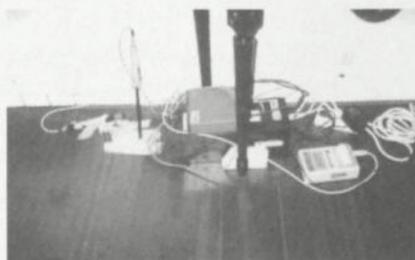


Figura 13: Instrumentação utilizada para o diagnóstico da patologia.

O estudo demonstrou que o tipo de madeira utilizada, assim como o seu grau de humidade no momento da aplicação, não eram os mais adequados para a utilização nestes locais.

3.2.2 O planeamento e controlo resultante para novas obras

Foram definidas medidas, tendo como referência o relatório do Instituto da Construção [3] e o DTU.51.1 [4], para controlar os parâmetros de aplicação dos soalhos através do:

- Controlo na recepção e no armazenamento da madeira (Figura 14);
- Controlo do acompanhamento da actividade (Figura 15);

Definição das regras de armazenamento
 Definição das tolerâncias e registo do controlo do teor de humidade da madeira

Figura 14: Boletim de recepção e armazenamento da madeira.

Registo das condições de preparação antes do início dos trabalhos (suporte, trabalhos já executados, ambiente do local, ...)
 Acompanhamento dos trabalhos de acabamento e recepção do apartamento

Figura 15: Boletim de acompanhamento das actividades.

4 Considerações Finais e Conclusões

A metodologia apresentada demonstra a preocupação da Engil, S. A. com a sua auto-aprendizagem através dos erros cometidos. Num período em que a gestão do conhecimento e da própria memória da empresa são alvos de muita atenção, nomeadamente pela sua influência no aumento da produtividade, é essencial melhorar o conhecimento do processo produtivo através da própria experiência das entidades.

No entanto, existem barreiras e dificuldades a ultrapassar como:

- O receio de registar a falha;
- A amostragem reduzida num universo de obras diferentes;
- A análise de tendências entre actividades de pesos económicos e de duração diferentes;

- A rotatividade das equipas de obra e a existência de múltiplos fornecedores.

No sentido de melhor caracterizar as actividades e os seus pontos críticos, e, nomeadamente, tentar ultrapassar as dificuldades relacionadas com a quantificação e a amostragem das falhas recolhidas, está programado, para o ano de 2003, um projecto de melhoria que consiste em desenvolver e implementar uma análise de riscos fundamentada pelo método tipo Socotec [5] em dois tipos de obras específicos.

5 Bibliografia

- [1] Costa, L. *Metodologia para uma melhoria da qualidade na produção dos edifícios em Portugal*. Tese de Doutoramento, Chambéry, 2000.
- [2] DTU 55.2 *Revêtements muraux attachés en pierre mince*. AFNOR.
- [3] Freitas, V. P. & Pinto, P. *Parecer sobre o comportamento das carpintarias interiores*. Relatório LFC/IC – 072.00, Porto, 2000.
- [4] DTU 51.1 *Parquets massifs et contre-collés*. AFNOR.
- [5] SOCOTEC. *Réussir la qualité dans la construction*. Editions du Moniteur, 1992.



RENOVAÇÃO DE PAVIMENTOS E FACHADAS

Kim Rosenbom*

Correio electrónico: kim.rosenbom@leca.pt

João Garcia†

Correio electrónico: joao.garcia@optiroc.pt

Resumo

Existe uma grande diversidade de patologias da construção que afectam os diversos elementos que constituem a envolvente dos edifícios. A sua origem pode dever-se a uma má concepção, deficiente execução ou simplesmente *envelhecimento* dos materiais e componentes. Na área da construção em Portugal, existe hoje uma crescente preocupação com a Renovação/Recuperação/Reabilitação de edifícios — Política dos 3R.

O processo de diagnóstico e as soluções mais adequadas envolvem um conhecimento das patologias dos edifícios, o conhecimento dos materiais e tecnologias utilizadas em projectos de reabilitação. O mesmo conhecimento aplica-se também em construções novas.

A Optiroc Portugal disponibiliza uma vasta gama de produtos e soluções para responder às exigências das solicitações nestes domínios.

Palavras-chave: Patologias, Recuperação, Renovação, Reabilitação, Pavimentos, Fachadas.

1 Introdução

Existe uma grande diversidade de patologias da construção que afectam os diversos elementos que constituem a envolvente dos edifícios. A sua origem pode dever-se a uma má concepção, deficiente execução ou simplesmente *envelhecimento* dos materiais e componentes.

Na área da construção em Portugal, existe hoje uma crescente preocupação com a Renovação/Recuperação/Reabilitação de edifícios — Política dos 3R. De acordo com as estatísticas referentes à construção de edifícios e obras públicas Portugal, em 1995 encontrava-se, entre 18 países da Europa, no último lugar ao nível da reabilitação e conservação de edifícios, representando apenas 6 % do investimento total no sector da construção. Países como a França e Dina-

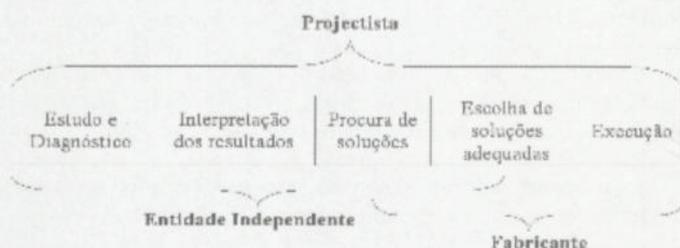
* Director Técnico Leca Portugal S. A./Optiroc Portugal, L.^{da}, Eng.º Civil, M. Sc.

† Responsável I&D, Optiroc Portugal, L.^{da}, Químico.

marca investem mais de 40 % do total da construção em obras de reabilitação. A nossa convicção é de que as tendências em Portugal vão no mesmo sentido. Por esse motivo, a Optiroc Portugal aposta e investe fortemente em produtos e soluções para responder às exigências do mercado.

Na nossa opinião, é extremamente importante, antes de qualquer intervenção, haver um diagnóstico da patologia, feito por especialistas na matéria, normalmente entidades independentes. Este estudo deverá ser exaustivo e definir bem os materiais e soluções a adoptar, bem como incluir desenhos de pormenor e descrição dos produtos/materiais a utilizar, facilitando o trabalho dos responsáveis pela execução. Os fabricantes produtos obrigam-se a fornecer informação técnica correcta e adequada para os responsáveis envolvidos no projecto. Além disso, devem fornecer informação sobre a correcta aplicação e/ou pormenores de pontos específicos.

A recuperação de uma patologia ou mesmo a reabilitação de um edifício deveria obedecer à metodologia em seguida apresentada, com as respectivas responsabilidades dos envolvidos:



O desenvolvimento científico nestas matérias tem sido realizado ao nível das universidades e instituições, mas este conhecimento devia ser generalizado na área da engenharia civil e arquitectura. É fundamental estudar e diagnosticar as patologias mais comuns nos edifícios, de forma a conseguir encontrar soluções adequadas de recuperação e, por conseguinte, melhorar a qualidade na construção. No estudo das patologias e respectivas soluções, é igualmente importante conhecer as características dos materiais aplicados, bem como as tecnologias de utilização/aplicação.

Neste trabalho, pretende-se dar conhecimento de algumas patologias correntes e apresentar algumas soluções de recuperação de fachadas e pavimentos, utilizando produtos Optiroc. Em todos os casos, admite-se perfeita estabilidade das patologias/estruturas. O objectivo não é definir ou aprofundar as causas das patologias, mas disponibilizar soluções para recuperação das mesmas. Pretende-se assim fornecer informação técnica aos interessados, com bons níveis de qualidade e garantia das soluções apresentadas. Não obstante, admite-se que possa haver no mercado outras soluções e produtos adequados para os casos apresentados.

2 Fachadas

2.1 Patologias mais frequentes

As patologias mais frequentemente observadas em fachadas podem dividir-se em dois grupos, consoante afectem unicamente a função decorativa, sem nenhuma influência nas outras características estruturais ou de qualidade (*Patologias Estéticas*) ou afectem o comportamento e durabilidade do revestimento (*Patologias Estruturais*). As primeiras são as que se observam com maior regularidade.

As Patologias Estéticas mais frequentes são as seguintes:

- Diferenças de tonalidade;
- Carbonatações;
- Sombreamentos ou transparências;

Em termos de Patologias Estruturais, as mais observadas são:

- Fissuração;
- Falta de aderência do revestimento;
- Falhas de impermeabilidade;
- Falta de resistência.

As figuras seguintes mostram alguns exemplos de Patologias registadas em fachadas.



Figura 1: Carbonatações em fachada revestida com *pastilha*.

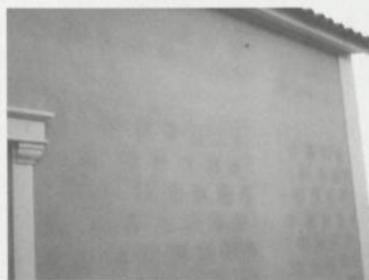


Figura 2: Sombreamentos em fachada revestida com monomassa.

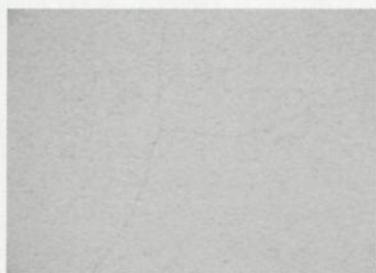


Figura 3: Fissura em fachada revestida com monomassa.



Figura 4: Falta de aderência em fachada revestida com material acrílico.



Figura 5: Falta de impermeabilidade em fachada pintada.

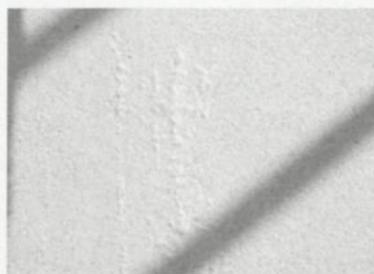


Figura 6: Suporte saturado em fachada revestida com material acrílico.

2.2 Produtos/Soluções Optiroc

A renovação/reparação integral ou parcial de um paramento revestido pode ser efectuada recorrendo à aplicação de um novo revestimento, com ou sem extracção do revestimento antigo. Esta última alternativa só é viável se o revestimento antigo apresentar boas condições de aderência e for previamente inspeccionado e preparado. Para que o aspecto final não resulte esteticamente inaceitável, a reparação não deve confinar-se à zona afectada, mas estender-se a uma área maior, delimitada por arestas do paramento ou correspondente a um painel de esquadramento.

A Optiroc Portugal está em condições de disponibilizar produtos/soluções especialmente recomendados e adequados para recuperação e renovação de fachadas, nomeadamente monomassas (Gama Onelite), revestimentos acrílicos e

cimentícios (Gama Serpo) e o sistema de isolamento térmico pelo exterior (ETICS-Sistema SerpoTherm). Estas soluções serão descritas em seguida.

2.2.1 Monomassas (Gama Onelite)

Os revestimentos Monomassa são compostos à base de cimento branco, cargas minerais de granulometria controlada, material granulado leve, fibras, pigmentos e diversos adjuvantes. Em obra, há apenas que proceder à amassadura, com máquina de projectar adequada, desse pó com água.

Estes produtos são adequados para revestimento de paramentos exteriores de paredes numa só camada de aplicação, com funções idênticas às dos revestimentos tradicionais de ligantes minerais. O acabamento obtido, impermeável e decorativo, assegura o acabamento final e dispensa a subsequente pintura dos paramentos.

Em termos de características, destacam-se:

- Aplicação directa sobre a base do suporte;
- Fácil e rápida colocação;
- Baixas densidades;
- Impermeabilidade à água/permeabilidade ao vapor;
- Elasticidade;
- Resistência;
- Elevada aderência à base do suporte;
- Fácil Manutenção.



Figura 7: Aplicação de monomassa.

2.2.2 Gama Serpo

A gama Serpo inclui vários revestimentos, tanto de base cimentícia como acrílica. A aplicação deste tipo de produtos é relativamente simples, assim

como os acessórios utilizados. Este tipo de produtos pode ser aplicado tanto no interior como no exterior.

Em termos de características, destacam-se:

- Fácil e rápida colocação;
- Impermeabilidade à água/permeabilidade ao vapor;
- Elasticidade;
- Resistência;
- Elevada aderência à base do suporte;
- Durabilidade;
- Grande variedade de cores e texturas.



Figura 8: Aplicação de SerpoMincoat.

2.2.3 Sistema de Isolamento Térmico pelo Exterior (SerpoTherm)

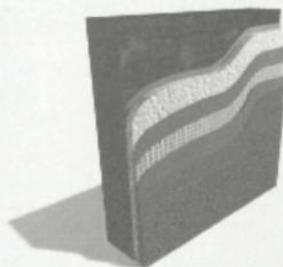
Para responder às crescentes exigências de conforto higrotérmico, que estão intimamente associadas às preocupações com o consumo de energia e protecção ambiental, é necessário isolar termicamente a envolvente dos edifícios, de modo a minimizar as trocas de calor com o exterior.

O sistema SerpoTherm apresenta vantagens no caso de edifícios com isolamento térmico insuficiente, infiltrações ou aspecto degradado. Além disto, pode diminuir o risco de ocorrência de condensações, tratando de certo modo as pontes térmicas.

Em termos de características e vantagens destacam-se:

- Redução de pontes térmicas;
- Diminuição do risco de condensações;
- Aumento da inércia térmica interior dos edifícios;

- Melhoria na economia dos edifícios, diminuindo a necessidade de aquecimento;
- Diminuição da espessura da parede;
- Aumento da protecção das paredes face às solicitações atmosféricas;
- Melhoria da impermeabilidade das paredes;
- Grande variedade de revestimentos de acabamento.



- 1 – Parede
- 2 – Serpo 408
- 3 – Placa de poliestireno
- 4 – Serpo 408
- 5 – Rede de fibra de vidro
- 6 – Primário de aderência
- 7 – SerpoScratch, SerpoRillen, SerpoMincoat ou SerpoSilcoat

Figura 9: Sistema SerpoTherm.

2.3 Características Técnicas

Em seguida, são apresentados alguns dados técnicos das soluções apresentadas anteriormente.

2.3.1 Monomassas

Tabela 1: Características técnicas das monomassas Optiroc.

Características técnicas	Unidade	Monomassa		
		Onelite p	onelite mq	onelite rf
Poder de retenção de água	%	95 ± 1	83 ± 1	93 ± 1
Massa volúmica aparente (7 dias)	kg/m ³	1455 ± 5	1660 ± 10	1760 ± 10
Resistência à tracção por flexão (7 dias)	MPa	1,5 ± 0,2	1,6 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Resistência à compressão (7 dias)	MPa	3,0 ± 0,2	3,5 ± 0,2	4,3 ± 0,2
Permeância ao vapor de água de uma camada de 10 mm de espessura (espessura da camada de ar de difusão equivalente)	M	0,08 ± 0,01	0,10 ± 0,01	0,14 ± 0,01

Características técnicas	Unidade	Monomassa		
		Onelite p	onelite mq	onelite rf
Coeficiente de capilaridade às 24 h	kg/m ² ·h ^{1/2}	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,05	0,2 ± 0,05
Módulo de elasticidade dinâmica	MPa	3680 ± 100	4890 ± 100	7160 ± 100
Aderência ao suporte, a seco e após imersão em água	MPa	sobre alvenaria de tijolo: 0,5 sobre betão moldado: 1,0	sobre alvenaria de tijolo: 0,7 sobre betão moldado: 1,2	sobre alvenaria de tijolo: 0,6 sobre betão moldado: 1,1
Susceptibilidade à fendilhação	–	fraca	fraca	fraca

Estes resultados constam nos Documentos de Homologação recentemente emitidos pelo LNEC.

2.3.2 Gama Serpo

Tabela 2: Características técnicas dos revestimentos da Gama Serpo.

Características técnicas	Unidade	Serpomincoat	Serposcratch	Serporillen
Consumo	kg/m ²	3,5 – 4,5	2 - 3	3,5 – 4,5
Aderência ao suporte, a seco / após imersão em água / após gelo-degelo	n	40 / 65 / 50	38 / 59 / 58	37 / 62 / 68
Permeância ao vapor de água - S _d	m	0,10	1,68	-
Coeficiente de capilaridade - w	kg/(m ² ·h ^{1/2})	0,04	0,025	0,023
Espessura	mm	2 - 4	2 - 3	2 - 3

2.4 Exemplos

Em seguida são apresentados alguns exemplos de recuperações de fachadas. No primeiro observa-se uma recuperação com revestimento monomassa, no segundo uma recuperação com revestimento acrílico à base de granulados de mármore e no terceiro a aplicação do sistema SerpoTherm.



Figura 10: Recuperação de fachada com Monomassa.



Figura 11: Recuperação de fachada com SerpoScratch.



Figura 12: Aplicação do sistema Serpo-Therm.

3 Pavimentos

3.1 Patologias mais frequentes

Em termos de patologias em pavimentos, as mais frequentes são:

- Fissuração;
- Falta de aderência do revestimento;
- Falta de resistência;
- Falta de nivelamento;
- Formação de bolhas;
- Esteticamente inaceitável.

A figura 13 mostra um exemplo de degradação num pavimento.



Figura 13: Degradação num pavimento.

3.2 Produtos/Soluções Optiroc

O sistema ABS é uma geração de novos produtos com características inovadoras para o utilizador. A exigente escolha das matérias primas e um exaustivo controlo de qualidade, permitem-nos garantir produtos de elevada qualidade.

Estes produtos têm um elevado valor técnico. O material de base é cimento com alto teor alumínico, que é misturado com areia e dolomite em pó. Além disso, contém polímeros na formulação, com o objectivo de aumentar as características de elasticidade e ductibilidade. O nivelamento rápido e eficaz, é conseguido com a introdução de aditivos que melhoram a liquefacção do produto.

3.2.1 O nivelamento automático é mais do que uma recta sobre um plano

As argamassas de nivelamento automático ABS oferecem:

- Grande resistência superficial para suportar grandes cargas;
- Elevada resistência à flexão para suportar acções dinâmicas;
- Baixa retracção;
- Boa aderência;
- Período de secagem curto;
- Resistência á humidade;
- Aplicação rápida e fácil;
- Economia;
- Podem ser utilizados em zonas húmidas (quartos de banho e chuveiros);
- Longa duração;
- Podem ser reciclados juntamente com o betão.

3.2.2 Construção fina e ligeira

- Baixo peso próprio;
- Aplicação rápida;
- Aplicação fácil e segura;
- Tempo de secagem mais curto;
- Menos transporte;
- Menos resíduos.

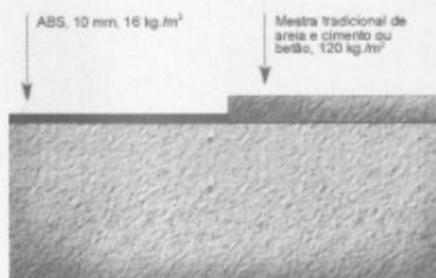


Figura 14: Pavimento autonivelante/Pavimento tradicional.



Figura 15: ABS 148 aplicado com máquina.

Estes produtos apresentam elevada qualidade e versatilidade inigualável: desde a aplicação manual até sistemas avançados para superfícies amplas, desde revestimentos destinados à indústria ligeira até ao sector naval. Para assegurar uma correcta manipulação dos produtos, a aplicação deve ser feita com máquinas de aplicação adequadas.



Figura 16: ABS 4000 aplicado à mão.

3.3 Características Técnicas

Na Tabela 3, encontram-se descritas algumas características técnicas dos pavimentos autonivelantes ABS.

Tabela 3: Características técnicas dos pavimentos ABS.

Produto	Suporte	Espessura (mm)	Resistência			Tráfego Pedonal horas	
			Compressão N/mm ²	Flexão N/mm ²	Aderência N/mm ²		
Comercial	ABS 148	Betão, betão leve, pedra e cerâmica	4 - 30	25	7	1,0	1 - 3
	ABS 317	Betão, betão leve, pedra e cerâmica, madeira, PVC	2 - 50	28	8	1,0	2 - 4
	ABS 341	Capa flutuante e betão	20 - 50	20	5	0,5	2 - 4
	ABS 3000	Betão, argamassa de cimento	0 - 5	20	-	0,5	1 - 3
	ABS 4000	Todo tipo	0,5 - 50	30	-	1,0	1 - 2
Industrial	ABS 402	Betão	5 - 30	28	9	-	2 - 4
	ABS 410	Betão	4 - 15	35	10	-	2 - 4
	ABS 430	Betão	5 - 15	25	10	-	2 - 4

3.4 Exemplos

Em seguida são apresentados dois exemplos de recuperação de pavimentos.



Figura 17: Recuperação de um pavimento com ABS.



Figura 18: Recuperação de um pavimento com ABS.

SISTEMA PERICIAL DE APOIO AO DIAGNÓSTICO DE PATOLOGIAS EM EDIFÍCIOS

Rui Calejo Rodrigues*

Correio electrónico: calejo@fe.up.pt

Peter Westcot†

Correio electrónico: pw.audit@ca.uk.org

Resumo

A patologia de edifícios pode traduzir-se através dum conjunto de relações causa-efeito cuja apreensão nem sempre é imediata. Num processo de identificação e resolução dessas patologias o decisor é muitas vezes confrontado com manifestações cuja interpretação carece de informação adicional para poder ser conclusiva. Cabe ao processo do diagnóstico estruturar o acesso a essa informação de forma a potenciar um encaminhamento na interpretação do fenómeno.

No sentido de contribuir para essa interpretação de manifestações e obtenção do respectivo diagnóstico, está em desenvolvimento um sistema de apoio à decisão que pretende justamente ser um orientador na obtenção do diagnóstico. O desenvolvimento de que se dá conta nesta comunicação relaciona-se com o estabelecimento da estrutura base do sistema de decisão que foi desenvolvida segundo os seguintes princípios:

- É possível evidenciar significância estatística entre uma manifestação e um dado diagnóstico;
- A observação e classificação de manifestações permite-nos identificar um conjunto de possíveis diagnósticos;
- Exame da patologia concorre para a diminuição da incerteza dum diagnóstico.

Assim, com base funções discretas de correlação manifestação/diagnóstico (Fmd(x)) e utilizando o processo de *Montecarlo* para ponderar a incerteza associada a cada estimação, estabeleceu-se a formulação matemática dum sistema pericial de apoio ao decisor.

Este desenvolvimento destina-se a suportar uma rotina automática denominada DIAGNOSTICA®.

Palavras-chave: Patologia da Construção, Diagnóstico, Método de *Montecarlo*.

* Assistente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Civis.

† Civil Engineer, Consultancy and Audit, Inc., London, UK.

1 Introdução

A compreensão do funcionamento dum edifício em fase de utilização não é uma tarefa simples, principalmente se considerarmos os seguintes aspectos:

- Grande diversidade de actuação dos utentes;
- Diferentes formas de utilização (correctas e incorrectas);
- Elevado número de respostas funcionais a que o edifício está solicitado;
- Multiplicidade de elementos, componentes e materiais que constituem o edifício;
- Necessidade de resposta a grande diversidade de fontes de degradação;
- Produto de um faseamento e não de uma acção única.

Não é pois necessário ter um espírito muito atento para facilmente sermos assaltados por algumas questões:

- Como é que envelhece?
- O que provoca tão grande assimetria de comportamentos?
- Que factores são geradores de anomalias?
- Qual o papel do utente no processo de envelhecimento?
- Etc.

Em parte, a resposta a estas questões é objecto duma área do conhecimento que se dedica ao estudo das anomalias em edifícios das suas origens e respectivas manifestações que se denomina patologia (Gr. *páthos*, doença + *logos*, tratado). Assume-se que o substantivo *patologia* tem ainda um outro significado, servindo também para identificar o próprio fenómeno anómalo em si, ou seja todo o conjunto de manifestações associadas a uma cadeia de relações causa-efeito que lhe está subjacente.

Atendendo-se à concepção funcional dum edifício ou seja, aquela em que se considera que este é constituído por elementos ou componentes especificados para dar resposta a uma determinada função exigencial, poderemos assumir que o comportamento dum edifício será correlacionado com o desempenho funcional dos seus elementos ou componentes. Assim sendo, a patologia de edifícios pode pois ser assumida como uma resposta disfuncional a determinadas funções exigenciais.

Entende-se por diagnóstico (Gr. *Diagnostikós*, capaz de discernir) como sendo o conjunto de procedimentos interdependentes e organizados com o objectivo único de compreender e explicar uma patologia através da observação de manifestações. Estes procedimentos, porque lidam com uma realidade complexa, necessitam de estar apoiados em metodologias que sendo suportadas por

processos científicos, contribuam para o estabelecimento de diagnósticos correctos.

Neste texto procura dar-se nota dum sistema desenvolvido para apoiar a elaboração de diagnósticos em edifícios. Trata-se duma *ferramenta* de apoio ao decisor que tem como objectivo constituir um sistema pericial de síntese de informação e análise probabilística de decisão.

Justifica-se este tipo de preocupação pois parecem fundadas as preocupações do autor no que respeita à existência de fenómenos anómalos recorrentes — repatologia (REP) — ou seja, resultado do insucesso de muitas intervenções devido à inexistência ou inadequação do diagnóstico. Para suporte desta preocupação apresenta-se na Figura 1 a evolução relativa da incidência das diferentes manifestações comparando os dados actuais, resultantes da observação de cerca de 600 casos observados em edifícios de habitação, com os publicados em 1995 quando ainda só estavam estudados 382 casos [1].

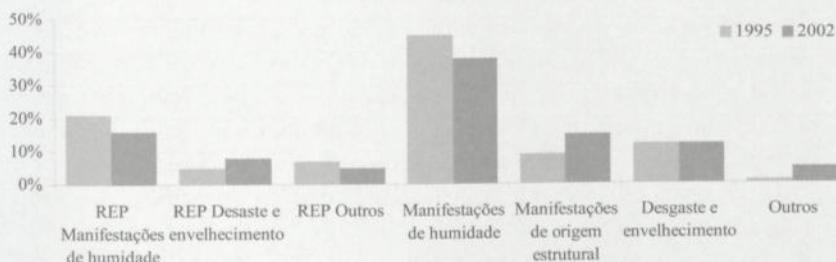


Figura 1: Evolução relativa de incidência das manifestações patológicas entre 1995 e 2002.

Da análise da figura representada pode pois concluir-se que a incidência de *repatologia* (REP) — é ainda muito elevada podendo contudo assistir-se a uma redução ao longo deste últimos 7 anos. Dos cerca de 600 casos analisados aproximadamente 30 % já tinham sido objecto de intervenções que não foram plenamente sucedidas! Note-se no entanto que estes casos não são uma amostra estatisticamente válida e que no seu critério de escolha estão fundamentalmente objectivos relacionados com patologia de humidade e estrutural.

No domínio da patologia de edifícios a obtenção dum diagnóstico é um processo que na maioria dos casos tem de lidar com informações diversas cuja ponderação e valorização nem sempre é simples. Para por em prática um sistema pericial de apoio à elaboração do diagnóstico é necessário estabelecer todo o cenário de modelação do comportamento e da degradação de edifícios, para, uma vez estabelecido o modelo, compreender qual ou quais mecanismos influem as manifestações disfuncionais. Uma vez assumidas estas definições

considerou-se a metodologia de elaboração de diagnósticos referida pelo autor em [1] e da qual se dá nota síntese no ponto 4.

É justamente a partir desta metodologia para elaboração de diagnósticos que se desenvolveu um sistema pericial baseado nos seguintes princípios:

1. É admissível que num dado cenário construtivo idêntico, uma manifestação dum patologia possa, em termos probabilísticos, relacionar-se com um dado diagnóstico;
2. A simples observação dum manifestação anómala permite estabelecer um quadro patológico que na maioria dos casos nos conduz ao diagnóstico correcto;
3. Informação adicional resultante do exame da patologia conduz a uma diminuição da incerteza e à validação ou rejeição do diagnóstico inicial.

Com base na teoria da probabilidade considerou-se que qualquer manifestação daria lugar a estabelecer-se uma lista de possíveis diagnósticos — LPD —, independente de qualquer consideração adicional. Esta LPD inicial assume que cada diagnóstico tem uma probabilidade de ocorrência idêntica e que posteriores fases do diagnóstico permitem condicionar essa probabilidade encaminhando-a no sentido de eliminar uns e robustecer outros. Modela-se este condicionamento probabilístico por aplicação da teoria da probabilidade condicionada ou de *Bayes*.

Adicionalmente considerou-se uma dada incerteza para as distribuições de probabilidade condicionada, ou seja em cada fase posterior à identificação da LPD foi possível considerar desvios de opinião, ou incerteza, sobre qual ou quais factores afectam mais o diagnóstico, ao invés de se considerar um valor fixo admitiu-se uma distribuição de incerteza recorrendo-se ao método de *Montecarlo* para possibilitar a aplicação do teorema de *Bayes*.

2 Sistema Pericial Proposto

2.1 Formulação base

O processo de obtenção do diagnóstico passa por uma hierarquização — eventualmente eliminação — de hipóteses iniciais à medida que vai sendo colhida informação sobre a patologia em causa. Para obtenção dessa informação estabelecem-se os passos descritos nos pontos seguintes.

2.1.1 Lista de possíveis diagnósticos — LPD

Trata-se de listar, de uma forma independente do exame a efectuar, todas as causas n possíveis para justificar uma dada descrição visual da manifestação.

Este procedimento tem como base listas tipo de causas para as principais manifestações conforme se pode observar no quadro que se segue.

Quadro 1: Listas de possíveis diagnósticos — LPD.

$F_{1d}(x)$	Humidade	<ul style="list-style-type: none"> — Ascensional — Condensações — Precipitação — Construção — Higroscopicidade dos materiais — Utilização — Causa acidentais 	$F_{11}(x)$ $F_{12}(x)$ $F_{13}(x)$ $F_{14}(x)$ $F_{15}(x)$ $F_{16}(x)$ $F_{17}(x)$
$F_{2d}(x)$	Fendilhação	<ul style="list-style-type: none"> — Retracção dos materiais — Deformação estrutural — Solicitação térmica — Corrosão química de armaduras — Instabilidade de fundações ou solos de sustentação — Instabilidade de componentes — Causa acidentais 	$F_{21}(x)$ $F_{22}(x)$ $F_{21}(x)$ $F_{23}(x)$ $F_{24}(x)$ $F_{25}(x)$ $F_{26}(x)$
$F_{3d}(x)$	Desgastes e envelhecimento	<ul style="list-style-type: none"> — Acção dos agentes atmosféricos — Acção de agentes químicos — Uso excessivo — Utilização disfuncional — Termo de vida útil — Causas acidentais 	$F_{31}(x)$ $F_{32}(x)$ $F_{33}(x)$ $F_{34}(x)$ $F_{35}(x)$ $F_{36}(x)$

2.1.2 Descrição da manifestação

Identificação objectiva da manifestação que fez despoletar o processo de intervenção. Deverá ser uma descrição sintética e sem comentários interpretativos.

2.1.3 Exame

Trata-se de um conjunto de procedimentos efectuados de forma iterativa e não cronologicamente sequenciais, com o objectivo de apreender a totalidade do fenómeno e identificar o mecanismo *causa/efeito*. Estabelecem-se os seguintes passos:

Reconstituição construtiva: Deve ser efectuado um reconhecimento da construção onde se desenvolve a patologia, pode ser obtida da seguinte forma:

- Observação directa;
- Levantamento dimensional;

- Consulta do projecto de construção e comprovação da respectiva identidade com o efectivamente construído por um dos outros métodos;
- Sondagem (Desmonte, Furação, Destruição pontual, Percussão);
- Informação do construtor e/ou utente;
- Correlação com a tipologia construtiva.

Observação visual da envolvente: Este procedimento destina-se a efectuar um acompanhamento exaustivo do desenvolvimento espacial da manifestação percorrendo se necessário outros compartimentos contíguos ou pisos do mesmo edifício. Em particular, quando se trata de elementos com face exterior não directamente acessível pode mesmo ser necessário recorrer a meios de amplificação óptica para melhor observação.

História: Este procedimento destina-se a recolher a seguinte informação:

- Em que data aparece a manifestação;
- Como evoluiu;
- Evidencia características cíclicas;
- Tem correspondência com qualquer outra actividade.

Manifestações afins: Procurar por observação visual e inspecção do edifício encontrar outras manifestações que aparentem um comportamento semelhante e que possam indiciar o mesmo mecanismo *causa/efeito*.

Ensaio experimentais: Para comprovar um diagnóstico é muitas vezes necessário recorrer a experimentação para testar hipóteses de comportamento. Esta experimentação pode depender de apoio laboratorial e ser ou não executada *in situ*.

2.2 Matriz de diagnóstico

Todo o processo é baseado na construção duma matriz que se denominou matriz de diagnóstico onde são expressas todas as informações tanto das funções manifestação diagnóstico como das condicionantes do exame.

A consideração dos condicionalismos e respectivas incertezas estabelecidas na matriz da Tabela 1 permitem estabelecer um cenário probabilístico de apoio à decisão. De notar que para todos os condicionalismos e mesmo para a distribuição inicial de probabilidade foi criado sempre um diagnóstico escape F_{i0} ou seja é sempre possível em qualquer fase i de análise assumir que nenhum dos diagnósticos da LPD é útil para descrever o cenário ou pelo menos deixar expressas ainda algumas dúvidas relativamente ao facto em análise.

Tabela 1: Exemplo de matriz de diagnóstico.

VIEW.	VOE	CR	HIST	CM	TEST		END
	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5		
F_{10}	00 100%	00 5%	00 1%	00 1%	00 1%	B_2 - Condi- onante decor- rente da Re- constituição Construtiva - RC F_{12} (B_2) - Fun- ção discreta da probabilidade de ocorrência do segundo di- agnóstico F_{12} em conse- quência do condiciona- mento B_2	00 0%
	10 0%	10 10%	10 10%	10 1%	10 1%		10 0%
	20 0%	20 8%	20 15%	20 1%	20 1%		20 0%
	30 0%	30 25%	30 40%	30 1%	30 1%		30 1%
	40 0%	40 10%	40 20%	40 1%	40 1%		40 0%
	50 0%	50 10%	50 10%	50 1%	50 25%		50 25%
	60 0%	60 10%	60 1%	60 55%	60 35%		60 35%
	70 0%	70 10%	70 1%	70 35%	70 30%		70 30%
	80 0%	80 7%	80 1%	80 2%	80 4%		80 4%
	90 0%	90 5%	90 1%	90 2%	90 1%		90 1%
1	1	1	1	1	1	1,00	
F_{11}	00 0%	00 100%	00 100%	00 100%	00 100%	F_{12} - Segundo diagnóstico para a manifes- tação 1	00 100%
	10 0%	10 0%	10 0%	10 0%	10 0%		10 0%
	20 0%	20 0%	20 0%	20 0%	20 0%		20 0%
	30 100%	30 0%	30 0%	30 0%	30 0%		30 0%
	40 0%	40 0%	40 0%	40 0%	40 0%		40 0%
	50 0%	50 0%	50 0%	50 0%	50 0%		50 0%
	60 0%	60 0%	60 0%	60 0%	60 0%		60 0%
	70 0%	70 0%	70 0%	70 0%	70 0%		70 0%
	80 0%	80 0%	80 0%	80 0%	80 0%		80 0%
	90 0%	90 0%	90 0%	90 0%	90 0%		90 0%
1	1	1	1	1	1	1,00	
F_{12}	00 0%	00 0%	00 0%	00 10%	00 0%	Distribuição de probabilidade de ocorrência do segundo di- agnóstico	00 45%
	10 0%	10 0%	10 0%	10 45%	10 25%		10 24%
	20 0%	20 5%	20 5%	20 15%	20 50%		20 25%
	30 100%	30 20%	30 20%	30 20%	30 25%		30 5%
	40 0%	40 25%	40 25%	40 10%	40 0%		40 0%
	50 0%	50 20%	50 20%	50 0%	50 0%		50 0%
	60 0%	60 10%	60 10%	60 0%	60 0%		60 0%
	70 0%	70 1%	70 10%	70 0%	70 0%		70 0%
	80 0%	80 5%	80 5%	80 0%	80 0%		80 0%
	90 0%	90 5%	90 5%	90 0%	90 0%		90 0%
1	1	1	1	1	1	1,00	
F_{13}	00 0%	00 1%	00 0%	00 5%	00 0%	F_{12} - Segundo diagnóstico para a manifes- tação 1	00 0%
	10 0%	10 1%	10 0%	10 10%	10 0%		10 20%
	20 0%	20 8%	20 15%	20 30%	20 5%		20 5%
	30 100%	30 18%	30 20%	30 20%	30 25%		30 12%
	40 0%	40 22%	40 25%	40 10%	40 0%		40 4%
	50 0%	50 18%	50 20%	50 5%	50 0%		50 8%
	60 0%	60 12%	60 9%	60 5%	60 0%		60 5%
	70 0%	70 10%	70 9%	70 5%	70 0%		70 4%
	80 0%	80 5%	80 5%	80 5%	80 0%		80 10%
	90 0%	90 5%	90 5%	90 5%	90 0%		90 80%
1	1	1	1	1	1	1,00	

2.3 Comentários sobre a matriz de diagnóstico

Na Tabela 1 apresenta-se um exemplo matemático em que se estabelecem três hipóteses iniciais — F_{11} , F_{12} , F_{13} — tendo sido atribuída a cada uma probabilidade de ocorrência igual de 33 % — ver valor de 100 % na classe 30-40. A função escape F_{10} não é usada nesta fase.

O condicionalismo B_1 permite eliminar a hipótese F_{11} — ver valor de 100 % na classe 00-10. Além disso introduz uma grande dispersão de probabilidade

des de ocorrência para cada uma das hipóteses consideradas não evidenciando nenhuma tendência clara, admitindo mesmo poder-se verificar outra hipótese como se conclui da utilização da função escape. Trata-se dum condicionalismo *disperso* ou seja não introduz nenhuma tendência.

O condicionalismo B_2 mantém a eliminação da hipótese F_{11} , mas não estabelece uma relação conclusiva sobre as restantes hipóteses, mesmo sobre a hipótese de escape — ver dispersão de tendência em torno da classe 30-40. Trata-se dum condicionalismo *indiferenciado* ou seja, assume já opções mas de forma semelhante para todas as hipóteses.

O condicionalismo B_3 é claramente optativo no sentido de assumir a rejeição das hipóteses 1 2 e 3 embora estas últimas sem a certeza da hipótese 1 — veja-se a classe 60-70 na hipótese F_{10} e a dispersão complementar nas hipóteses F_{12} e F_{13} nas classes 10-20 e 20-30 respectivamente. Classifica-se como condicionalismo *objectivo*.

Os condicionalismos B_4 e B_5 assumem a hipótese de rejeição — ver classe 60-70 para a hipótese F_{10} — e repartem a incerteza pelas restantes hipóteses de forma diferente. Enquanto que em B_4 se assume uma repartição equitativa por ambas as hipóteses — ver classe 20-30, já em B_5 há claramente uma opção pela hipótese F_{13} e rejeição da F_{12} — ver classes 10-20 e 90-100 respectivamente.

2.3.1 Análise de resultados

Para ponderar o efeito conjunto de todos os condicionalismos recorreu-se com se disse á aplicação do teorema da probabilidade condicionada — *Bayes* — admitindo uma progressão temporal de B_1 para B_5 — qualquer outra seria possível —, tratando de forma numérica a dispersão de tendência associada a cada função $F_{md}(x)$. Utilizando este método é possível fazer uma análise já ponderada pelo efeito conjunto de todos os condicionalismos B_j estabelecidos.

Observa-se que:

- A hipótese F_{11} é deterministicamente rejeitada — 100 % na classe 00-10;
- A hipótese mais plausível é claramente a rejeição — ver distribuição de incerteza em torno da classe 60-70;
- A hipótese F_{12} é também probabilisticamente rejeitada — ver 45 % na classe 00-10;
- A hipótese F_{13} acaba por ter uma opção incoerente com probabilidades divergentes embora baixas — ver uma tendência bimodal com 36 % na classe 90-100 e 20 % na classe 20-30.

3 Exemplo de Aplicação

A metodologia descrita pode ser aplicada para apoio à elaboração de diagnósticos de três formas distintas.

Em apoio dum conjunto de peritos que estabelecem diferentes ponderações em função de cada uma das diferentes fases do diagnóstico. Note-se que essas ponderações devem ser efectuadas independentemente umas das outras. Por exemplo, pode-se considerar a opinião dum laboratório incumbido de efectuar determinado ensaio, o parecer dum especialista em determinada vertente do problema, etc. O método tem justamente como objectivo ponderar relativamente cada uma das opções.

Em apoio dum único perito que, confrontando-se com dúvidas entre diferentes diagnósticos, vai estabelecendo prioridades para cada um deles em função de cada fase do diagnóstico.

Para tratar estatisticamente informação sobre patologia da construção, de forma a abastecer um sistema automático de proposta de diagnóstico. Conhecendo a estrutura de diagnóstico dum número considerável de casos é possível identificar tendências que nos permitam estabelecer o diagnóstico mais provável limitando-se o operador do sistema a responder a questões simples que encaminham o diagnóstico.

Apresenta-se justamente esta terceira valência pois está na base duma rotina de apoio ao diagnóstico denominada DIAGNOSTICA[®] que se encontra ainda em fase de desenvolvimento recorrendo a dados do Reino Unido recolhidos pelo sistema BMI — *Building Maintenance Information* e por diversas mutuais de habitação.

O funcionamento pretendido obedece a uma lógica interactiva entre o utente e o *software*. Por exemplo, estabelecendo-se uma LPD a partir da descrição da anomalia, o sistema, para estabelecer as funções $F_{md}(x)$, inquir o operador em cada uma das fases do diagnóstico. Ou seja, por exemplo, para estabelecer a **observação visual da envolvente** dispõe dum menu de escolha múltipla onde são apresentadas as manifestações tipo daquela patologia e respectivas consequências na envolvente de forma a que o operador pudesse escolher uma, ou na dúvida atribuir pesos relativos a várias. O processo seria idêntico para as restantes fases, as quais uma vez concluídas permitiriam, pelo processo descrito, identificar o diagnóstico mais plausível.

Recorrem-se a imagens da referida rotina informática para ilustrar um exemplo dando-se no entanto nota de que esta está apenas funcional ao nível do processo matemático de base procedendo-se neste momento à carga de informação, mesmo a imagem gráfica não é ainda suficientemente apelativa.

Pensa-se a breve prazo ficar concluída a sua utilização para diagnosticar manifestações de humidade no interior de habitações no Reino Unido. Infeliz-

mente a sua utilização só será útil se considerada no mesmo cenário que serviu de base à sua montagem.

3.1 Diagnóstico de humidade no interior de edifícios de habitação

Apresentam-se alguns dos passos principais da rotina DIAGNOSTICA de apoio ao diagnóstico suportado pelo modelo apresentado.

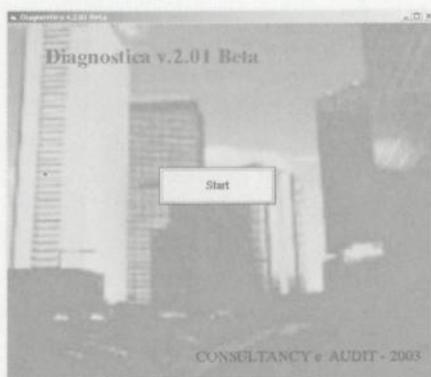


Figura 2: Quadro de abertura do programa.

O primeiro passo prende-se com a identificação dum lista de possíveis diagnósticos com base numa descrição visual simples de *humidade no interior* solicitando ao utilizador que elimine alguns diagnósticos.

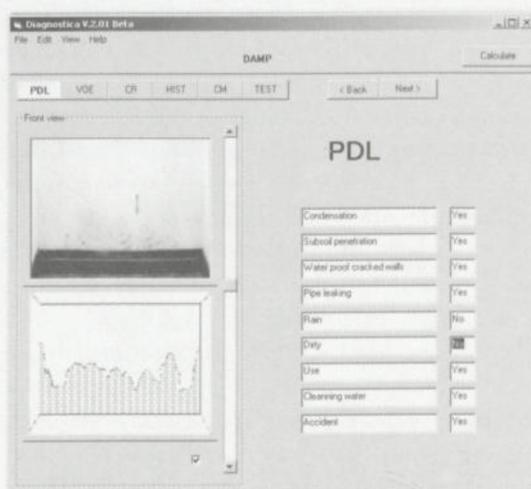


Figura 3: Quadro de selecção da Lista de possíveis diagnósticos.

Após a selecção da LPD são fornecidas informações adicionais recorrendo à observação visual da envolvente.

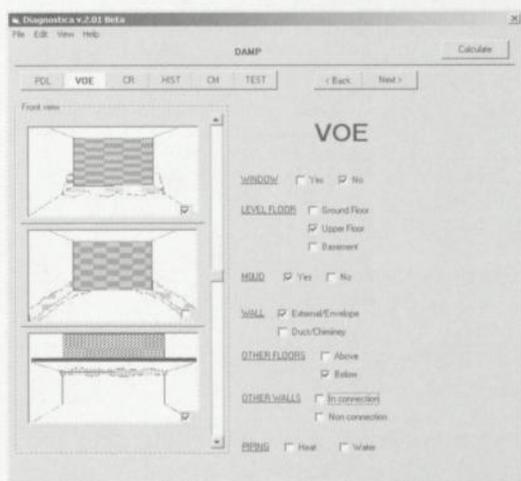


Figura 4: Quadro de informações da envolvente.

Sendo possível, a reconstituição construtiva fornece informação adicional.

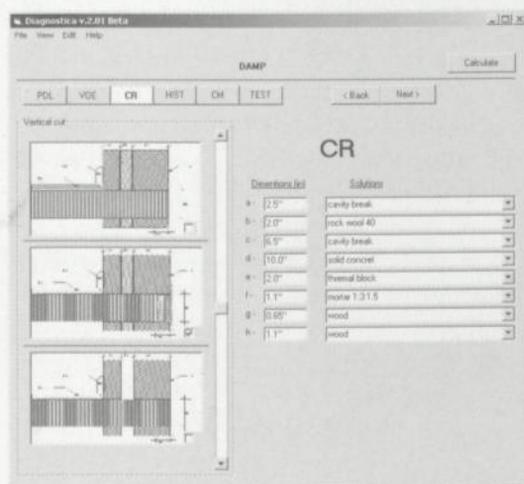


Figura 5: Reconstituição construtiva através do corte tipo.

Em função da quantidade e detalhe da informação é aplicado o modelo do sistema proposto de forma a ser identificado o diagnóstico mais provável.

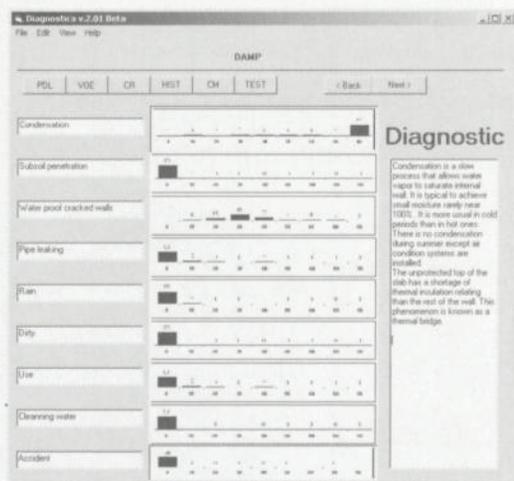


Figura 6: Quadro final com a densidade de probabilidade dos diferentes diagnósticos.

4 Bibliografia

- [1] Calejo Rodrigues, Rui *Projecto e Diagnóstico de Patologias em Edifícios*, 4.^{as} Jornadas de Construções Cíveis sobre Manutenção e Reabilitação de Edifícios, 1996, pp. 123-141.
- [2] Normas e Regulamentos *ISO 6241:1984 Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered.*
- [3] Normas e Regulamentos *ISO 15686 Building and constructed assets – Service life planning, Part 1: General principles, 2000; Part 2: Service life prediction procedures, 2001; Part 3: Performance audits and reviews, 2002.*
- [4] Calejo Rodrigues, Rui *Manutenção de Edifícios – Análise e Exploração dum banco de dados sobre um Parque Habitacional.* Dissertação de Mestrado. FEUP, 1989, pp. 177-182.

CONDENSA 13788

Condensações em Elementos de Construção

Pedro Rebelo da Silva*

Correio electrónico: pedro@1001formas.com

Resumo

Apresentação de uma ferramenta informática para a determinação do risco de ocorrência de condensações internas em elementos de construção recorrendo ao método de cálculo preconizado pela norma EN13788.

Palavras-chave: Software, EN13788, Condensações.

1 Introdução

O CONDENSA 13788 foi desenvolvido tendo em vista a avaliação da probabilidade de ocorrência de condensações internas e da sua evaporação em elementos de construção seguindo o método de cálculo preconizado pela norma EN13788.

Este programa não deverá ser visto como uma ferramenta capaz de prever com exactidão as quantidades de humidade condensadas e/ou evaporadas em qualquer elemento de construção.

Os resultados obtidos nas análises efectuadas por este programa deverão ser considerados como uma aproximação à realidade e ser utilizados para, do ponto de vista do comportamento higrométrico, comparar diferentes elementos de construção e/ou avaliar os efeitos de possíveis modificações na constituição de cada elemento.

1.1 Requisitos mínimos aconselhados

O CONDENSA 13788 foi desenvolvido para ser executado em ambientes Microsoft® Windows® de 32 bits recomendando-se a utilização dos sistemas operativos Microsoft® Windows® 2000 ou XP. Recomenda-se que a nível de hardware o computador a utilizar esteja equipado com processador Intel® Pentium® III a 800 MHz ou equivalente, placa gráfica e monitor capazes de repro-

* Programador e Sócio-Gerente da 1001FORMAS – Software e Multimédia, L.^{da}

duzir 800 × 600 pixels com uma profundidade de cor de 16 bits, 128 MB de memória RAM e um leitor de CD-ROM ou DVD.

Os requisitos mínimos tanto a nível de software como de hardware aqui indicados deverão ser vistos como recomendados, não se invalidando a possibilidade de o programa funcionar em configurações com especificações inferiores às indicadas.

As marcas indicadas atrás são marcas registadas e apenas foram utilizadas para servir de referência aos utilizadores. As marcas referidas e os seus detentores não têm qualquer relação nem com o autor nem com o CONDENSE 13788.

2 Limitações do CONDENSE 13788

O método de cálculo utilizado pelo CONDENSE 13788 corresponde à análise preconizada na norma EN13788, partindo dos mesmos pressupostos nela explicitados de entre os quais se destacam os seguintes:

- No início da análise o elemento de construção encontra-se seco, isto é, considera-se que todas as humidades devidas ao processo de construção já se evaporaram;
- As propriedades dos materiais são consideradas constantes independentemente da quantidade de vapor de água existente nos mesmos;
- Os movimentos do ar no interior ou através dos elementos de construção não são considerados;
- Assume-se que a difusão de vapor de água se dá em regime permanente unidimensional.

Como consequência das limitações atrás referidas, o CONDENSE 13788 apenas deverá ser utilizado para analisar elementos onde as consequências destas limitações possam ser desprezadas.

3 Utilização do Programa

A utilização do CONDENSE 13788 foi estudada por forma a simplificar ao máximo todo o processo de aprendizagem tentando-se minimizar o período de tempo necessário para a familiarização dos utilizadores com esta ferramenta.

3.1 Introdução de dados

Ao iniciar o CONDENSE 13788 aparecerá uma janela (Figura 1) onde o utilizador deve introduzir os dados relativos ao número e constituição das camadas do elemento construtivo, à localização geográfica onde será aplicado o

elemento em estudo e às condições de humidade e temperatura interiores esperadas, de acordo com o tipo de utilização do espaço limitado pelo elemento.

Figura 1: Preenchimento dos dados de base.

- **N.º de camadas do elemento:** n.º de camadas elementares que constituem o elemento construtivo a analisar;
- **Tipo de exterior:** o utilizador deverá escolher entre Ar ou Solo. Da escolha feita dependerá o período de tempo e as condições da análise a efectuar. Se escolher Ar como o tipo de exterior, a análise será efectuada para um período de um ano começando no primeiro mês onde ocorrerem condensações. Serão utilizados para cada mês o valor médio mensal da temperatura e da humidade relativa exteriores. Se for escolhida a opção Solo, o período de análise será de apenas um mês, considerando-se a temperatura média anual e uma humidade relativa exterior igual a 100 % (solo saturado);
- **Resistência superficial exterior:** de acordo com a EN13788 deverá ser utilizado um valor de $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;
- **Resistência superficial interior:** de acordo com a EN13788 deverá ser utilizado um valor de $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ no caso de estudo de janelas ou caixilharias e $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ para todas as outras superfícies exteriores;

- **Orientação do elemento:** o utilizador deve escolher a orientação das diversas camadas do elemento em estudo, vertical ou horizontal (ex: parede ou pavimento);
- **Localização geográfica:** a escolha de uma localização geográfica prende-se com a determinação dos dados climatéricos exteriores a considerar na análise, pelo que, deverá ser escolhida a localização cujas condições climatéricas mais se aproximem da real localização do elemento de construção a estudar;
- **Trabalhar com:** o utilizador deverá escolher se pretende trabalhar com valores de humidade relativa interior ou de higrometria interior;
- **Composição das camadas:** na lista *N.º da camada* deverá escolher a camada cujas características pretende inserir;
- Premindo o botão *Características...* poderá aceder a uma base de dados de materiais (Figura 2) e proceder ao preenchimento automático dos campos condutibilidade térmica λ e permeabilidade ao vapor de água π ;

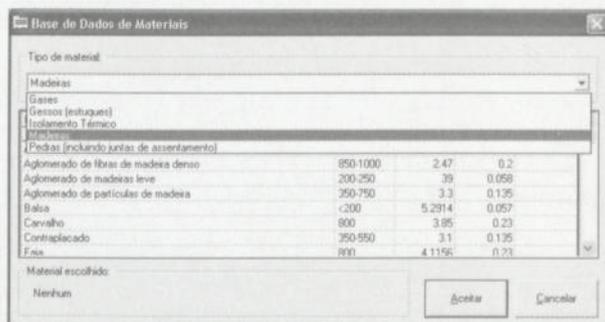


Figura 2: Base de dados de materiais.

- Premindo o campo *Côr/Padrão* abrirá uma janela com uma paleta de cores e padrões para mais facilmente identificar cada camada do elemento (Figura 3);

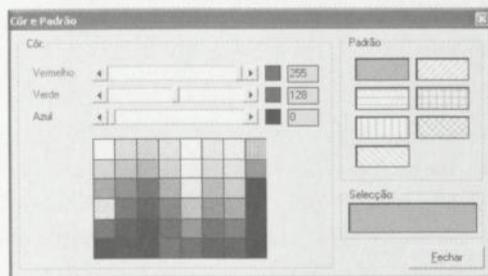


Figura 3: Cores e padrões.

3.2 Esquema construtivo

Seleccionando o separador *Esquema Construtivo* poderá a qualquer altura confirmar os dados que introduziu anteriormente de uma forma gráfica (Figura 4).

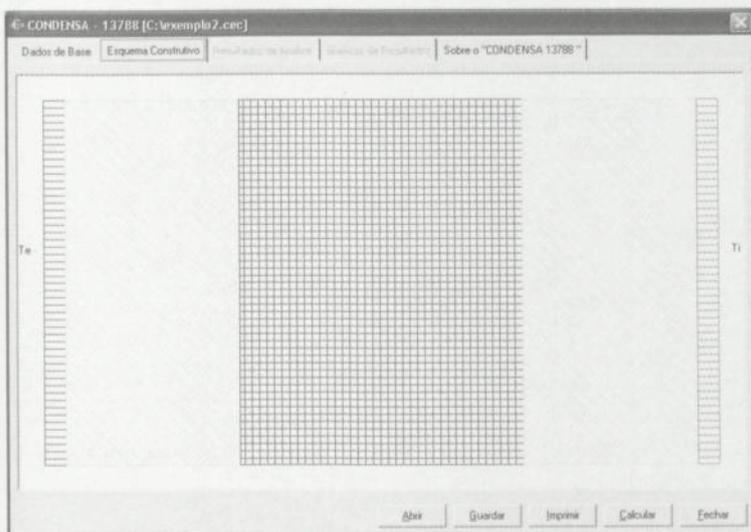


Figura 4: Esquema construtivo.

3.3 Cálculo

Depois de introduzidos e verificados os *Dados de Base* deverá premir o botão *Calcular* para que a análise seja efectuada.

A partir deste momento todos os separadores do programa ficarão disponíveis e ficará automaticamente activo o separador *Resultados da Análise* (Figura 5) onde poderá verificar além de outros elementos, as quantidades de humidade condensadas e evaporadas nos interfaces entre camadas do elemento construtivo.

Mês	T(int)	HR(int)	P(int)	T(ext)	HR(ext)	P(ext)	gc (int.1)	Ma (int.1)	gc (int.2)	Ma (int.2)	Ma (Total)
	[°C]	[%]	[Pa]	[°C]	[%]	[Pa]	[Kg/m²]	[Kg/m²]	[Kg/m²]	[Kg/m²]	[Kg/m²]
11	20.0	57.0	1332.062	5.0	88.0	767.241	0.01318	0.01318	0	0	0.01318
12	20.0	59.0	1376.801	1.0	88.0	577.618	0.07037	0.08355	0	0	0.08355
1	20.0	57.0	1332.062	-1.0	85.0	477.735	0.07192	0.15546	0.03490	0.03490	0.19037
2	20.0	58.0	1355.432	0.0	84.0	512.820	0.06750	0.21296	0.03361	0.03361	0.25148
3	20.0	54.0	1251.954	4.0	79.0	634.022	0.01383	0.22579	-0.52712	0	0.22579
4	20.0	51.0	1191.845	9.0	72.0	826.187	-0.16450	0.06229	0	0	0.06229
5	20.0	51.0	1191.845	14.0	68.0	1095.457	-0.34290	0	0	0	0
6	20.0	50.0	1168.476	18.0	69.0	1423.353	0	0	0	0	0
7	20.0	56.0	1308.699	19.0	73.0	1603.190	0	0	0	0	0
8	20.0	52.0	1215.215	19.0	75.0	1647.113	0	0	0	0	0
9	20.0	56.0	1308.699	15.0	79.0	1346.482	0	0	0	0	0
10	20.0	57.0	1332.062	10.0	83.0	1018.667	0	0	0	0	0

Observações:

A análise efectuada revelou a ocorrência de condensações internas mas prevê-se que seja possível a sua evaporação por completo durante os meses de verão.

- Pode-se existir risco de degradação dos materiais de construção.
- A performance térmica do elemento construtivo poderá ser afectada.

Abrir Guardar Imprimir Fechar

Figura 5: Resultados da análise.

Seleccionando o separador *Gráficos de Resultados* (Figura 6) o utilizador poderá de uma forma mais amigável verificar a ocorrência de condensações e/ou evaporações nos diversos interfaces entre as camadas do elemento construtivo em estudo.

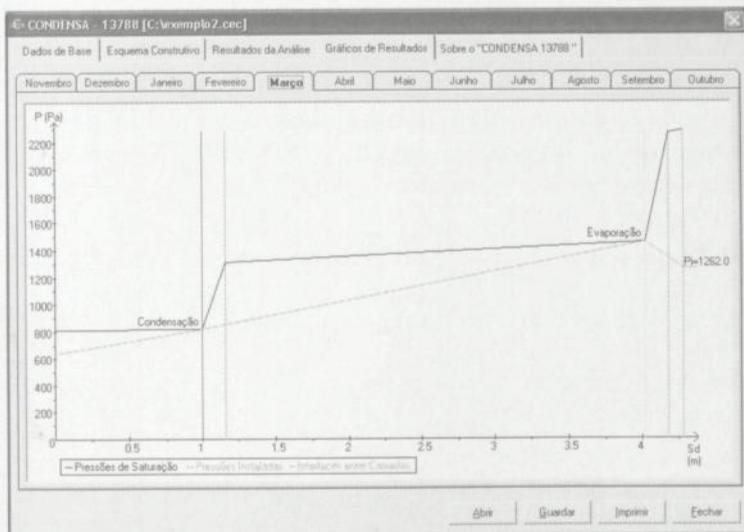


Figura 6: Gráficos de resultados.

A disposição dos meses do estudo poderá não corresponder à ordem normal dos meses do ano, isto é, de Janeiro a Dezembro. A ordem de apresentação dos resultados do estudo depende do mês onde se deu início à análise (primeiro mês onde se prevê ocorrerem condensações) determinado de acordo com a EN13788.

3.4 Outras opções do CONDENSE 13788

Os separadores de resultados apenas ficam activos depois de efectuado o cálculo e são desactivados novamente sempre que o utilizador entra no separador *Dados de Base* para evitar que, em algum momento, os dados fossem alterados e os resultados visualizados sem reflectir as alterações feitas.

O botão imprimir tem duas funcionalidades distintas de acordo com o separador que se encontrar seleccionado. Caso o utilizador tenha seleccionado um dos separadores de resultados, imprimirá os dados de base e os resultados da análise efectuada incluindo os gráficos de resultados, caso contrário imprimirá apenas os dados de base da análise a efectuar.

Os dados de base poderão ser guardados em disco sempre que o utilizador o pretenda, bastando para isso premir o botão *Guardar* e escolher um nome e uma localização para o ficheiro onde guardará os dados. Os dados guardados poderão ser recuperados mais tarde premindo o botão *Abrir*.

4 Agradecimentos

Agradecem-se os valiosos contributos do Ex.^{mo} Sr. Professor Vasco Peixoto de Freitas e do Laboratório de Física das Construções da FEUP durante as fases de desenvolvimento e de teste do CONDENSE 13788 sem os quais esta ferramenta não poderia ter sido desenvolvida.

5 Bibliografia

- [1] Freitas, V. P. & Pinto, P. S. *Nota de Informação Técnica – NIT 002*, Porto: LFC, 1998.
- [2] CEN, EN ISO 13788.

UNDERSTANDING THE HYGROTHERMAL BEHAVIOR OF A BUILDING ENVELOPE BY USING AN ADVANCED MODEL (WUFI)

Andreas H. Holm

Correio electrónico: holm@hoki.ibp.fhg.de

Hartwig Künzle

Correio electrónico: kuenzel@hoki.ibp.fhg.de

Achilles Karagiozis

Correio electrónico: karagiozisan@ornl.gov

1 Introduction

In civil and architecture engineering there is an increasing demand for calculative methods to access and predict the long-term heat, air and moisture (hygrothermal) performance of building envelope systems. Accessing the particular performance of a complete envelope system or a sub-system is a critical task for an architect or building envelope designer. This need for better tools to access the hygrothermal performance of designed systems has been necessitated by numerous catastrophic moisture related failures, codes and higher expectations and demands by the consumer. Indeed, even today the majority of the building envelope designs rarely undergo a design assessment for moisture control; instead prescriptive requirements are sometimes followed that occasionally apply. Until very recently even if a European building envelope designer applied a moisture design assessment approach, such as the one recommended by Glaser, the analysis was steady state (stagnant environmental loads) and did not account for the important dynamic and thermal and moisture transport mechanisms.

Recent advancements however by Freitas (1992), Künzle (1994), Salonvaara and Karagiozis (1998), Karagiozis (1997, 2000) and IEA Annex 24, Hens (1996) in fundamental understanding of the transport of the combined heat, air and moisture transport have aided in the development of advanced hygrothermal computer models. Several advanced models have been developed, and detailed reviews of these are included in a new chapter in the ASTM Manual on *Moisture Analysis for Buildings* by Karagiozis (2001). At present

only a limited number of these models have been termed as *moisture engineering models*.

Essentially moisture engineering models deal with the characterization the complex hygrothermal behavior of building envelope systems. The service life of a building envelope is strongly correlated with how the individual systems of building envelope components (walls, roofs and basements) manage their responses to heat, air and moisture transport excitations. The main advantage of modeling is that, if the building envelope system has been carefully characterized, the long-term hygrothermal performance of the system under different climatic conditions, effect of changes in the interior conditions (HVAC), and the effect of various energy retrofit to the building durability (hygrothermal performance) can be predicted. Moisture load tolerances of various envelope designs can also be investigated with respect to the drying potential and the total system effect of various design alternatives, by employing modeling. Modeling however is not meant to replace valuable lab and field investigations but to challenge them, and extend the information they may provide. In many experimental evaluations of complex envelope systems, simulations can be performed to design, explain and interpret the experimental results.

Over the last 40 years, moisture engineering heavily relied on experimental approaches to resolve moisture performances of building envelopes. Hundreds of examples, research investigations, employing laboratory and field monitoring, *Hens (1996)*, *Treschel (1994)* have been performed in both North America and Europe on specific building envelope case studies. A disproportionate number of these have only concentrated on the thermal performance characterization of building systems. However, the majority of our current design guidelines have essentially been generated by past experimental analysis. This has provided invaluable results in some case, but in others more questions than answers. During the same period, 1960-1990, moisture modeling of building envelope systems was not developed at the same level of expertise as that provided by experimental approaches.

In this paper, a brief description, of the WUFI hygrothermal model is given. WUFI is an advanced hygrothermal model that was specifically tailored to the needs of architects and building envelope designers.

2 Background on WUFI

The WUFI hygrothermal model is a Windows-based PC program for the hygrothermal (heat and moisture) analysis of building envelope constructions. WUFI software is an easy-to-use, menu-driven program for use on a personal computer that can provide customized solutions to moisture engineering and

damage assessment problems for various building envelope systems. The model was mainly developed by the Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) in Holzkirchen, Germany.

The WUFI Model is a transient, one-dimensional heat and moisture transfer model that can be used to assess the hygrothermal behavior for a wide range of building material classes under climatic conditions found in Europe. This version of the model was specifically developed to provide an educational overview of the complicated moisture transport phenomena occurring in construction assemblies, and to allow both building envelope designers and architects insight into design decisions. The WUFI Model can be used to estimate the drying times of masonry and lightweight structures with trapped or concealed construction moisture, investigate the danger of interstitial condensation, or study the influence of driving rain on exterior building components. The program can also help to select repair and retrofit strategies with respect to the hygrothermal response of particular wall assembly subjected to various climates. This allows the comparison and ranking of different designs with respect to total hygrothermal performance. This design tool can aid in the development and optimization of innovative building materials and components. For example, WUFI simulations led to the development of the smart vapor retarder (Künzel 1998), a successful application of a software tool to a practical moisture control problem.

Once you have supplied WUFI with the data it needs, it will calculate the time evolution of the temperature and moisture fields in the building component. During or at the end of the simulation you will be given three types of distributions results that describe the temporal evolution of certain quantities, taken at specified locations or as mean values over specified layers.

The following parameters are given as courses:

- The heat flux densities through the interior and exterior surface, respectively;
- The temperature and relative humidity at monitoring positions of your choice (e.g., at the interior and exterior surfaces, or in the middle of an insulation layer);
- The mean moisture content of each material and the total moisture content of the entire building component.

Additionally profiles (graphs), which show the spatial distribution of a quantity across the building component at a specified point in time of the following quantities, are available:

- The temperature across the assembly;

- The relative humidity across the assembly;
- The moisture content across the assembly.

A film file, which contains the transient profiles over all time steps and thus allows the display of the thermal and hygric processes in the building component as an animation.

Courses, profiles, and the film are written to a single file in a compact binary format. This file is currently imbedded in the input file to allow better control of each simulation case. WUFI offers graphics functions that allow you to view the computed courses and profiles and print them. The film viewer allows you to view the film at your leisure after completion of the calculation.

The predecessor of this program WUFI was released in Europe in 1994 (Künzel 1994) and has since been widely used by building envelope designers, architects, building physicists, consulting specialists, and universities in Europe. The WUFI model is an excellent educational tool for understanding the basic principles and interactions present during moisture transport.

In addition to the educational version WUFI, IBP (www.wufi.de) offers the professional version WUFI-pro V3.0 with advanced features and options. The commercially available WUFI-pro V3.0 mainly addresses users with some previous experience in the fields of hygrothermal analysis and moisture transport simulations.

2.1 Physical background

The WUFI model is a heat and moisture transport model that is customized for predicting the performance of building envelope systems in North and South America. In this section of the paper some of the fundamental equations used in the main WUFI engine by Künzel (1994) are discussed. For more details on the theory, consult the corresponding chapter in the new ASTM manual 40 on *Moisture Analysis for Buildings* chapter authored by Künzel et al (2001).

2.2 Moisture storage

The application of hygrothermal simulation tools requires some basic knowledge about material properties. Most building materials are hygroscopic which means that they absorb water vapor from the environment until equilibrium conditions are achieved. This behavior can be described by sorption curves over a humidity range between 0 % and 95 % R. H. For some materials the equilibrium water content is not very sensitive to changes in temperature, these sorption curves are also called sorption isotherms. From 95 % R. H. up

to the capillary saturation at 100 % R. H. stretches the capillary water range. In this range the equilibrium water content of a material is still a function of relative humidity. However, this function can no longer be determined by sorption tests in climatic chambers. Here, a pressure plate apparatus is necessary in order to complete the sorption curve in the high humidity range. The resulting water retention curve is a prerequisite for simulations including liquid transport. Figure 1 shows some examples of these curves for typical building materials with different sorption capacities. While wood has a similar moisture capacity in both humidity ranges, clay brick has a very low sorption capacity in the hygroscopic range but high water retention in the capillary water range. For concrete the opposite is true. These differences have an important effect on the transient moisture behavior of the materials and may not be neglected. The hysteresis between absorption and desorption isotherms is usually not very pronounced, this is approximated in the model as the absorption isotherm.

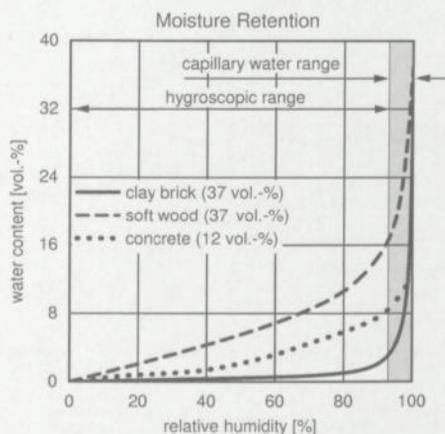


Figure 1: Moisture retention curve for three typical building materials. Shaded area is the part the capillary water range determined with pressure plate apparatus.

2.3 Moisture transport

The moisture transport in porous materials is largely due to vapor diffusion, surface diffusion and capillary conduction. The coincidence of these transport phenomena in practice will be explained by Figure 2. Considered is a capillary in a masonry wall under winter conditions, when the vapor pressure indoors is higher than outdoors and the inverse is true for the relative humid-

ity. In the dry state the vapor is driven outwards by the vapor pressure gradient. However such a dry state rarely exists and there is a layer of absorbed water at the inner surface of the pore. This layer has a higher molecular density (it is 'thicker') at the outdoor end compared to the indoor end of the capillary due to the gradient in relative humidity that is opposed to the vapor pressure gradient. By molecular motion in the surface film moisture is thus transported inwards. Vapor and surface diffusion can counterbalance each other to such an extent that the overall moisture transport and therefore also the amount of condensation are considerably reduced. In the case of wet conditions, e.g. after rain penetration, when the pores are filled with water, capillary conduction sets in. This very efficient moisture transport is governed by differences in capillary pressure. Since there is a direct relation between the capillary pressure and the relative humidity (*Kelvin's law*) the latter can also be considered as driving force for capillary flow.

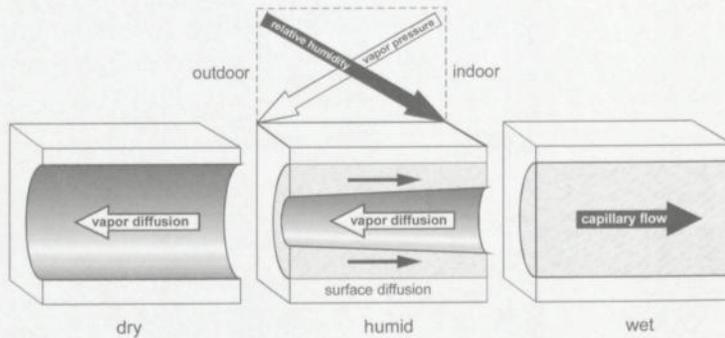


Figure 2: Moisture Transport Mechanism.

2.4 Governing transport equations

The governing equations employed in the WUFI model for mass and energy transfer are as follows:

Moisture conservation

$$\frac{\partial w}{\partial \phi} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial t} = \nabla \cdot (D_{\phi} \nabla \phi + \delta_p \nabla (\phi p_{sat})) \quad (1)$$

Energy conservation

$$\frac{\partial H}{\partial T} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + h_v \nabla \cdot (\delta_p \nabla (\phi p_{sat})) \quad (2)$$

where

ϕ — relative humidity

t — time, s

T — temperature, K

c — specific heat, J/(kg·K)

w — moisture content, kg/m³

p_{sat} — saturation vapor pressure, Pa

k — thermal conductivity, W/(m·K)

H — total enthalpy, J/m³

D_ϕ — liquid conduction coefficient, kg/(m·s)

δ_ρ — vapor permeability, kg/(m·s·Pa)

h_v — latent heat of phase change, J/kg

On the left-hand side of equations (1) and (2) are the storage terms. The fluxes on the right-hand side in both equations are influenced by heat as well as moisture: the conductive heat flux and the enthalpy flux by vapor diffusion with phase changes in the energy equation strongly depend on the moisture fields and fluxes. The liquid flux in the moisture transport equation is only slightly influenced by the temperature effect on the liquid viscosity and consequently on D_ϕ . The vapor flux, however, is simultaneously governed by the temperature and the moisture field because of the exponential changes in the saturation vapor pressure with temperature. Due to this close coupling and the strong non-linearity of both transport equations, a stable and efficient numerical solver had to be designed for their solution.

2.5 Material properties and boundary conditions

The accuracy of simulation results depends largely on the availability of consistent material properties. The minimum parameters required for each material are specific heat capacity c , thermal conductivity λ , bulk density ρ , total porosity ε and the vapor diffusion resistance factor μ . If hygroscopicity and capillarity should be accounted for the moisture retention curve (Figure 1) and the liquid conductivity D_ϕ have to be added.

All building components interact with their hygrothermal environment. This means that the ambient conditions influence the building component and vice versa. This reciprocal influence, which is mainly confined to the interior

environment, may have to be considered for the formulation of the boundary conditions. For most applications an annual sine wave for indoor temperature and humidity is appropriate. The formulation of the exterior climate conditions is more complex. If solar radiation or precipitation should be accounted for, hourly weather data become necessary. A complete data set (including precipitation) for Portugal will be included in the WUFI model. *Vasco Freitas* from the University of Porto gratefully acknowledged for his assistance.

2.6 Calculation Procedure

The transient calculation procedure of the WUFI model is outlined by the flow chart in Figure 3. The necessary input data include the composition of the examined building component, its orientation and inclination as well as the initial conditions and the time period of interest. The material parameters and the climate conditions can be selected from the attached database. Starting from the initial temperature and water content distributions in the component, the moisture and energy balance equations have to be solved for all time steps of the calculation period. Both equations contain the storage terms on the left and the transport terms on the right hand side. The moisture balance includes the derivative of the moisture retention curve (l.h.s.), the liquid transport the vapor diffusion, which are related to gradients in relative humidity and vapor pressure respectively. The enthalpy of solid and moisture forms the storage of the energy balance. The energy flux consists of the thermal transmittance and the latent heat due to condensation and evaporation of moisture. The coupled transfer equations are solved numerically by an implicit finite volume scheme. The resulting output contains the calculated moisture and temperature distributions and the related fluxes for each time step. The results may be presented as animated moisture and temperature profiles over the cross-section of the building component or as plots of the temporal evolution of the variables.

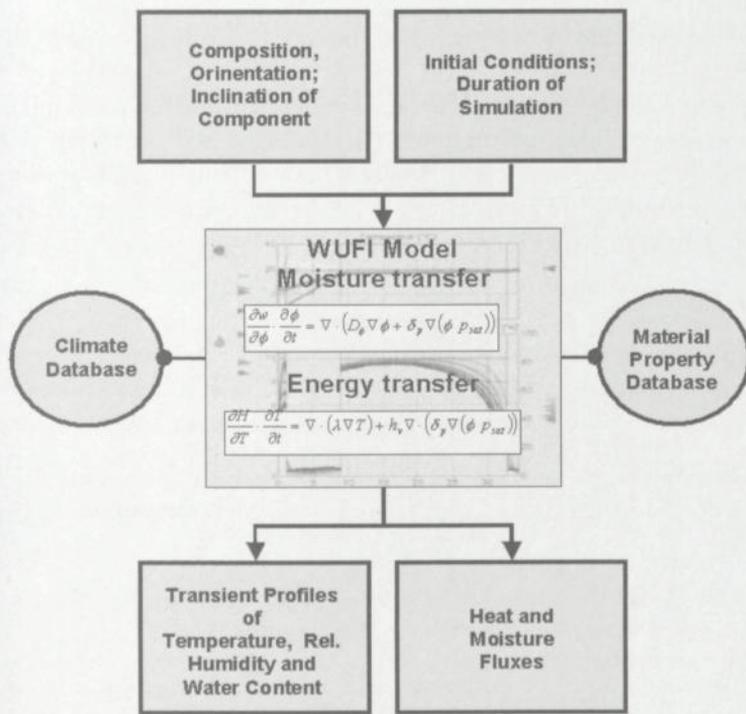


Figure 3: Flow Chart of WUFI-ORNL/IBP.

3 WUFI Hygrothermal Model Features

The WUFI model is one of the most advanced hygrothermal model for building envelope analysis for architects, engineers, and consultants. It is based on a state-of-the-art understanding of building physics in regard to sorption and suction isotherms, vapor diffusion, liquid transport, and phase changes. The model is also well documented and has been validated by many comparisons between calculated and field performance data (Künzel, Kießl Krus, 1995), (Künzel 1996), (Holm, 1999).

The model requires a limited number of standard, readily available material properties. A materials database that is part of the program includes a full range of materials commonly used in Europe. At present existing data are used from IBP, VTT, TU Vienna, CSTB, ORNL, KU Leuven and other sources, but these will be upgraded with Data for Portugal in the near future.

This database will also be published on the Internet and registered WUFI users can download it for free.

The WUFI requires hourly weather data, such as temperature, relative humidity, wind speed and orientation, driving rain, and solar radiation are employed in the hygrothermal calculations. These data are available for a several locations in Europe. The model has several enhanced features. Some attractive modeling capabilities are as follows:

- The WUFI model is an excellent professional and educational tool for understanding the complex interactions during the transport of heat and moisture in construction assemblies. The visual design allows one to understand the complex effects that non-linear material properties play in the transport of moisture;
- The WUFI model may be used to understand the transient heat and moisture diffusion and capillarity in any one-dimensional wall geometry;
- The model contains new algorithms for modeling the effect of wind-driven rain as a function of building height;
- The model uses real-time meteorological data to account for the exterior environmental conditions that affect the performance of the envelope system.

The model's new visual interface was designed for simplicity and to assist the user by offering lists of predefined parameters for selection.

4 Experimental Validation

The model is most likely the most validated and benchmarked model for hygrothermal applications. The validation of a numerical model requires reliable experimental investigations with well-documented initial and boundary conditions, as well as accurate material properties. The following examples were chosen because they meet these criteria.

- **Moisture behavior of an exposed natural stone façade.** The degradation of natural stone facades is mainly due to moisture-induced weathering or damaging processes. Therefore, these facades are often treated with water repellent or reinforcing chemicals that may not always be beneficial. Such a treatment not only reduces the water absorption but also the drying rate. In order to investigate the hygrothermal behavior and the durability implications of natural stone facades, sandstone samples were thoroughly examined in the laboratory to obtain reliable

material parameters for the simulations. Afterward, the samples were dried and exposed to the natural climate in a field test. During this test, the exact climatic conditions were recorded and the moisture behavior of the samples was determined by weighing and NMR profile measurements. The material parameters and the recorded weather data (hourly values of indoor and outdoor temperature, relative humidity, driving rain, and solar radiation) served as input for the calculations. Figure 4 shows a comparison of the calculated and the recorded water content of the facade samples as well as the climatic conditions during the observation period. This excellent agreement in total water content between experiment and calculation can be confirmed by examining the moisture profiles at certain time intervals in Figure 5.

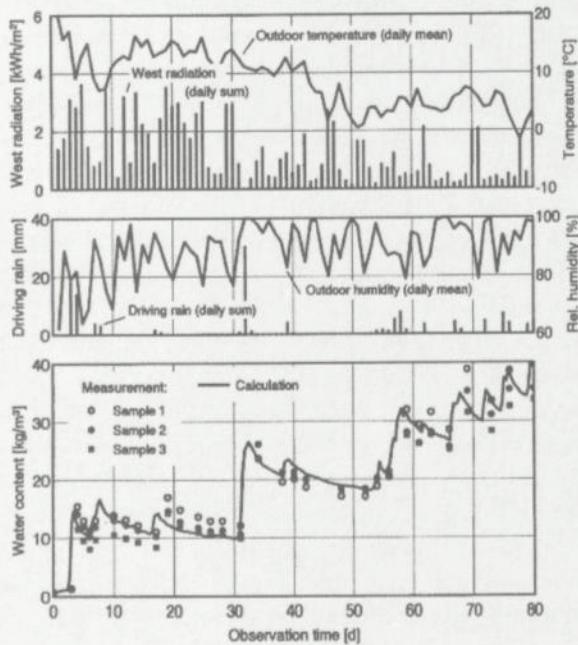


Figure 4: Transient behavior of a stone facade. The output is the measured and calculated mean water content evolving with time. The actual weather input conditions are shown in the two figures above. The output is shown in the figures below (Künzel 1995).

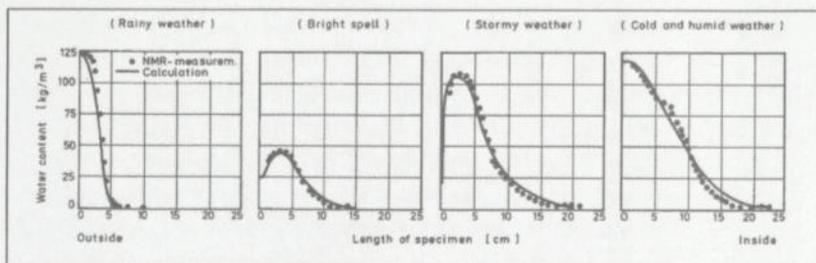


Figure 5: Transient behavior of a stone facade. Measured and calculated moisture content profiles for four subsequent time periods (Künzel 1995).

- **Drying of masonry with exterior insulation.** Exterior insulation finish systems (EIFS) applied on masonry can prolong its dry-out time. In severe cases, the construction moisture in the masonry can severely damage the stucco of the EIFS if moisture is accumulating beneath it through vapor diffusion. Therefore, a test house was erected with calcium silica brick masonry and insulated with two types of EIFS. The insulation layers were 80 mm thick and consisted of expanded polystyrene slabs (EPS) or high-density mineral fiber. Mineral-fiber insulation is mainly used for fire protection or sound insulation purposes. The drying process of the walls was monitored by drill probing the walls several times after completion of the house. Figure 6 depicts the measured and calculated moisture profiles over the cross section of the walls at subsequent time intervals. The results correspond well and they show a great influence of the insulation material on the drying behavior of the wall. Due to the rather low water vapor permeance of the EPS, the masonry in the top graph dries mainly to the interior of the building, which prolongs the drying-out process compared to the wall in the bottom graph. The high vapor permeability of the mineral-fiber insulation results in an effective dry-out to both sides. However, in this case, the stucco must also have high permeability in order to avoid excessive condensation beneath its surface, which can cause frost damage.

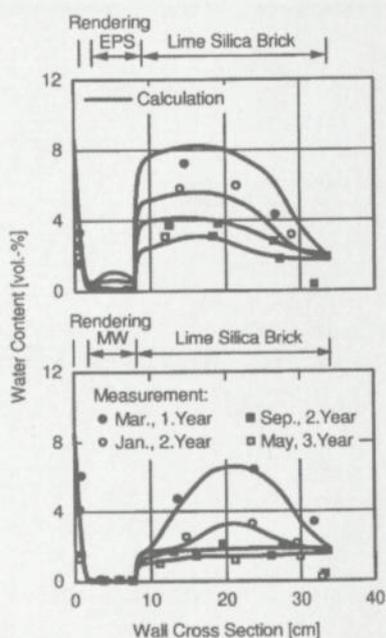


Figure 6: Measured and calculated moisture content profiles at different time periods after finishing the construction for an EIFS with EPS insulation (top) and mineral wool (bottom) (Künzel 1995).

5 WUFI Model Interface/Application Case

To demonstrate the user-friendly capabilities of the model, an example case was developed. A snapshot of the master screen for the WUFI model is displayed in Figure 7. The user can return to this screen after inputting all needed parameters. The following simple steps are required to set up a wall system:

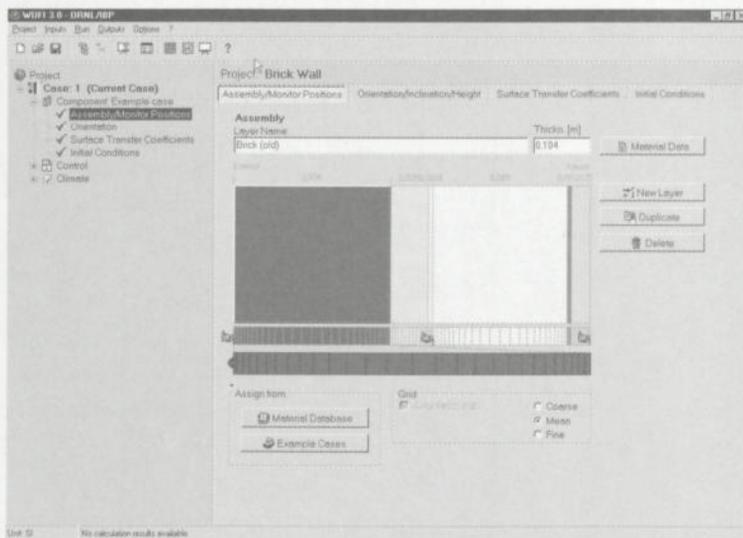


Figure 7: Enter Envelope Detail (dimensions, layout and monitors)

1. **The user develops a project.** Within each project, the user may introduce up to two separate sets of modeling cases. The interface functions for data input are organized in the following three groups:
 - **Component:** The user specifies the modeling scenario and details of the envelope system of the modeling, such as geometrical makeup, the material parameters, orientation, rain parameters, surface characteristics, and initial conditions.
 - **Control:** The user defines the time period for which the simulation is to be carried out as shown.
 - **Climate:** The user defines the exterior and interior environmental exposure conditions of the construction.
2. **Run.** The user starts the simulation. During the calculation, WUFI displays the computed thermal and hygric profiles as an animation.
3. **Output.** The user can display and print out the input data summary, check the status of the simulation, and view and print the results.
4. **Options.** The user can define the unit system (either IP or SI units), configure warnings, and select save options.

All these functions are needed to establish each case within a project. Following the sequence order in the project explorer or in the menu bar, you can successfully prepare all inputs, perform the simulation, and review output results.

Of significant value is that the user can watch the simulated performance of the wall envelope graphically while the simulation is being performed. This graphical presentation of all the important quantities as a function of time while the simulation is being performed is of excellent educational value. One of the main objectives during the development of the WUFI model was to provide an educational value imparted by visually displaying the simultaneous heat and moisture performance of building envelope systems as a function of time and space. Also, providing many drop-down menus where the user simply selects rather than inputs the required parameters permits a higher level of confidence that the simulation is being performed correctly. It is expected that future upgrades of the model will aim at providing a greater selection of construction materials.

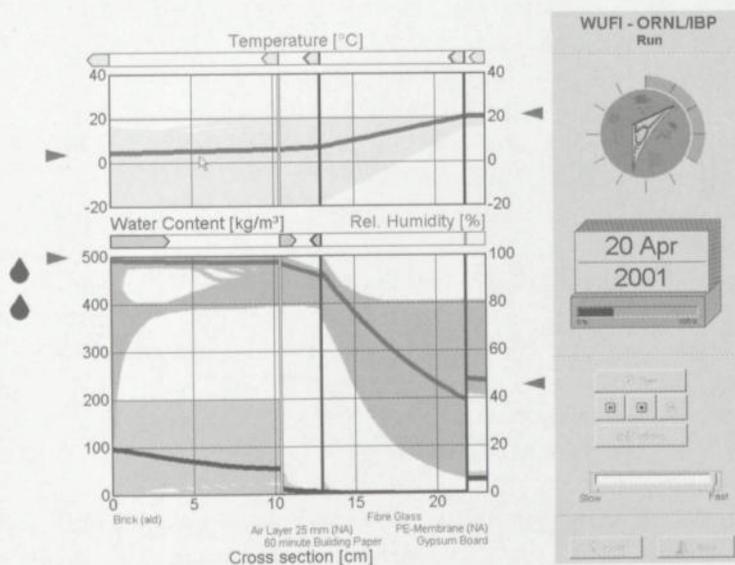


Figure 8: Simulation Film Output (Graphical Simulation Results)

6 Conclusions

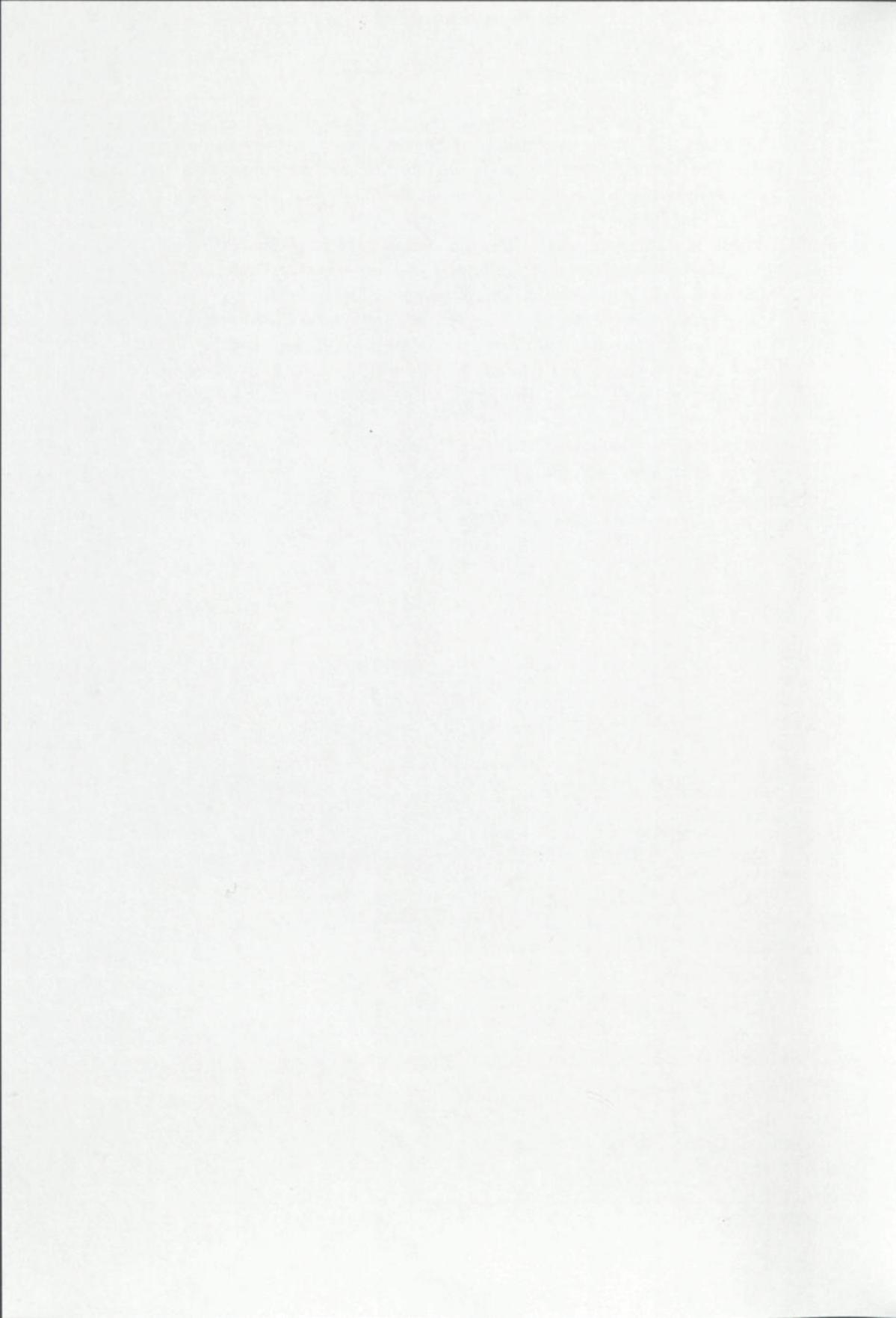
Major progress has been achieved in the last few years in the development of advanced hygrothermal models. For the first time, a simple to use moisture-engineering model is available to building envelope design community. By keeping the input requirements to simply defining the wall structure, the user can easily determine the performance of a wide range of wall systems as a function of climate and interior environment.

Currently a educational version of WUFI is freely available to the European User (www.wufi.de) and the WUFI-Pro (Professional version) from the Fraunhofer web site to architectural and building envelope community.

7 References

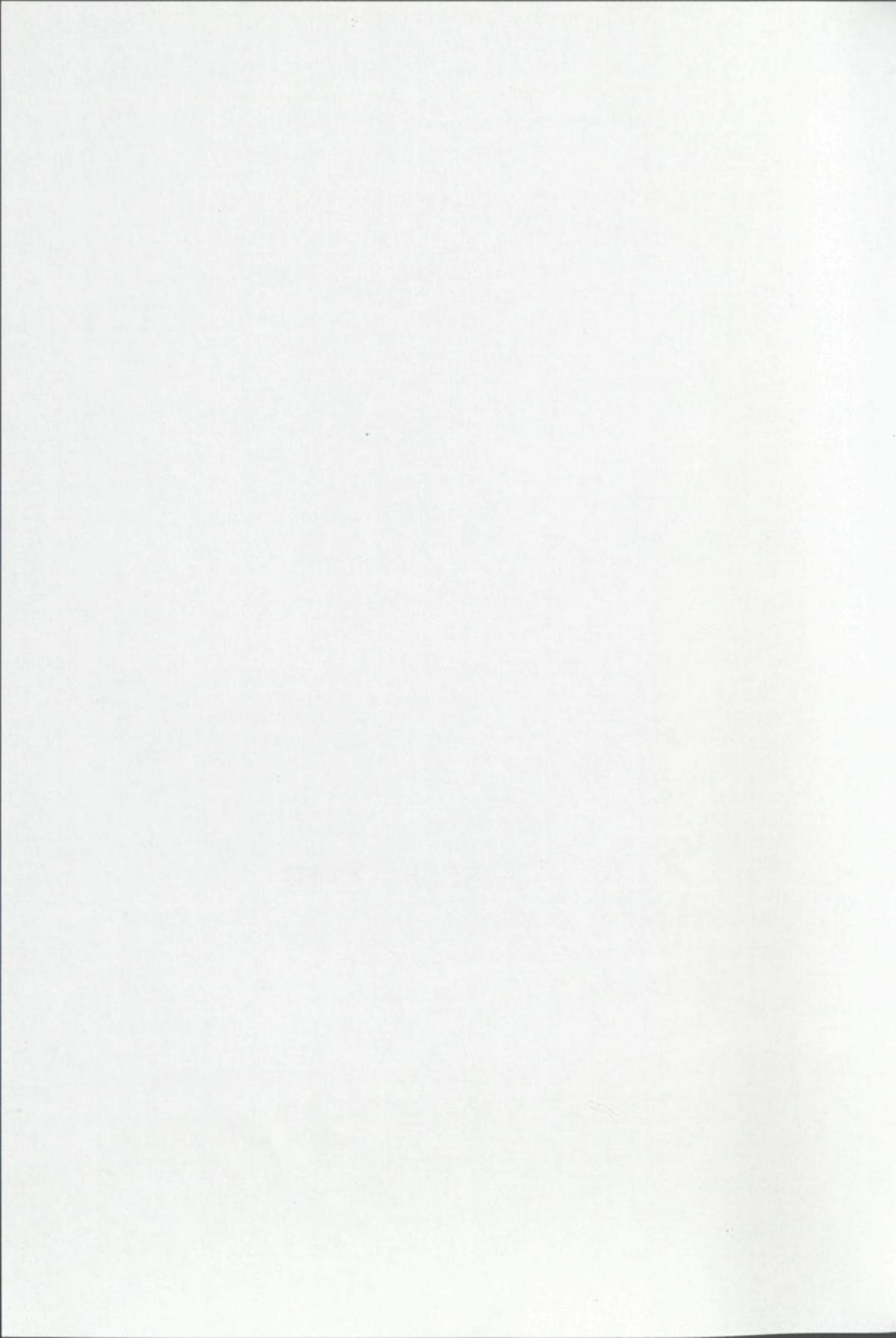
- [1] Hens, H. *Modeling. Final Report*, IEA-Annex 24, Task 1, ACCO, Leuven, pp. 90, 1996.
- [2] Holm, A. & Künzel, H. M. *Combined effect of temperature and humidity on the deterioration process of insulation materials in ETICS*, Proceedings Vol. 2 of the 5th Symposium Building Physics in the Nordic Countries, Göteborg, August 24-26, pp. 677-684, 1999.
- [3] Freitas, V. *Transferência de humidade em paredes de edifícios*, Thesis, University of Porto 1992.
- [4] Karagiozis, A. N. *Moisture Engineering*, Proceedings of the 7th Conference on Building Science and Technology, Durability of Buildings Design, Maintenance, Codes and Practices, March 20, Toronto, Ontario, pp. 93-112, 1997.
- [5] Karagiozis, A. N. *Advanced Hygrothermal Model MOISTURE-EXPERT*, Oak Ridge National Laboratory, Report I, 2000.
- [6] Krus, M. *Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials. Theoretical Principals and New Test Methods*, IRB, Stuttgart, 1996.
- [7] Künzel H. M. *Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One and two-dimensional calculation using simple parameters*, IRB, Verlag, 1995.
- [8] Künzel, H. M., Kießl, K. & Krus, M. *Moisture in exposed building components*, International Symposium on Moisture Problems in Building Walls, pp. 258-266, Porto, 11-13 September 1995.
- [9] Künzel, H. M. & Kießl, K. *Drying of brick walls after impregnation*. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 2, H. 2, pp. 87-100, 1996.
- [10] Künzel, H.M. *Austrocknen von Wandkonstruktionen mit Wärmedämmverbundsystemen*, Bauphysik 20, H. 1, pp. 18-23, 1998.

- [11] Künzel, H. M. *More Moisture Load Tolerance of Construction Assemblies Through the Application of a Smart Vapor Retarder*, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII, Clearwater, FL, pp.129-132, 1998.
- [12] Künzel, H. M., Karagiozis, A. N. & Holm A. *WUFI-ORNL/IBP A*, Hygrothermal Design Tool for Architects and Engineers, Chapter ASTM Manual 40 in *Moisture Analysis of Buildings*, 2001.
- [13] Salonvaara, M. H. & Karagiozis, A.N. *EIFS Hygrothermal Performance Due to Initial Construction Moisture as a Function of Air Leakage*, Interior Cavity Insulation and Climate Conditions, Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII, Clearwater, FL, pp.179-188, 1998.
- [14] Trechsel, H. R. *Moisture Control in Buildings*, Manual, American Society for Testing and Materials, 1994.
- [15] Trechsel, H. R. *Moisture Analysis for Buildings*, Manual, American Society for Testing and Materials, 2001.





SESSÃO VIII



METODOLOGIA DE DIAGNÓSTICO EXIGENCIAL APLICADA À REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

João Carlos Gonçalves Lanzinha*
Correio electrónico: joao.lanzinha@ubi.pt

Vasco Peixoto de Freitas†
Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

João Paulo de Castro Gomes‡
Correio electrónico: castro.gomes@ubi.pt

Resumo

A reabilitação de edifícios, no contexto europeu, continuará a crescer nos próximos anos, até se consolidar como um sector de grande importância no conjunto da construção. Para acompanhar esta realidade, é importante desenvolver uma nova metodologia de inspecção exigencial de modo a que todos os intervenientes no processo de reabilitação de edifícios, disponham de um instrumento de trabalho que permita rapidamente obter informações correctas e adequadas sobre o edifício objecto de intervenção. Descreve-se neste artigo o desenvolvimento de uma nova metodologia de diagnóstico baseada na avaliação exigencial dos elementos construtivos, com especial incidência na envolvente exterior dos edifícios.

Palavras-chave: Reabilitação de edifícios, Metodologias de diagnóstico.

1 Reabilitação de Edifícios — Um Mercado em Expansão

Na generalidade dos países europeus os investimentos na reabilitação de edifícios superam os montantes aplicados na construção de novas habitações.

* Assistente Convidado da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construções.

† Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

‡ Prof. Auxiliar da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construções.

De acordo com as estatísticas da EUROCONSTRUC-DAEI [1], o investimento médio na reabilitação, na União Europeia e em 1995, representava já 33 % do total do sector da construção, valor superior ao aplicado na construção de novas habitações (26 %). Por exemplo, em países como a França, Itália, Grã-Bretanha e Dinamarca o investimento na reabilitação ultrapassava mesmo os 40 %. As mesmas estatísticas revelam que em Portugal a situação era substancialmente diferente nesse mesmo ano. O investimento na construção de novos edifícios (29 %), colocava o nosso país no 6.º lugar a nível europeu e o da reabilitação era praticamente insignificante, representando apenas 6 % do investimento total, colocando Portugal no último lugar no conjunto dos países estudados. Acompanhando a tendência europeia, prevê-se nas próximas décadas em Portugal uma repartição diferente dos investimentos na construção, com destaque para o sector da recuperação/reabilitação de edifícios. Este sector poderá crescer significativamente com fundamento nos seguintes aspectos:

- O parque habitacional *envelhecido* começa a ser relevante;
- Os *prédios de rendimento*, de iniciativa privada, construídos nas décadas de 50 e 60, apresentam-se degradados;
- A necessidade de canalizar recursos para a reabilitação dos edifícios existentes como consequência indirecta das limitações ao crescimento indiscriminado dos aglomerados urbanos previstas nos Planos Directores Municipais;
- A necessidade de contrariar o despovoamento dos núcleos urbanos antigos das cidades, como são exemplo a Baixa Pombalina de Lisboa e a Baixa do Porto, em favor do sector terciário e uma maior atenção na recuperação do património e dos centros históricos das nossas cidades;
- A existência de problemas de funcionamento e de patologias precoces em edifícios recentes.

Para acompanhar a realidade dos investimentos futuros na reabilitação de edifícios, considera-se ser muito importante desenvolver um conjunto de acções que permita a todos os intervenientes no processo de reabilitação de edifícios, dispor de um instrumento de trabalho que forneça informações correctas e adequadas.

2 Destinatários e Objectivos das Novas Metodologias

A metodologia de intervenção a desenvolver, tem por objecto todos os intervenientes na reabilitação, nomeadamente: os profissionais encarregados da gestão de parques habitacionais, em particular de organismos e instituições públicas; os especialistas na recuperação/reabilitação de edifícios; especialistas

de outras áreas, ocasionalmente confrontados com problemas específicos da reabilitação de edifícios; os arquitectos, engenheiros civis, economistas e outros técnicos envolvidos no sector da construção; as empresas de construção; estudantes frequentando cursos e disciplinas especializadas relacionados com a reabilitação; e outros utilizadores em geral, não necessitando de formação especializada.

Os auxiliares de apoio à decisão a desenvolver devem permitir que as intervenções se baseiem em indicadores do cumprimento da legislação em vigor, do estado de conservação dos elementos construtivos e do grau de intervenção que é necessário efectuar. Sempre com o objectivo final de disponibilizar a informação de forma sistematizada, prática e facilmente inteligível. A aplicação de novos métodos de diagnóstico e intervenção pode ter objectivos muito diferenciados: estudo de reabilitação de um edifício ou habitação; apoio na manutenção periódica de imóveis; melhoria da qualidade e transparência do mercado; optimização da gestão dos imóveis; redução do factor de risco em hipotecas e seguros; e conhecimento actualizado do estado do parque edificado das diversas administrações.

3 Instrumentos de Diagnóstico Existentes

3.1 Características gerais

Conhecem-se diversos instrumentos de inspecção e diagnóstico aplicados a edifícios de habitação, dos quais podemos destacar o método EPIQR, o MER HABITAT e o Clau 2000. Estes instrumentos de inspecção e diagnóstico são de aplicação corrente em alguns países e estão devidamente institucionalizados. Os métodos têm características comuns, nomeadamente no que diz respeito ao diagnóstico da envolvente exterior. Neste aspecto, consideram a divisão da envolvente exterior do edifício em diferentes elementos construtivos, permitindo a atribuição de um grau qualitativo de deterioração, a cada um desses elementos e calculam a estimativa dos custos de reparação associados. Estes métodos são baseados no diagnóstico técnico sistemático e padronizado dos vários elementos da envolvente, efectuados de forma comparativa e com conclusões subjectivas, i.e. mais baseados em opiniões do que em ensaios ou medições. Nestes instrumentos estabelece-se o estado de degradação provável e calculam-se os custos de reposição estimados, sem a realização de qualquer tipo de ensaio ou verificação técnica.

4 Metodologia de Diagnóstico e Intervenção Proposta

4.1 Características gerais

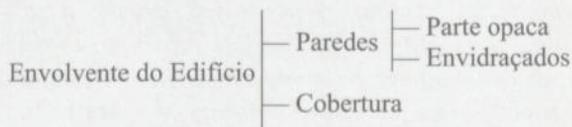
Para além da análise comparativa do estado de degradação utilizada nos diversos métodos estudados, propõe-se uma nova metodologia que permita comparar os desempenhos dos diversos elementos do edifício, com as exigências técnicas do seu funcionamento, estabelecidas em documentos regulamentares ou exigenciais, efectuando as análises técnicas e ensaios necessários para a sua correcta avaliação. Esta nova metodologia de diagnóstico e intervenção será designada por Metodologia Exigencial de Reabilitação – MEXREB.

4.2 Elementos a analisar e definição das exigências a satisfazer

Quando se pretende executar obras de conservação e reparação de um edifício colectivo estas são da responsabilidade da administração do condomínio de proprietários e incidem nas zonas comuns do respectivo edifício. Caberá a cada um dos proprietários assumir a responsabilidade e os custos das intervenções no interior da sua habitação. Por outro lado, a própria envolvente exterior do edifício (por vezes designada por *envelope*) é a zona mais exposta do edifício e uma *barreira* que protege o núcleo habitável das acções dos agentes externos, conferindo as necessárias condições de conforto de utilização.

Por todas estas razões tomamos a decisão de apenas considerar no desenvolvimento deste novo processo de análise os elementos construtivos pertencentes à envolvente exterior dos edifícios.

Esta envolvente exterior é ainda decomposta em dois elementos fundamentais: paredes (que subdividimos em parte opaca e envidraçados) e cobertura (considerando nesta caso a importância da drenagem de águas pluviais e as ligações com os elementos salientes).



Estabelecidos os elementos a analisar, estudaram-se as exigências a satisfazer, tendo para o efeito sido consultados diversos documentos regulamentares, exigenciais, técnicos e científicos. Deste estudo resultou o conjunto de exigências a satisfazer que se identificam de seguida.

Tabela 1: Listagem de exigências.

Elemento da envolvente	Zona	Exigência
Elementos verticais	Opaca	Isolamento térmico
		Resistência ao fogo
		Isolamento acústico
		Estanquidade à água
		Controle da permeabilidade ao vapor
		Compatibilidade parede / estrutura
		Tratamento de pontes térmicas
	Envidraçados	Estanquidade à água
		Controle da permeabilidade ao ar
		Isolamento térmico
		Isolamento acústico
		Resistência ao vento
		Controle da transmissão luminosa
		Controle da condensação
Factor solar máximo		
Cobertura	Zona comum	Estanquidade à água do revestimento
		Controle da permeabilidade ao ar
		Controle da permeabilidade ao vapor
		Resistência térmica
	Ligações com elementos salientes e capeamentos	Estanquidade das ligações com elementos salientes e capeamentos
Drenagem das águas pluviais	Escoamento eficaz	

4.3 Diagnóstico exigencial e grau de satisfação das exigências

Estabelecidos os elementos a analisar e as exigências a considerar é agora possível efectuar o diagnóstico do edifício em estudo e avaliar o nível de satisfação das diversas exigências definidas.

Não se trata de um diagnóstico puramente qualitativo resultante de uma observação visual ou comparativa como geralmente é proposto, mas baseado na realização de ensaios de caracterização, no cálculo das características dos elementos construtivos e na verificação da adequação dos resultados obtidos com as exigências definidas.

São atribuídos níveis de qualidade que terão a ver com o grau de satisfação das exigências e que serão estabelecidas da seguinte forma:

- Nível 1 — Insuficiente (sempre que o valor obtido seja inferior ao mínimo);
- Nível 2 — Suficiente;
- Nível 3 — Bom;
- Nível 4 — Muito bom;
- Nível 5 — Excelente.

Podemos exemplificar como é efectuada a atribuição de níveis:

- Exigência — Coeficiente de transmissão térmica;
- Forma de avaliação — Relação $X = K / K_{ref}$.

Atribuição de níveis de qualidade:

- Nível 1 — $X > 1$;
- Nível 2 — $0,9 < X \leq 1$;
- Nível 3 — $0,7 < X \leq 0,9$;
- Nível 4 — $0,5 < X \leq 0,7$;
- Nível 5 — $X < 0,5$.

4.4 Apresentação de resultados do diagnóstico e cálculo dos custos de intervenção

Analizados os elementos da envolvente e as respectivas exigências e atribuídos os graus de satisfação respectivos, os resultados do diagnóstico podem ser apresentados sob a forma de um interface gráfico do tipo proposto.

Com este tipo de avaliação o promotor poderá facilmente verificar quais as exigências que não são satisfeitas e efectuar a intervenção imediata no sentido de garantir que o edifício cumpra todas as exigências mínimas definidas.

De acordo com os resultados obtidos o promotor poderá definir que a intervenção a executar tem como objectivo garantir para o edifício um determinado nível de qualidade mais ou menos elevado em função do orçamento disponível. A intervenção a efectuar terá então em conta a necessidade de intervir nos elementos (e apenas nestes) cuja graduação esteja abaixo do nível definido. Por exemplo, na Tabela 2, o nível de qualidade pretendido é 3 – bom.

A metodologia que agora se propõe é baseada num instrumento informático que disporá de uma base de dados com os trabalhos de requalificação e custos associados, que permitirão ao utilizador obter o orçamento dos trabalhos necessários para garantir que o edifício objecto de intervenção ficará enquadrado no nível de qualidade pretendido.

Tabela 2: Resultados do diagnóstico.

Exigência	Nível				
	1 - insuficiente	2 - suficiente	3 - bom	4 - muito bom	5 - excelente
A	■				
B		■			
C			■		
D		■			
E		■			
F			■		
G			■		
H				■	
I			■		

Voltando ao nosso exemplo, o orçamento dos trabalhos a realizar pode ser quantificado da seguinte forma:

Tabela 3: Quantificação dos custos de intervenção.

Exigência	Ações a desenvolver para obter nível 3	Custos associados
A	Nível 1 → 3	C_1
B	2 → 3	C_2
C		
D	2 → 3	C_3
E	2 → 3	C_4
F		
G		
H		
I		
Custo total		ΣC_i

4.5 Estrutura global do trabalho a desenvolver

Sendo objectivo criar uma ferramenta informática de apoio à decisão, baseada na avaliação exigencial dos diversos elementos constituintes e aplicável a edifícios de habitação multifamiliares, o trabalho a desenvolver será executado em 4 fases distintas:

4.5.1 Fase A — Definição de exigências

Antes de iniciar a formulação do método de diagnóstico e a elaboração do respectivo modelo informático, teremos de ter presentes alguns aspectos importantes e que permitirão especificar melhor as bases em que assentará o método proposto. Dever-se-á procurar articular e conciliar interesses divergentes, que, no entanto, se complementam, nomeadamente: as exigências do proprietário, público ou privado, adequando as intervenções a efectuar à sua disponibilidade e capacidade financeira real; as exigências previstas na Regulamentação em vigor ou níveis de qualidade exigidos, tendo sempre como objectivo último a conformidade do desempenho do edifício com as exigências de conforto higrotérmico, acústico, de segurança contra incêndios, entre outros; e as expectativas dos utilizadores.

Como foi referido anteriormente a envolvente do edifício será decomposta em sistemas/elementos construtivos principais, de acordo com as exigências de funcionamento. Será importante nesta fase recolher informação e opinião dos diversos interessados no processo por forma a obviar incompatibilidades, divergências e problemas com a utilização do modelo informático. Uma interacção eficaz entre as fases A e B complementar a informação e garantirá que os diferentes componentes do modelo informático satisfazem as expectativas dos utilizadores futuros.

4.5.2 Fase B — Estruturação da método de diagnóstico

Nesta fase será delineado e concebido o método de diagnóstico. O método será estabelecido de forma a proporcionar uma aproximação adequada às diferentes possibilidades de caracterização do existente e da intervenção a efectuar, mantendo informação sobre a globalidade da envolvente. As acções a desenvolver terão uma natureza sequencial, interrompendo-se as fases posteriores sempre que seja possível obter um nível de informação adequado sobre o estado de degradação e nível qualidade, estando definidas com rigor a necessidade e profundidade da intervenção, conforme se descreve na Tabela 4. Em todos os casos serão definidas prioridades e cenários de intervenção, tendo como objectivo garantir a satisfação das necessidades de conforto e das exigências de qualidade pretendidas.

Tabela 4: Estruturação do método de diagnóstico.

Acção	Tipo de intervenção	Objectivos	Tarefas a desenvolver
A	Visita completa aos diversos fogos que compõem o edifício	Detectar problemas sistemáticos que mostrem não-conformidades de funcionamento dos elementos da construção relativos à envolvente.	<ul style="list-style-type: none"> — Produção de relatório de nível 1. — Não sendo detectado qualquer problema que exija intervenção urgente, o processo continua com a execução da acção B.
	Inquérito aos residentes	Conhecer as expectativas dos residentes e detectar eventuais problemas.	
B	Inspecção visual do exterior do edifício	Caracterizar o estado de degradação física dos elementos da envolvente.	<ul style="list-style-type: none"> — Poderão ser detectadas algumas situações de degradação que exijam intervenção imediata. — Produção de relatório de nível 2. — Não sendo detectado qualquer problema que exija intervenção imediata, o processo continua com a execução da acção C.
C	Análise da documentação relativa ao projecto ou recurso a métodos de ensaio não destrutivo	Caracterização dos elementos da envolvente e avaliar a sua conformidade com as exigências regulamentares ou de qualidade definidas.	<ul style="list-style-type: none"> — Poderão ser detectadas situações que exijam a intervenção imediata, quando o nível de qualidade esteja abaixo do nível mínimo exigido. — Produção de relatório de nível 3. — Não sendo detectado qualquer problema que exija intervenção urgente, o processo fica concluído.
D	Execução de ensaios destrutivos	Verificar a existência de problemas graves que não foi possível diagnosticar nas fases anteriores.	<ul style="list-style-type: none"> — Produção de relatório complementar. Esta análise aprofundada indicará a necessidade de intervenção imediata.

4.5.3 Fase C — Desenvolvimento do modelo informático

O modelo informático será desenvolvido com base na estrutura geral definida na fase B e poderá incluir ligações a outras ferramentas já existentes, nomeadamente de orçamentação. O modelo informático terá características de multimédia, com utilização de bases de dados de fotos digitais, textos e imagens, para permitir que o utilizador caracterize facilmente o estado de degradação, atribua níveis de qualidade e identifique facilmente problemas nos elementos construtivos. A experimentação deste modelo na fase D permitirá aferir da sua aplicabilidade e da necessidade de efectuar correcções.

4.5.4 Fase D — Validação do modelo informático

O modelo informático de apoio ao diagnóstico e intervenção desenvolvido na fase anterior, será testado num pequeno conjunto de edifícios, para verificar a sua adequação aos casos reais e servir de exemplo de aplicação para os futuros utilizadores. Nesta fase serão analisados, de forma crítica, os resultados e efectuando-se as necessárias correcções.

5 Conclusões

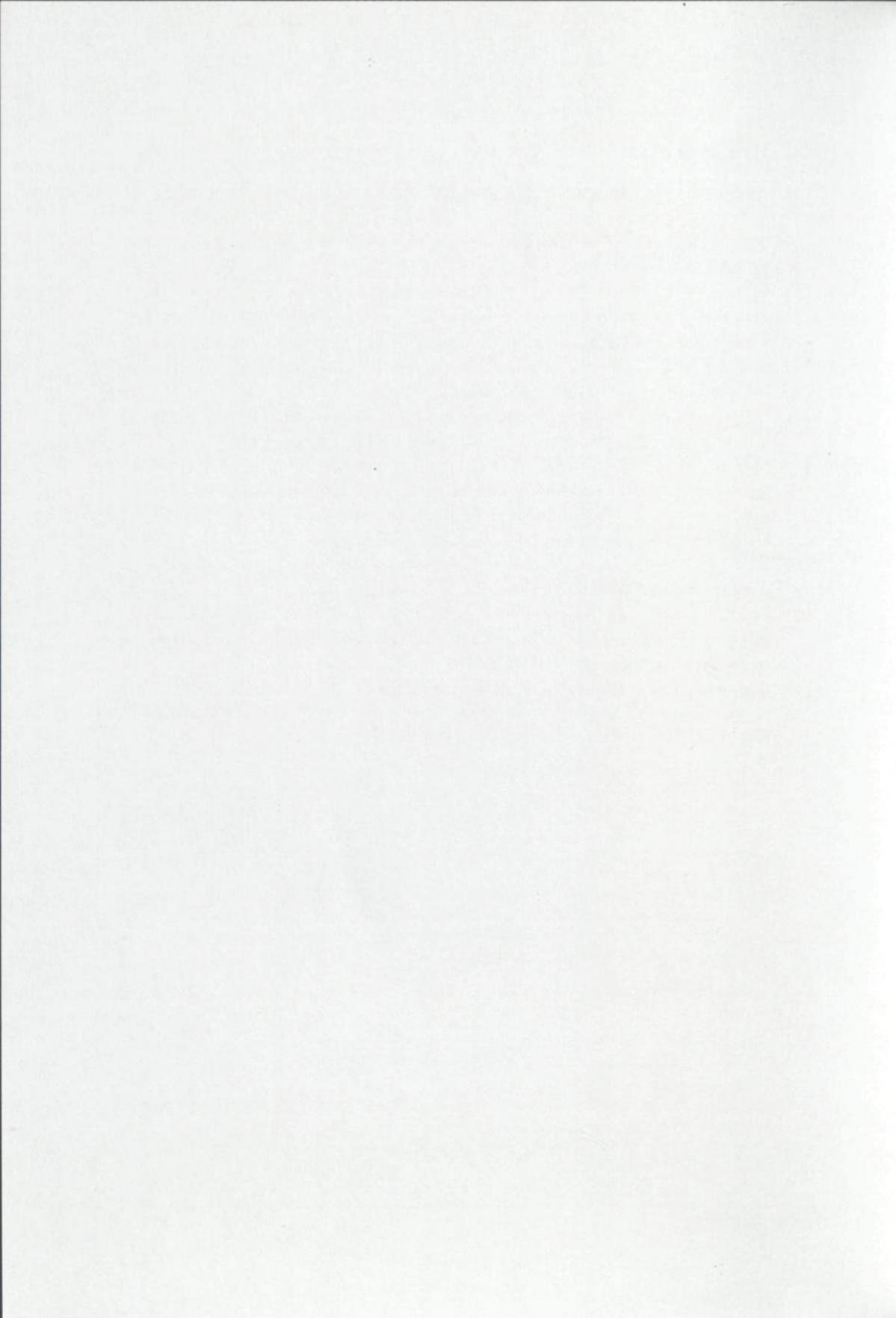
Com a nova metodologia de diagnóstico e intervenção aqui apresentada, não se pretende criar mais um programa de simulação ou mais um sistema pericial. Pretende-se, antes, uma ferramenta de trabalho que permita estruturar o processo de decisão, de forma a torná-lo mais fácil, mais racional e consistente. O utilizador deva ter alguns conhecimentos de construção, mas não necessitará de ser um especialista em informática para fundamentar as suas decisões.

Esta nova metodologia exigencial, para avaliar em cada momento o desempenho dos elementos construtivos, deverá ser complementada com acções de divulgação e informação técnica especializada, nomeadamente das anomalias mais correntes dos edifícios e das tecnologias mais adequadas para a sua reabilitação. Para além dos aspectos referidos será necessário promover um conjunto de acções que permita dotar os profissionais com os conhecimentos técnicos necessários que o auxiliarão a enfrentar com segurança e garantia o repto que o diagnóstico constitui em toda a sua complexidade.

Este conjunto de acções, pode resumir-se num conjunto de objectivos, que será ampliado em função dos desenvolvimentos futuros: formação contínua sobre os temas da patologia e conservação de edifícios; estabelecimento de um conjunto mínimo de aparelhos específicos, que através de ensaios não destrutivos, permita diagnosticar e investigar com o rigor pretendido; estes equipamentos deverão estar disponíveis para os técnicos habilitados a realizar os estudos; publicação de Manuais de Diagnóstico Aprofundado, redigidos por especialistas em cada tema e de Notas de Informação Técnica que permitam efectuar a divulgação das anomalias correntes; e existência de um conjunto de laboratórios especializados para apoio a trabalhos de diagnóstico que requeiram pessoal altamente qualificado.

6 Bibliografia

- [1] Abrantes, V.; Freitas, V. P. & Sousa, M. *Reabilitação de edifícios — Estudo do comportamento e análise técnico-económica das soluções utilizadas nas obras de conservação e reabilitação de 32 empreendimentos*, FEUP/LFC, Porto, 1998.
- [2] Freitas, V. P., Sousa, M. & Abrantes, V. *Survey of the durability of facades of 4000 dwellings in northern Portugal — Retrofitting of facades* 8th International Conference on Durability of building materials and components, Vol. 2, Durability of building assemblies and methods of service life prediction, pp. 1040-1050, Otawwa, Canadá.
- [3] EPIQR Un outil d'aide à la decision pour la réhabilitation des bâtiments d'habitation — Les principes de la methode, CSTB, France, 1999.
- [4] Marco D. *et al.* *MER HABITAT — Méthode de diagnostic des dégradations, des désordres et des manques et d'évaluation des coûts de remise en état des bâtiments d'habitation*, Bulletin du logement, Vol. 64, Office fédéral du logement OFL, Granges, Suíça, 1996.
- [5] *Clau 2000 — Base de dados del mantenimiento*, software — Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona, 2000.
- [6] Lanzinha, J. C. ; Freitas, V. P. & Castro Gomes J. P. *Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios*, Engenharias 2001 — Investigação e inovação, UBI, Covilhã , Portugal, Nov. 2001.
- [7] Lanzinha, J. C. ; Freitas, V. P. & Castro Gomes J. P. *Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios*, Congresso Construção 2001, IST, Lisboa, Portugal, Dez. 2001.



EXEMPLO DE APLICAÇÃO DE UM MÉTODO DE DIAGNÓSTICO E INTERVENÇÃO DESENVOLVIDO PARA HABITAÇÕES RURAIS

João Carlos Gonçalves Lanzinha*
Correio electrónico: joao.lanzinha@ubi.pt

João Paulo de Castro Gomes†
Correio electrónico: castro.gomes@ubi.pt

Vasco Peixoto de Freitas‡
Correio electrónico: vpfreita@fe.up.pt

Resumo

Apresentam-se, neste artigo, alguns dados relevantes sobre o parque habitacional em Portugal, de acordo com os Censos 2001 e o IV Recenseamento Geral da Habitação, em particular na Região Centro, Beira Interior (Norte e Sul) e Cova da Beira. Estes dados mostram que a percentagem de habitações com apenas um alojamento, em Portugal, é muito relevante. O índice de envelhecimento dos edifícios, por outro lado, indica que a situação é preocupante se não se apostar na manutenção e reabilitação.

Apresentam-se também os trabalhos de caracterização, avaliação e propostas de intervenção imediata de um conjunto de habitações localizadas em núcleos habitacionais de carácter iminente rural, de um concelho do interior centro de Portugal, na Cova da Beira. Avaliaram-se as condições da envolvente exterior, a situação estrutural e as condições de habitabilidade/utilização. Indicaram-se as necessidades de intervenção imediata e estabeleceu-se uma lista graduada do estado de conservação dos edifícios.

Finalmente, discutem-se os resultados obtidos e apresentam-se propostas de intervenção e reabilitação para as habitações rurais, bem como, algumas ideias de investigação, de modo a que as intervenções tenham como objectivo a promoção da Construção Sustentável.

Palavras-chave: Habitação, Diagnóstico de edifícios, Construção sustentável.

* Assistente Convidado da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construções.

† Prof. Auxiliar da Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil, Grupo de Construções.

‡ Prof. Catedrático da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Construções Cívicas.

1 Introdução

De acordo com o Relatório Europarc publicado em Dezembro de 1998, o mercado da manutenção e reabilitação representa cerca de 50 % de volume de negócios das empresas europeias de construção. Paradoxalmente, as informações disponibilizadas pelos meios de comunicação e pelos boletins oficiais das associações das indústrias da construção continuam a dar amplo destaque à construção nova, negligenciando metade das actividades do sector e de aproximadamente dois terços dos sectores de fornecimentos e serviços industriais. As estatísticas são muito deficientes mas estima-se que o parque edificado existente seja 50 a 100 vezes superior ao número de edifícios construídos anualmente. Referindo apenas o sector de construção residencial, existem cerca de 145 milhões de alojamentos na Europa Ocidental mas apenas são construídos anualmente cerca de 2 milhões de novos alojamentos.

Estes factos indicam que deve ser dada especial atenção ao sector da manutenção e reabilitação, fundamental, em termos europeus, nomeadamente na definição de estratégias de desenvolvimento do sector da construção. Para o efeito é necessário conhecer detalhadamente o sector devendo a informação para os decisores contemplar o conhecimento de indicadores estatísticos relevantes, nomeadamente: os metros quadrados de construção do parque habitacional existente; a área construída em percentagem da área do território; (por exemplo em Espanha este valor é de 2 %, na Suécia e Finlândia de 4 %, em França de 7,5 % e em Portugal de 18 %); a área construída em percentagem do número de habitantes (ha/habitantes); (por exemplo em Espanha para as unidades (ha/1000 habitantes) é de 15, em França de 70 e em Portugal de 160); a importância das habitações unifamiliares em Portugal, em especial nas zonas rurais; a idade e o estado geral das edificações, de modo a assegurar a coerência entre os investimentos em construção nova e os investimentos em edifícios existentes.

Os indicadores estatísticos revelam que a percentagem de habitações unifamiliares é muito importante nos países europeus e especialmente na Grã-Bretanha e em Portugal. Por exemplo, na Alemanha é de 56 %, em Espanha de 33,3 %, na Itália de 45,5 %, em França 69,1 % e em Portugal atinge os 86,9 % [1] (Figura 1).

No caso do Interior Centro de Portugal a percentagem chega a atingir o valor de 94 %. Há zonas de tratamento estatístico como seja o Pinhal Interior Sul, desta região, onde a percentagem atinge mesmo os 97,1 %. Verifica-se, pois, que é necessária uma atenção especial à habitação individual.

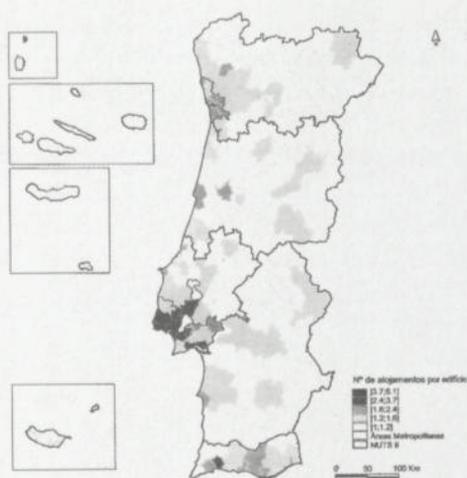


Figura 1: Dimensão média dos edifícios em Portugal, Censos 2001 [1].

Por outro lado, considerando a idade dos edifícios, verifica-se que a situação em Portugal começa a ser preocupante. De acordo com os Censos 2001 e o IV Recenseamento Geral da Habitação a percentagem de edifícios com mais de 31 anos em Portugal é de 43,2 %, sendo quase de 20 % a percentagem de edifícios com mais de 56 anos e consequentemente que ultrapassaram a vida útil geralmente definida para os edifícios de habitação (Figura 2).

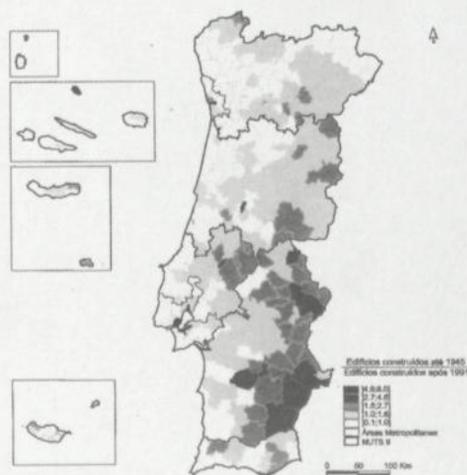


Figura 2: Índice de envelhecimento dos edifícios em Portugal, Censos 2001 [1].

Trata-se de um património valioso que resultou essencialmente do esforço financeiro das famílias e a que os poderes públicos têm dado pouco atenção. Fala-se muito da construção nova, de programas de habitação social, de realojamento, mas as construções unifamiliares estão degradadas e a manutenção deste Património Cultural Particular deve ser considerado como prioridade nacional.

No caso da Beira Interior de Portugal a situação ainda é mais grave chegando a atingir os 46 % de edifícios com mais de 31 anos e os 23,4 % com mais de 56 anos. O número de edifícios que ultrapassaram a vida útil previsível chega a ser superior a 25 %.

Numa perspectiva mais global verifica-se que o índice de envelhecimento dos edifícios de habitação portugueses apresenta valores preocupantes e são especialmente elevados na faixa interior do país (Figura 3). É uma realidade estatística mas basta observar atentamente o estado geral das povoações do interior e das zonas históricas das grandes cidades para confirmar esta triste realidade.

2 O Parque Habitacional na Região Centro

De acordo com os Censos 2001 e o IV Recenseamento Geral da Habitação, existem na Região Centro 757 476 edifícios, cerca de 24 % do total Nacional (3 149 973). Do total de edifícios existente em 2001, na Região Centro, 18 % foram construídos na última década (após 1991) e 19 % são bastante antigos, evidenciando bem o envelhecimento das habitações da Região. A maioria dos edifícios foi construída entre 1971 e 1990 – cerca de 39 % [2].

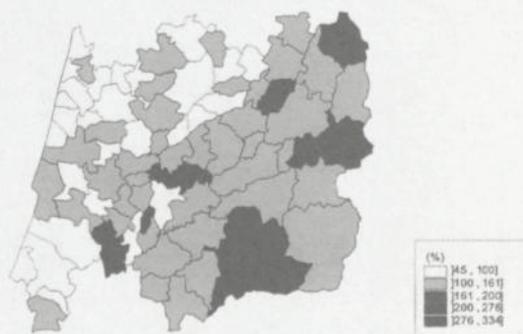


Figura 3: Índice de envelhecimento dos edifícios na Região Centro, Censos 2001 [2].

A Região Centro possui, em média, um parque habitacional um pouco mais envelhecido que a média nacional. O índice de envelhecimento da Região

Centro é de 104,3 edifícios construídos antes de 1945 por cada 100 construídos após 1991. Este índice, a nível nacional é de 104. Os Concelhos de Castanheira de Pêra, Vila Velha de Ródão, Celorico da Beira e Castelo Branco são aqueles cujo parque habitacional se encontra mais envelhecido (Figura 3).

A Região Centro caracteriza-se em termos de edificação por dispor predominantemente de edifícios com apenas um alojamento (designados por edifícios unifamiliares). Os edifícios com apenas um alojamento representam 95 % do total de edifícios da Região Centro, sendo a média nacional de 87 % [2].

3 O Parque Habitacional na Beira Interior e Cova da Beira

Nas Regiões da Beira Interior Norte, Beira Interior Sul e Cova da Beira o panorama do parque habitacional é de igual modo preocupante no que diz respeito ao seu envelhecimento. Nestas três Regiões, localizadas na faixa interior da Região Centro de Portugal, existem 154 352 edifícios de acordo com os Censos 2001, dos quais 36 288 foram construídos antes de 1995 e 23 884 após 1991. O índice médio de envelhecimento dos edifícios nestas três Regiões é de 152, sendo 92,5 % dos edifícios constituídos apenas por um único alojamento.

Considerando que estas três regiões são marcadamente rurais e atendendo também ao índice de envelhecimento das habitações, estima-se que das 142 764 habitações unifamiliares aí existentes a sua grande maioria sejam habitações rurais (ou tenham sido construídas em zonas rurais). Existem já vários locais e aldeias históricas identificadas nestas Regiões, cujas habitações rurais foram caracterizadas e algumas delas foram recuperadas dado o seu valor cultural, histórico, arquitectónico e construtivo, como é o caso, por exemplo, das aldeias de Sortelha, Almeida, Castelo Novo, Idanha-a-Velha, Monsanto, Piódão, entre outras.

4 Um Estudo Sobre o Estado de Degradação de um Conjunto de Habitações Rurais Localizadas na Cova da Beira

Como resultado de uma parceria estabelecida entre a Universidade da Beira Interior e a Santa Casa da Misericórdia do Fundão, tendo como objectivo o acompanhamento e desenvolvimento de um Projecto Multidisciplinar de Intervenção Sócio-Habitacional em algumas freguesias da Cova da Beira, realizou-se um estudo que serviu, entre outros, para avaliar o estado de degradação de habitações rurais nesta Região.

O projecto em causa envolveu um conjunto de 74 agregados familiares, especialmente desfavorecidos distribuídos por 7 freguesias do Concelho do Fundão. Um dos eixos principais do Projecto é a intervenção nos edifícios com o objectivo de melhorar as condições de habitabilidade. Para cumprir tal objectivo pretendia-se o conhecimento aprofundado dos edifícios objecto de estudo para definir as prioridades de intervenção. Desde logo se definiu como prioridade dos estudos do Departamento de Engenharia Civil da Universidade da Beira Interior (U. B. I.) o interesse da avaliação e caracterização dos edifícios e a possibilidade de estabelecimento de um ranking que fundamentasse o estabelecimento de prioridades de intervenção.

4.1 Metodologia adoptada

4.1.1 Inspeção e diagnóstico

Feita uma visita prévia aos locais objecto de estudo desde logo se verificou tratar-se de um conjunto de edifícios muito diversificado, com um baixo nível de qualidade construtiva e de habitabilidade e por essa razão se decidiu criar uma metodologia de recolha de dados orientada para a amostra objecto de estudo.

Necessariamente muito diferente das metodologias conhecidas e geralmente adoptadas para edifícios de habitação de qualidade média [4, 5]. Verificou-se também que as habitações em estudo eram na sua quase totalidade unifamiliares, tendo uma arquitectura marcadamente rural, construídas com utilização de materiais de construção locais e que habitualmente não são sujeitas a trabalhos de manutenção periódica.

No desenvolvimento da nova metodologia adoptada [6] estabeleceu-se a necessidade de organizar a recolha de dados de forma a obter 3 níveis de informação:

- a) **Inquérito habitação** — Com este tipo de inquérito recolheu-se a informação detalhada sobre o tipo de habitação. Recolheram-se elementos para caracterização da habitação, regime de ocupação, infra-estruturas e equipamentos disponíveis e principais anomalias interiores e exteriores. O objectivo principal deste inquérito era, fundamentalmente, conhecer as habitações e proporcionar o tratamento estatístico da informação recolhida;
- b) **Inquérito de opinião** — Teve como objectivo recolher as opiniões dos moradores relativamente à sua habitação. Pretendeu-se aferir o grau de exigência relativamente às condições gerais de conforto e habitabilidade tecnicamente definidas e detectar eventuais anomalias ou desconformidades sistemáticas. Conhecido o seu grau de exigência

poder-se-ia indirectamente avaliar as suas expectativas e eventualmente definir prioridades de intervenção, tendo em conta o desejo manifestado pelos residentes;

- c) **Ficha de diagnóstico** — Pretendeu-se com este último instrumento uma avaliação mais técnica da situação. Tendo como objectivo o estudo de forma quantitativa da qualidade das habitações e do seu estado de conservação/degradação, a ficha criada prevê a existência de 33 pontos de observação. A estruturação definida permite conhecer o edifício em três vertentes principais: *condições exteriores*, *situação estrutural* e *condições do seu interior*, nomeadamente as condições de habitabilidade. Prevê-se assim a eventualidade de não ser possível avaliar a habitação na sua globalidade, mantendo ainda assim a possibilidade de avaliação parcial.

A ficha criada permite ainda graduação de todos os elementos inspeccionados em 4 níveis, sendo acompanhada de uma ficha auxiliar de graduação criada para o efeito, descrevendo as condições de avaliação de cada um dos elementos e a respectiva pontuação. Pretende-se com esta ficha auxiliar que a análise seja rigorosa e tecnicamente fundamentada, evitando-se apreciações subjectivas. Trata-se, pois, de uma ficha essencialmente técnica e como tal o seu preenchimento deve ser feito por pessoal qualificado e tecnicamente informado.

4.1.2 Avaliação e produção de informação complementar

Efectuada a recolha dos elementos necessários o tratamento dos dados foi sintetizado em dois documentos principais: *uma ficha de análise individual* e *uma ficha de análise global do conjunto de habitações*. Com a criação destas fichas, pretendeu-se, para o Projecto em causa, fornecer aos responsáveis um documento de trabalho que permitisse a tomada de decisões de intervenção.

4.1.2.1 Ficha de Análise Individual

A ficha de resultados relativa a cada um dos edifícios inspeccionados previa a indicação do código de identificação e o registo fotográfico do edifício. Nesta ficha, o tratamento dos dados foi organizado de forma a permitir dois tipos de análise:

1.ª Análise — Necessidade de Intervenção Imediata

Trata-se de uma 1.ª triagem das anomalias detectadas como objectivo de ser efectuada uma intervenção imediata, sempre que estiver em causa a *segurança de pessoas e bens* ou não estiverem garantidas *as condições mínimas de habitabilidade/utilização*. Na sua concepção estabeleceram-se de forma clara indicadores de alerta para os decisores. Estes indicadores de alerta foram or-

ganizados em 4 níveis, que reflectem o grau de gravidade das condições encontradas em cada edifício, por ordem decrescente de importância:

- a) Nível 1 — **Segurança estrutural** (5 elementos de informação): Intervir sempre que a ruína é eminente;
- b) Nível 2 — **Segurança de utilização** (3 elementos de informação): Verificação de condições de segurança de extracção de fumos e gases ou de anomalias graves no sistema eléctrico;
- c) Nível 3 — **Penetração de água** (1 elemento de informação): Resolver de imediato problemas graves de infiltração de águas;
- d) Nível 4 — **Condições mínimas de habitabilidade** (3 elementos de informação): Verificar a existência de rede de abastecimento de água e de drenagem de esgotos domésticos e instalações sanitárias, ou as condições de sobre ocupação da habitação.

Cada vez que é assinalado um campo relativo às necessidades de intervenção imediata é disponibilizada imediatamente esta informação de alerta. Por exemplo, a indicação na ficha de diagnóstico de um elemento estrutural em risco de ruína eminente fará *acender* o indicador de alerta respectivo. Em complemento de cada um dos *indicadores de emergência* descrevem-se as respectivas acções correctivas, a executar de imediato.

2.ª Análise – Estado de Conservação do Edifício

Nesta segunda análise foi fornecida uma informação gráfica do estado de conservação do edifício, de acordo com 3 tipos de avaliação: Nível de qualidade do exterior, Nível de qualidade exterior e estrutural e Nível de qualidade global (exterior, estrutural e interior).

Os resultados apresentados resultaram da ponderação dos elementos recolhidos na fase de inspecção e diagnóstico. Os factores de ponderação foram estabelecidos de forma experimental, tendo em conta o número de elementos a inspeccionar e as consequências de alguns problemas construtivos na evolução do estado de conservação e comportamento global do edifício. Sublinha-se a importância e as consequências dos problemas da cobertura, da drenagem de águas pluviais e das condições estruturais na evolução do estado de degradação dos edifícios, como fundamento para a atribuição de maior peso relativo.

Como se pode verificar esta análise é progressiva, tem em conta os elementos anteriormente recolhidos e depende da possibilidade ou não de visitar o interior do edifício. Nesta impossibilidade analisa-se sempre a situação exterior do edifício.

4.1.2.2 Ficha de Análise Global

Como se referiu anteriormente pretendia-se que os decisores tomassem opções de forma objectiva e baseados em documentos que, embora tenham um cariz essencialmente técnico sejam de fácil interpretação e utilização. Para cumprir este objectivo criou-se uma ficha de análise global que permitiu retirar informação comparativa de todos os edifícios objecto de estudo e a sua graduação relativa, para possibilitar a definição das prioridades de intervenção. Na elaboração desta ficha, que estabelece igualmente a seriação dos edifícios, têm-se em conta as prioridades de intervenção imediata referidas na descrição da ficha individual e os níveis de qualidade calculados.

4.2 Resultados obtidos

Analisando o ficha global do conjunto de 74 habitações rurais inspeccionadas verificou-se que 54 das mesmas (73 % do total) tem necessidades de intervenção imediata, o que revela o elevado estado de degradação do conjunto das habitações e demonstra que os cuidados havidos na definição da metodologia mais adequada, em face dos resultados esperados, foram adequados.

Os principais problemas detectados na utilização das habitações dizem respeito à inexistência de qualquer instalação sanitária (43 % dos casos) e às deficiências detectadas nas cozinhas (42 % dos casos). No caso das cozinhas é comum a inexistência de chaminés ou cúpulas para extracção de fumos e gases.

O inquérito de opinião reflectiu como principais preocupações dos moradores as questões da humidade, as condições de conforto térmico e, sobretudo, a não eficiência de sistemas de aquecimento. Não se detectou sensibilidade relativamente a problemas de ruído ou de maus cheiros.

5 A Recuperação de Habitações Rurais Como Contributo Para a Construção Sustentável

Os resultados obtidos no estudo realizado indicam haver clara necessidade de se reflectir sobre a situação global de conservação/degradação das construções construídas em zonas rurais. Do total de habitações estudado, 73 % têm graves problemas de segurança de utilização (inexistência de extracção de gases e fumos e deficiente instalação eléctrica), problemas de infiltração de água pela cobertura (beirado, remates, telhas partidas e chaminés) e estando ainda, em muitos casos, sobrelotadas. Naturalmente que o número de casos estudado é ainda reduzido e por isso este estudo tem um valor relativo, mas a metodologia revelou ser adequada para a amostra estudada.

Para além da degradação natural dos elementos construtivos, notaram-se também grandes deficiências na utilização das habitações, sobretudo por falta

de informação dos residentes. Pelo que se pensa ser oportuno desenvolver algumas acções que complementem as simples acções de requalificação construtiva, nomeadamente:

- a) Criação de guia de utilização da habitação;
- b) Divulgação de noções básicas sobre utilização de cozinhas e instalações sanitárias;
- c) Divulgação das causas mais comuns de degradação das habitações;
- d) Realização de acções de sensibilização para a higiene;
- e) Implementação de um programa piloto de construção de conjunto habitacional integrado, destinado ao realojamento de populações rurais envelhecidas.

Como foi demonstrado anteriormente, em Portugal existe um número muito significativo deste tipo de habitações, geralmente em mau estado de conservação e por essa razão se entende ser do maior interesse desenvolver no futuro este tipo de acções que poderão ter grande impacto nas populações.

A investigação no domínio da reabilitação de habitações rurais deve ser também uma prioridade a concretizar. Esta deverá contemplar, entre outras, o estudo de novas soluções para melhorar a qualidade deste tipo de construção e, em particular, aumentar o conforto higrotérmico destas habitações.

Apresentam-se algumas ideias, como conclusão deste trabalho, para que a investigação e intervenção na reabilitação das habitações rurais seja realizada numa perspectiva de Construção Sustentável:

- a) Melhorar o conforto higrotérmico destas habitações deverá ser uma das principais prioridades de investigação e intervenção;
- b) Dever-se-á estudar novas soluções para aumentar a resistência térmica de pavimentos térreos, paredes de alvenaria e coberturas de madeira. Soluções que naturalmente deverão ser económicas para serem adoptadas pela população rural e adequadas ao tipo de construção. Estudar a combinação destas com os sistemas de aquecimento tradicionais e com novas soluções de aquecimento, mais ecológicas e de energia renovável (particularmente a energia geotérmica e solar);
- c) Estudar novas soluções construtivas e arquitectónicas para que as perdas de calor tenham menor importância, por um lado e, por outro lado que a inércia térmica, e os ganhos solares sejam melhorados, nomeadamente com maiores aberturas a Sul;
- d) Tirar partido da existência de árvores do ambiente rural para ventilar e arrefecer as habitações deverá ser também um tema a estudar e desenvolver;

- e) Estudar soluções para reabilitar as habitações de modo a impedir a penetração de água através das coberturas, paredes e pavimentos, de forma durável, em particular para eliminar a humidade ascensional e os problemas de infiltrações nas caixilharias de janelas e portas, muito comuns neste tipo de habitações;
- f) Promover a utilização dos materiais tradicionais, tanto quanto possível, nas soluções de reabilitação;
- g) Actuar com cuidado na demolição. Muitas habitações rurais poderão vir a ser demolidas, dado o seu estado avançado de deterioração. Dever-se-á por este motivo promover a existência de infra-estruturas adequadas, nestes Concelhos, para a valorização dos resíduos gerados por estas demolições [7];
- h) Estudar soluções para separar os resíduos produzidos durante as demolições e efectuar o seu armazenamento de acordo com a sua origem. Usar técnicas de desconstrução e desmontagem em vez de efectuar demolições massivas [7];
- i) Proibir a incineração de resíduos de obra ou a deposição de substâncias contaminantes nas redes gerais de saneamento e ainda controlar as emissões nocivas: ruído, poeiras, água (fugas ou águas residuais), etc. para minimizar o impacto ambiental na fase de demolição [7];
- j) Executar obras de reabilitação com cumprimento de obrigações, regulamentos e leis ambientais aplicáveis, garantir a tomada de medidas de segurança e saúde previstas nas normativas aplicáveis e efectuar as acções de controlo de qualidade necessárias para garantir uma boa qualidade final;
- k) Dispor de pessoal especializado nos trabalhos de aplicação de sistemas construtivos prefabricados ou industrializados para garantir o seu bom funcionamento e durabilidade;
- l) Planear e controlar a execução da obra de forma a evitar desperdício de produtos;
- m) Aproveitar a existência de materiais de demolição e resíduos pétreos triturados para realizar trabalhos de drenagem ou sub-base de pavimentos. Separar os resíduos produzidos durante as demolições e efectuar o seu armazenamento em contentores diferentes de acordo com a sua origem [7];
- n) Respeitar o ambiente rural, obrigando os empreiteiros a declarar o volume de resíduos produzidos e especificar o seu destino final, como forma indirecta de promover nas empresas de construção a eliminação

de desperdícios, a gestão adequada dos resíduos produzidos em obra e evitar a deposição de resíduos em vazadouros sem controle;

- o) Promover a utilização de equipamentos e elementos auxiliares de execução de obras reutilizáveis com baixos níveis de emissão de gases ou ruído e controlar as emissões nocivas: ruído, poeiras, água (fugas ou águas residuais), etc. para minimizar o impacto ambiental na fase de execução de obras;
- p) Evitar a aplicação ou produção de resíduos de materiais de obra potencialmente perigosos: produtos de soldadura, mastiques à base de betume ou amianto, preservantes de agentes biológicos (germicidas, anti-oxidantes, creosoto), pinturas e vernizes (resíduos), pinturas à base de chumbo, produtos químicos diversos (anti-corrosivos, fungicidas, insecticidas, solventes, diluentes, ácidos, abrasivos, detergentes, etc.) [7].

6 Referências

- [1] Instituto Nacional de Estatística, Censos 2001: Resultados Provisórios: XIV recenseamento geral a população: IV recenseamento geral da habitação, Lisboa 2002.
- [2] Gomes, A. M. *População e Habitação na Região Centro. Uma Caracterização com base nos resultados provisórios dos Censos 2001*, Cadernos Regionais, Direcção Regional do Centro, Instituto Nacional de Estatística, 2001.
- [3] Machado, J. L. P. *Habitação Rural. Sugestões para a Renovação ou Construção. Métodos Construtivos e Elementos Tradicionais*, 3.^a Edição, Ed. Livraria Popular Francisco Franco, 2002.
- [4] Lanzinha, J. C.; Freitas, V. P. & Castro Gomes J. P. *Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios*, Congresso Construção 2001, IST, Lisboa, Portugal, Dez. 2001.
- [5] Lanzinha, J. C.; Freitas, V. P. & Castro Gomes J. P. *Metodologias de diagnóstico e intervenção na reabilitação de edifícios*, Engenharias 2001 – Investigação e inovação, UBI, Covilhã, Portugal, Nov. 2001.
- [6] Lanzinha, J. C.; Freitas, V. P. & Castro Gomes J. P. *Desenvolvimento de metodologia de diagnóstico exigencial aplicada à reabilitação de edifícios de habitação*, XXX IAHS World Congress on Housing – An Interdisciplinary Task, Coimbra, Portugal, Set. 2002.
- [7] Guia de la edificación sostenible: calidad energética y medioambiental en Edificación/Dirección General de la Vivienda, de la Arquitectura y Fomento. Centro de Publicaciones, 1999.

O PROJECTO EM INTERVENÇÕES DE CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO HISTÓRICO EDIFICADO

Vasco Moreira Rato*

Correio electrónico: vnmr@mail.fct.unl.pt

Resumo

A conservação do património histórico edificado assume um conjunto de especificidades que a tornam uma actividade distinta da reabilitação de edifícios, exigindo portanto o desenvolvimento de metodologias de projecto próprias.

O objectivo da reabilitação de um edifício — seja ele recente ou antigo — consiste essencialmente na sua adaptação a níveis de desempenho superiores aos existentes. No caso de edifícios recentes, a necessidade desta adaptação resulta, em geral, da falta de qualidade do projecto e/ou da obra; no caso dos edifícios antigos de uso corrente, a reabilitação visa a obtenção de níveis de desempenho compatíveis com as exigências actuais.

Por seu lado, a conservação dos edifícios históricos deve ter como principal objectivo a preservação do seu valor cultural enquanto herança comum. Este tipo de intervenções assume pois como objecto central o próprio edifício e não o seu desempenho, ao contrário do que ocorre na reabilitação.

Neste contexto, o projecto — entendido como o conjunto de elementos que concebe e define as acções a executar em obra — adquire, na conservação do património histórico, uma função distinta da que deve assumir na reabilitação de edifícios.

Esta comunicação desenvolve uma metodologia para a execução da fase de projecto de intervenções de conservação do património histórico edificado; são abordados aspectos como a organização e a coordenação, o levantamento e a avaliação do estado de conservação e, finalmente, a definição dos trabalhos a executar.

Palavras-chave: Projecto, Conservação, Edifício Histórico.

1 Introdução

A conservação de edifícios históricos assume um conjunto de características que a tornam uma acção muito específica no quadro global das actividades

* Assistente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil, Secção de Materiais e Tecnologias da Construção.

relacionadas com a construção. Pode definir-se património histórico edificado como todo o objecto arquitectónico construído que encerre em si mesmo um testemunho cultural e civilizacional relevante acerca da evolução da humanidade. Neste contexto, compreende-se que a sua conservação deva centrar-se no próprio edifício, considerando um difícil equilíbrio na preservação de valores emocionais, históricos e de significado de uso actual.

Deve então estabelecer-se uma distinção importante entre uma acção de conservação e uma acção de reabilitação. Este último tipo destina-se, em geral, a obter e/ou repor condições de uso segundo determinados padrões exigenciais. No caso de edifícios recentes, a necessidade desta adaptação resulta, em geral, da falta de qualidade do projecto e/ou da obra; no caso dos edifícios antigos de uso corrente, a reabilitação visa a obtenção de níveis de desempenho compatíveis com as exigências actuais. Deste modo, enquanto que a reabilitação tem por objecto níveis de desempenho, a conservação deve assumir o valor cultural do edifício como objecto principal. Esta distinção conduz naturalmente à necessidade de serem equacionadas metodologias de projecto para a conservação que diferem das que podem ser consideradas adequadas na reabilitação.

A comunicação pretende contribuir para a discussão deste assunto, apresentando princípios de actuação para o desenvolvimento da fase de projecto de uma intervenção de conservação de património histórico edificado. Considerando um conjunto de premissas inerentes a esta actividade, são abordados a organização e a coordenação, o levantamento e a avaliação do estado de conservação e a definição dos trabalhos a executar.

São apresentadas referências ao Projecto de Conservação Exterior da Torre de Belém (1997-1998) e ao Projecto de Conservação do Claustro do Mosteiro dos Jerónimos (1998-2002) que permitem uma melhor compreensão de algumas noções aqui sistematizadas[†].

2 Intervenções de Conservação de Património Histórico Edificado

Para melhor enquadrar o projecto no conjunto de acções de conservação do edifício, referem-se neste capítulo, de forma muito sintética, algumas premissas de base. A conservação de edifícios históricos — no contexto da definição acima sugerida —, deve assumir um carácter essencialmente preventivo. Assim, a manutenção de um estado de conservação que seja definido como aceitável constitui a referência primordial. A noção de manutenção implica, antes

[†] Estes Projectos foram desenvolvidos pela Associação *World Monuments Fund* – Portugal, tendo o autor feito parte da equipa de gestão e coordenação do projecto do claustro dos Jerónimos.

de mais, a execução de acções regulares, devidamente planeadas e geridas; implica ainda a constante monitorização do edifício como forma de ser conhecida tão exaustivamente quanto possível a evolução do seu estado de conservação. Previstas no plano de manutenção, poderão estar intervenções de âmbito alargado, isto é, que permitam a resolução simultânea de diversos problemas. Torna-se deste modo possível uma optimização de recursos tendo em conta que são executadas, na mesma intervenção, diversas acções de conservação; se encarados isoladamente, estes trabalhos obrigariam a mobilizações sucessivas de recursos humanos, técnicos e financeiros o que, para a obtenção do mesmo resultado, implicaria um esforço significativamente acrescido. A dimensão que assume, em geral, este tipo de intervenção aconselha a que o seu desenvolvimento ocorra fora da implementação quotidiana do plano de manutenção, devendo ser organizada, coordenada e gerida como uma entidade. Refira-se que, apesar deste carácter individual, qualquer intervenção de conservação deve sempre estar inserida num conjunto de objectivos e princípios previamente definidos, de uma forma global e integradora, para todo o edifício.

O tipo de projecto de conservação que aqui se desenvolve é o que analisa, concebe e referencia as intervenções de âmbito alargado. Note-se que a execução dos outros tipos de acção que constituem o plano de manutenção (de frequência muito superior a uma intervenção alargada) tem naquele plano a sua referência conceptual.

3 O Projecto

O projecto constitui uma das fases a considerar no desenvolvimento de uma intervenção de conservação. É precedido por uma fase de preparação (na qual se procura avaliar a viabilidade técnica e financeira) sendo seguido pelas fases de trabalhos e de conclusão[‡]. A fase de projecto, por sua vez, é composta por três tipos principais de acção: aquisição prévia de informação, avaliação do estado de conservação e definição dos trabalhos a executar. Note-se que o projecto deverá estar condicionado pelos objectivos que se querem atingir com a intervenção; estes, por sua vez, devem ser definidos na fase de preparação, uma vez que são essenciais na análise de viabilidade.

O projecto não deve ser iniciado sem que antes se defina como será organizado e coordenado.

[‡] A fase de conclusão tem como objectivos o registo de todas as acções executadas e a definição do conjunto de revisões e/ou alterações a elaborar no plano geral de manutenção do edifício.

3.1 Organização e coordenação

As formas de alteração e degradação dos materiais e elementos construtivos comuns em edifícios históricos obrigam, para uma análise global e rigorosa, à formação de equipas constituídas por diversas especialidades. Podem mencionar-se, entre outras, conservação, história, história da arte, arquitectura, arqueologia, diversas especialidades de engenharia, geologia, mineralogia, química, paisagismo, ordenamento do território e planeamento urbano. Haverá, pois, que seleccionar cuidadosamente os técnicos que deverão ser chamados a intervir. Refira-se que a formação de equipas incompletas tem como resultado a falta de consideração de alguns dos problemas existentes e, conseqüentemente, uma avaliação deficiente. Por outro lado, o recurso a especialidades cuja contribuição não seja necessária torna o processo de decisão pouco eficaz.

Por definição, um especialista será responsável pela análise de uma parte muito específica do conjunto de problemas a resolver. Verifica-se, assim, a necessidade de existir capacidade de coordenação das diversas especialidades, como única forma de ser possível uma integração de contributos no contexto global do edifício. Esta função de coordenação tem como principal responsabilidade garantir que os diferentes conhecimentos são devidamente compatibilizados e ponderados e não encarados isoladamente.

3.2 Aquisição prévia de informação

Após definida e mobilizada a equipa de especialistas e definidos os processos de funcionamento conjunto, deve ser reunido o conjunto de informação que permita uma análise detalhada de todos os fenómenos de alteração e degradação existentes, bem como dos processos que deverão ser utilizados no seu tratamento.

A primeira tarefa da equipa de projecto consiste em analisar todos os dados já disponíveis. Informação histórica, relatórios de inspecções, registos de monitorizações, descrição de trabalhos de conservação ou de outro tipo anteriormente efectuados, hábitos de utilização, etc. fornecem indicações extremamente importantes quanto à evolução do estado de conservação do edifício. Posteriormente, deve ser feita uma inspecção, essencialmente visual, que tem dois objectivos principais: a elaboração de uma lista de materiais existentes e de formas de alteração e degradação expectáveis e a definição dos meios de diagnóstico que devem ser previstos.

A revisão dos desenhos rigorosos que possam existir e/ou a elaboração de novos desenhos deve acompanhar esta etapa inicial. Plantas, cortes, alçados e detalhes construtivos, tão rigorosos quanto possível, devem representar os materiais, elementos e partes construtivas, de uma forma que não apenas se constitua como arquivo documental, mas permita sobretudo criar instrumentos de

trabalho. Quando não exista, deve ainda prever-se a execução de um levantamento fotográfico. A combinação de desenho e fotografia pode também revelar-se um meio de documentação e análise muito eficaz (Figura 1), constituindo-se como um instrumento de trabalho de grande interesse.

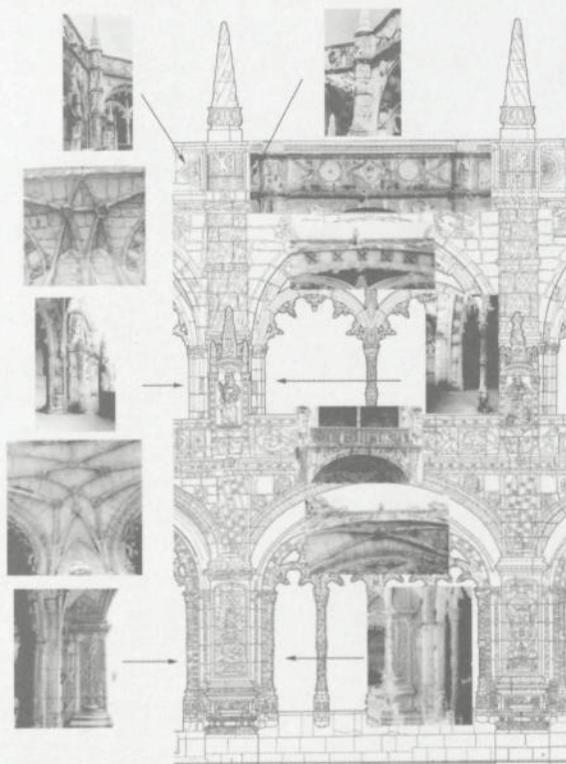


Figura 1: Montagem desenho/fotografia de parte do alçado exterior Norte do claustro do Mosteiro dos Jerónimos.

Com base nas recomendações da equipa de especialistas, a próxima etapa identifica e caracteriza, de forma exaustiva, todas as formas de alteração e degradação existentes. É frequente a necessidade de ensaios e análises laboratoriais, bem como o recurso a diversas técnicas de diagnóstico que se deve procurar serem não destrutivas (NDT).

Conhecidos os problemas, há que documentá-los e representá-los. Para além do registo fotográfico das formas de alteração e degradação, são executados os mapeamentos correspondentes sobre os desenhos rigorosos e/ou sobre fotografia (Figuras 2 e 3).

Estas são tarefas imprescindíveis: antes de mais, completam o registo do estado de conservação do edifício antes da intervenção e, não menos importante, permitindo uma análise de conjunto e simultânea, constituem instrumentos de avaliação global.

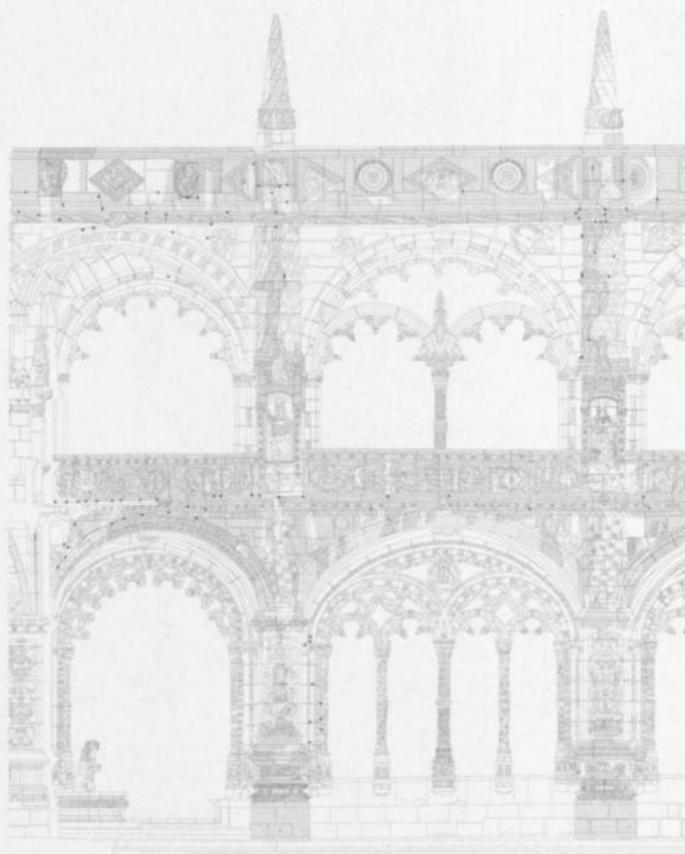


Figura 2: Mapeamento de colonizações biológicas sobre desenho parcial do alçado exterior Norte do claustro do Mosteiro dos Jerónimos.

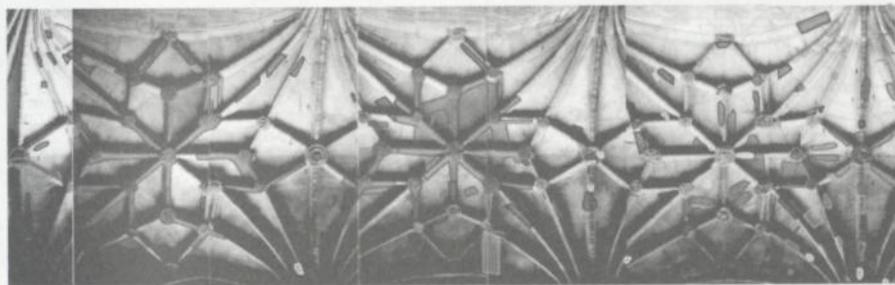


Figura 3: Mapeamento de algumas formas de alteração e degradação dos materiais em parte das abóbadas da galeria inferior Norte do claustro do Mosteiro dos Jerónimos.

O mapeamento e a representação de todos os fenómenos de alteração e degradação completam a aquisição prévia de informação. Importa agora diagnosticar e avaliar os conhecimentos adquiridos.

3.3 Análise interpretativa, diagnóstico e avaliação

O conjunto de dados recolhido no levantamento realizado deve ser analisado e interpretado pela equipa de projecto, processo que conduz à elaboração de um diagnóstico relativo às diversas formas de alteração e degradação detectadas. Com base neste diagnóstico, importa compreender, numa visão de conjunto, o estado de conservação do edifício. Esta avaliação surge, em geral, como o resultado da contraposição entre o diagnóstico e um conjunto de critérios tidos como aceitáveis, nos quais deve ser integrado o significado cultural do edifício. O processo de avaliação pode traduzir-se na atribuição de significados aos diversos sintomas registados. Qual a importância e a representatividade que uma lacuna no bloco de uma alvenaria de pedra deve assumir? Deve ser considerado um problema grave ou, pelo contrário, menosprezável? Este tipo de dúvidas, que fazem parte integrante duma avaliação essencialmente qualitativa quanto ao estado de conservação, apenas encontrará uma resposta adequada se for enquadrado num contexto abrangente que deve considerar diversas abordagens distintas: o conjunto dos problemas do edifício; o contexto específico em que a anomalia em causa se desenvolve; o âmbito dos riscos inerentes ao seu desenvolvimento; a idade e o tipo de edifício; a sua evolução histórica e o contexto actual, em termos culturais, sociais e económicos; o valor patrimonial em jogo; os objectivos do próprio projecto de conservação. Esta tarefa implica, inevitavelmente, um certo grau de subjectividade, uma vez que é fruto de um julgamento que dará origem a uma opinião acerca do estado de conservação.

O processo de avaliação deverá ainda obedecer a uma análise a dois níveis distintos: segundo valores relativos e segundo valores absolutos. No primeiro caso, pretende-se estabelecer uma relação de prioridade para as acções de conservação que cada fenómeno analisado exige, segundo critérios relativos ao grau de gravidade que representam. Este aspecto é extremamente importante de forma a que não seja dada uma importância excessiva ou deficitária a cada problema. Uma posterior intervenção de conservação dependerá sempre de recursos escassos, pelo que a capacidade de compreensão das diversas anomalias no contexto global do edifício permitirá a definição de prioridades. Por outro lado, casos podem surgir em que determinado elemento construtivo mereça atenção especial, ainda que o seu grau de deterioração não seja grave. Aqui, apesar da avaliação relativa remeter a sua conservação para segundo plano, uma avaliação absoluta determina uma acção prioritária. Cabe aqui reforçar a natureza complexa deste tipo de avaliações; de facto, não se trata de uma análise apenas e puramente técnica, mas sim de uma integração de aspectos técnicos e valores culturais. Por esta razão, o trabalho de projecto de conservação de património histórico edificado deve ser executado por equipas especializadas, com manifesta experiência adquirida e sensibilidade para a reflexão e a tomada de decisões nos contextos técnico, científico, histórico, cultural, social e económico.

O juízo quanto ao estado de conservação deve ser formalizado de acordo com um determinado critério de medição. Deve pretender-se, com a medida atribuída, uma sistematização do processo de avaliação que permita uma compreensão fácil e inequívoca da gravidade das condições em que se encontra o edifício. Será assim possível analisar os resultados da avaliação no contexto da decisão a tomar quanto a eventuais acções de seguimento. Note-se que o aconselhamento técnico e científico se destina também a ser interpretado por decisores que, em geral, não são especialistas na conservação do património histórico edificado. Em última análise, serão eles a definir o tipo e a dimensão da intervenção que se vier a implementar, uma vez que são os gestores dos recursos disponíveis.

A informação recolhida e a sua avaliação permitem definir os trabalhos de conservação a executar.

3.4 Definição dos trabalhos de conservação

Conhecendo, de uma forma integrada, o estado de conservação em que se encontra o edifício, definem-se os tipos de acções que deverão ser executados. Para cada forma de alteração e degradação são estabelecidos os métodos, os equipamentos e os materiais a utilizar no seu tratamento. Frequentemente, revela-se necessário o recurso a ensaios laboratoriais, nomeadamente no que diz respeito à selecção dos materiais a utilizar em obra. Note-se que cada edifício

conhece um processo de degradação próprio, resultante de inúmeros factores que não se repetem de caso para caso (como os agentes climáticos, o tipo de uso e a frequência de manutenção); deste modo, ainda que estando em causa materiais semelhantes, muito dificilmente se poderá transpor integralmente a experiência adquirida num edifício para o projecto de conservação de outro, facto que exige o estudo exaustivo de cada situação. Sempre que existam dúvidas quanto à eficácia de determinada solução, pode recorrer-se a pequenas áreas de teste no próprio edifício.

A definição das acções de conservação deverá ainda considerar os recursos humanos, técnicos e financeiros que poderão ser disponibilizados, de forma a que não se especifiquem tarefas cuja implementação seja inviável.

Por outro lado, há também que analisar a evolução previsível do estado de conservação do edifício, no contexto de cada solução alternativa. Algumas acções poderão garantir, face a outras, um melhor resultado imediato, mas implicar, posteriormente, uma taxa de desenvolvimento dos problemas muito superior. Deve procurar-se, no âmbito de uma intervenção de conservação, aumentar a capacidade do edifício para resistir aos agentes de degradação.

Note-se que, neste momento, o projecto pode não contemplar a totalidade dos problemas existentes. Efectivamente, pelo facto de a recolha de informação se basear em técnicas não destrutivas, poderão ocorrer fenómenos de alteração e degradação que apenas venham a ser detectados no decorrer dos trabalhos. Compreende-se, assim, a enorme importância que assume o acompanhamento regular da obra por parte da equipa de projecto e, nomeadamente, do coordenador[§].

No que diz respeito ao caderno de encargos a elaborar, pode considerar-se uma abordagem um pouco distinta da que é habitual na construção nova e na reabilitação: a definição de linhas orientadoras e não de descrições exaustivas. Solicitando-se expressamente, aos candidatos à adjudicação dos trabalhos, a apresentação de uma descrição pormenorizada do modo como se propõem intervir, torna-se possível uma avaliação mais informada da sua capacidade técnica e logística, factor que deve assumir preponderância no processo de selecção.

4 Conclusões

As especificidades da conservação do património histórico edificado exigem metodologias de projecto próprias, baseadas na mobilização de uma equipa que reuna as especialidades pertinentes devidamente coordenadas. Conhecimento, experiência e sensibilidade, por parte dos intervenientes, são factores

[§] Por esta razão, entre outras, é aconselhável que a figura de coordenação se mantenha durante toda a intervenção de conservação.

críticos de sucesso no projecto e, conseqüentemente, em toda a intervenção de conservação.

Começando por analisar as fontes de informação disponíveis, o processo de projecto deve prosseguir pela elaboração de levantamentos desenhados e fotográficos, a identificação e a caracterização das formas de alteração e degradação existentes e a sua representação. A etapa seguinte analisa, interpreta, diagnostica e avalia o estado de conservação, acção que conduz à definição dos trabalhos a executar com vista à obtenção do estado de conservação que se tenha definido como aceitável.

5 Agradecimentos

O autor agradece à Associação *World Monuments Fund* – Portugal pela autorização concedida para a utilização de dados relativos à sua actividade.

6 Créditos das figuras

As figuras incluídas na comunicação são da autoria de Nova Conservação, L.^{da}/Azimut, no âmbito do Projecto de Conservação do Claustro do Mosteiro dos Jerónimos (1998-2002) e foram cedidas pela Associação *World Monuments Fund* – Portugal.

7 Bibliografia

- [1] Moreira Rato, Vasco *Conservação do Património Histórico Edificado – Princípios de Intervenção*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2002.
- [2] Henriques, F. M. A. *A Conservação do Património Histórico Edificado*. Memória n.º 775. Lisboa: LNEC, 1991.
- [3] A. A. V. V. *Torre de Belém – Intervenção de Conservação Exterior*. Lisboa: Instituto Português do Património Arquitectónico (IPPAR), 2000.
- [4] Feilden, B. *Conservation of Historic Buildings*. London: Butterworth, 1982.
- [5] Aguiar, José; Cabrita, A. M. Reis & Appleton, João *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais*. Volumes 1 e 2, 4.^a Edição. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), 1998.
- [6] A. A. V. V. *1.º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios de Habitação – Documentos Introdutórios*. Lisboa: LNEC, 1985.
- [7] Watt, D. & Swallow, P. *Surveying Historic Buildings*. Dorset: Donhead Publishing, 1996.

ANOMALIAS EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS CORRENTES

Inês Flores Colen*

Correio electrónico: inflores@netcabo.pt

Jorge de Brito†

Correio electrónico: jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

Nesta comunicação, são sistematizadas as anomalias mais correntes em revestimentos de fachadas, nomeadamente alguns revestimentos tradicionais (tinta plástica, ladrilhos cerâmicos e pedra natural) e não-tradicionais (reboco monomassa e membrana elástica).

Em primeiro lugar, são caracterizados dois tipos de anomalias comuns a todos os revestimentos, as manchas prematuras e os fenómenos de reincidência de anomalias. Em segundo, são exemplificadas, através de quadros, as anomalias mais correntes para cada revestimento referentes a fenómenos de fissuração (com eventual empolamento e destacamento), de perda de aderência ou de degradação do aspecto.

Por último, apresenta-se um quadro-resumo com exemplos de algumas técnicas de correcção e de prevenção dessas anomalias.

Palavras-chave: Anomalias, Fachada, Patologia.

1 Introdução

A fachada, sendo um elemento integrante do invólucro exterior do edifício, desempenha um papel importante ao nível da concepção arquitectónica, valorizando o espaço envolvente [1]. A sua constante exposição às acções climatéricas, nomeadamente a alternância de humedificações e secagens e o efeito nefasto da poluição atmosférica, origina uma deterioração acelerada dos elementos de revestimento, cujos efeitos podem ser:

- Problemas de disfuncionalidades no interior do espaço habitado, associados, na sua maioria, a infiltrações de água;

* Eng.ª Civil, Mestre em Construção pelo Instituto Superior Técnico.

† Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico.

- Problemas de segurança para os utentes ou transeuntes, relacionados com a probabilidade de queda de elementos de revestimento (placas de pedra ou ladrilhos cerâmicos);
- Desvalorização estética do edifício e do espaço envolvente, influenciando negativamente o bem-estar dos utentes e o valor patrimonial.

Os revestimentos exteriores, embora apresentem diferentes comportamentos em serviço, devem cumprir determinadas exigências durante a vida útil dos edifícios, nomeadamente a protecção dos paramentos verticais às acções dos diversos agentes agressivos, resistindo eles próprios a esses agentes; a estanqueidade do conjunto revestimento + paramento à água; a planeza, verticalidade e regularidade superficial dos paramentos; o efeito decorativo e o estado de limpeza [2].

A existência de bases de dados credíveis de revestimentos de fachada, com a identificação das anomalias relevantes, causas possíveis e acções correctivas, complementada com uma adequada metodologia de diagnóstico e de acção, permite fundamentar a escolha dos revestimentos na fase de projecto e apoiar as intervenções de manutenção e reabilitação durante a fase de exploração.

Para cumprir este objectivo, é necessário caracterizar o comportamento dos revestimentos para as condições específicas em serviço, através de vários parâmetros: a vida útil expectável, os mecanismos de degradação, os níveis de qualidade, as principais anomalias e as operações de manutenção para garantir as exigências mínimas durante a vida útil dos edifícios.

Segundo o CIB [3], o processo de deterioração necessita de tempo para se desenvolver até atingir a rotura funcional e física, o que evidencia a importância do estudo das anomalias e o seu diagnóstico para definir estratégias de manutenção preventiva. Assim, a metodologia de diagnóstico e de acção consiste, em linhas gerais, em:

- a) **identificar os defeitos**, os quais poderão permanecer em estado latente ou manifestarem-se através de anomalias, quando sujeitos à acção de agentes exteriores;
- b) **encontrar as causas mais importantes, agindo sobre os defeitos**, que poderão ser a combinação de diversas causas relacionadas com o envelhecimento natural dos materiais, erros no projecto/concepção, erros na execução / colocação em obra e erros na manutenção e utilização;
- c) **identificar as medidas correctivas e controlar o seu resultado**, identificando aquelas que deram lugar a efeitos indesejáveis;
- d) prevenir a reincidência desses defeitos, actuando logo na origem.

Este tipo de análise deverá ser acompanhado por vários métodos, nomeadamente: inspecções para levantamento das condições actuais de exposição

ambiental e de utilização, ensaios *in situ* ou laboratoriais e análise de registos históricos das intervenções anteriores e da documentação técnica existente (hipóteses contempladas no projecto original, planos de manutenção e demais informações relevantes).

2 Anomalias em Revestimentos de Fachadas

Como já referido, no estudo de cada revestimento interessa caracterizar os principais sintomas patológicos para as condições em serviço e o respectivo modo de correcção e de prevenção. Neste capítulo são caracterizadas as anomalias mais correntes em cinco revestimentos de fachadas.

2.1 Manchas prematuras

Estas anomalias, de carácter prematuro, são visíveis logo nos primeiros anos do edifício, e estão basicamente relacionadas com deficiências do projecto. Não são, à partida, vulgarmente aceites como defeitos [4]. No entanto, esta prematura descoloração nos edifícios mais recentes (com menos de cinco anos de idade) conduz à desfiguração da sua fachada, antes do tempo normalmente esperado para essa alteração. Esta situação afecta, logo desde o início da utilização, o parâmetro estético estabelecido e, em estado mais avançado, a resistência dos materiais.

Esta abordagem assume muito interesse já que a maior parte dos revestimentos de fachada apresenta este tipo de problemas e, em relação aos mesmos, não são tomadas às vezes, na fase de projecto, as devidas medidas preventivas.

Assim, devem ser concebidas formas arquitectónicas, de modo a protegerem efectivamente o revestimento, da acção da água da chuva, sem contribuir para o desenvolvimento de efeitos desfavoráveis, como seja a formação de caminhos preferenciais de escorrimento da água pelo paramento vertical. As zonas mais susceptíveis destes fenómenos são: as cornijas (partes mais expostas), as platibandas e os beirados, as fachadas planas com materiais de diferentes graus de absorção de água, os peitoris das janelas e as zonas envidraçadas.

2.2 Reincidência de anomalias

A inexistência ou inadequação dos métodos de diagnóstico podem estar na origem de deficientes acções correctivas, as quais originam a reincidência de anomalias (fenómenos de *repatologia*). Para que as intervenções não resultem em efeitos inestéticos inaceitáveis, deverão respeitar certos princípios, como por exemplo:

- a utilização de materiais compatíveis com os existentes;

- a área a intervir ser tal que garanta uma sobreposição com a existente;
- os métodos a aplicar não introduzirem modificações que acelerem a degradação dos revestimentos.

Tabela 1: Anomalias e eventuais causas em reboco não-tradicional [5, 6, 7].

Sintomas	Eventuais Causas	Observações
Fendas generalizadas, sem orientação preferencial e de pequena largura "pele de crocodilo"	Retração de secagem inicial (menor retração e maior deformabilidade do que os rebocos tradicionais)	
	Falta de cuidado na execução	Aplicação em condições muito secas (calor, vento seco, suporte muito absorvente) sem precauções
		Deficiente cura
		Aplicação em camadas de espessura exagerada Excesso de água na amassadura
Fendas com orientação horizontal, nas zonas das juntas de assentamento	Expansão da argamassa das juntas de assentamento, pela acção dos sulfatos contidos nos tijolos, nos blocos ou nas argamassas, ou introduzidos pela água	
Fendas de traçado contínuo ao longo das junções de materiais de suporte diferentes	Variações dimensionais diferenciais desses materiais	
Fendas diagonais a partir dos cantos de vão abertos	Enfraquecimento do suporte nessa zona	
	Deformação dos panos de parede	Insuficiente entrega das vergas existentes Inexistência de vergas
Empolamento com formação de bolhas e perda de aderência	Má qualidade do revestimento	Preparação incorrecta do produto
		Amassado com excesso de água
	Aplicação sobre um suporte inadequado ou mal preparado	Reamassado do produto parcialmente endurecido
		Com resíduos
		Muito quente, com humidade insuficiente ou saturado de água
Manchas esbranquiçadas	Carbonatações - aplicação em condições atmosféricas inadequadas	Tempo frio e húmido (com libertação da cal durante a presa do cimento)
	Eflorescências - cristalização à superfície de sais solúveis	Sais contidos nos materiais da parede, na argamassa ou no terreno e transportados pela água de infiltração
Sombreamentos ou transparências seguindo as juntas do suporte sobre o que está aplicado	Espessuras de revestimento muito reduzidas e juntas de alvenaria mal executadas ou com maior absorção do que o resto do suporte	
Diferenças de tonalidade	Diferentes condições de secagem	Grandes variações de temperatura e humidade durante a aplicação
	Variações na preparação do revestimento	Quantidade de água Método ou tempo de amassadura
	Variações na realização do acabamento	
Fungos e bolores (manchas)	Perda de eficácia dos adjuvantes fungicidas e bactericidas	
	Dosagens pequenas de adjuvantes	Preço
	Fachada com fraca exposição ao sol e sujeita a humedecimentos	Toxicidade

2.3 Anomalias correntes para cada revestimento

Nas Tabelas 1 a 5 estão identificadas as anomalias (sintomas) para cinco revestimentos de fachada: reboco não-tradicional, membrana elástica, tinta plástica, revestimento cerâmico e pedra natural, respectivamente. Este levantamento foi elaborado em [5], recorrendo a diversa bibliografia técnica e ao trabalho de campo (acompanhamento de intervenções de conservação e requalificação em edifícios de habitação social, em Lisboa), de forma a constituir uma base de partida para o estudo de diferentes estratégias de manutenção pró-activa aplicadas a esses revestimentos.

Tabela 2: Anomalias e eventuais causas em membrana elástica [5, 6, 8].

Sintomas	Eventuais Causas	Observações
Fendilhação após endurecimento	Envelhecimento por exposição aos raios ultravioletas	
	Redução do consumo em relação ao recomendado	
	Não utilização de uma camada de acabamento	
Perda de aderência após empolamento com formação de bolhas, e conseqüente destacamento	Insuficiente permeância ao vapor de água do revestimento	Má qualidade do revestimento
	Deficiente preparação inicial	Deficiente aplicação
Degradação do aspecto, manchas esverdeadas ou negras	Perda de eficácia dos adjuvantes fúngicos e bactericidas	
	Dosagens pequenas de adjuvantes	Preço Toxicidade

3 Técnicas Correctivas e de Prevenção

As acções correctivas e de prevenção deverão ser definidas consoante o tipo de anomalias e as causas mais prováveis. Antes de executar qualquer acção correctiva, há que realizar todos os trabalhos preparatórios, necessários para corrigir as causas dessas anomalias. Na Tabela 6, estão indicadas algumas das técnicas de correcção e de prevenção, correntemente utilizadas no nosso país.

4 Conclusões

Nesta comunicação, foram abordados os aspectos necessários a um correcto diagnóstico de defeitos e anomalias dos revestimentos, incluindo a identificação de alguns tipos de anomalias gerais em todos eles (manchas prematuras, associadas à fase de projecto, e fenómenos de *repatologia*, associados à fase de utilização/reparação).

Tabela 3: Anomalias e eventuais causas em tinta plástica [5, 6, 9, 10].

Sintomas	Eventuais Causas	Observações	
Perda de aderência com consequente empolamento, fissuração e escamação	Insuficiente permeância ao vapor de água do revestimento		
	Envelhecimento por exposição aos raios ultravioletas		
	Eflorescências - cristalização de sais	Infiltrações de água	
	Suporte em condições inadequadas	Deficientes condições de cura do substrato, formando camada superficial friável e pulverulenta	
	Condições de aplicação inadequadas		Humidade no suporte
			Inadequada e incorrecta preparação das superfícies
			Espessura da película inferior à recomendada
Tipo de tinta inadequado	Condições adversas de temperatura e humidade		
	Incompatibilidade de produtos no esquema de pintura		
		Produto de má qualidade	
Fissuração	Fissuração do suporte		
	Envelhecimento por exposição aos raios ultravioletas		
Degradação do aspecto, das cores e do tom	Acção dos agentes atmosféricos	Raios ultravioletas	
	Fungos e bolores - fachada com fraca exposição ao sol e sujeita a humedecimentos		
	Farinação - a tinta desagrega-se e vem agarrada à mão ou solta-se escovando	Destruição progressiva do ligante pelas condições de exposição ou tinta inadequada	
		Teor e forma de pigmento no revestimento	
	Sujidade acumulada nas superfícies	Poeiras transportadas pelo vento, poluição industrial e atmosférica	
	Deliquescência - manchas claras - liquefacção de sais existentes na superfície da parede ou próximo desta por absorção de água		
	Saponificação - tintas moles, pegajosas e até solúveis em água - conversão em sabão da matéria oleosa ou gordá presente na película da tinta por acção de substâncias alcalinas	Falta de cuidados de limpeza das superfícies	
	Eflorescências - formações salinas - sais solúveis que foram transportados do interior para a superfície das paredes e aí cristalizaram por evaporação de água	Infiltrações de água / humidades interiores	
	Microorganismos - presença de humidade, não houve tratamento do suporte		
	Escorridos de cal	Água infiltrada lixívia a cal do cimento, depositando-a por carbonatação, ao atingir o exterior	

Procurou sistematizar-se, através de quadros as anomalias mais correntes para cada revestimento em estudo, identificando-se as suas eventuais causas. Conclui-se que as anomalias mais usuais estão associadas à fissuração, com eventual empolamento e destacamento, à perda de aderência e à degradação do aspecto, apresentando vários sintomas, consoante a causa e o agente de degradação. A existência de humidade está na origem de muitas das anomalias, pelo que é muito importante a escolha adequada, sob esse ponto de vista, dos revestimentos da fachada.

Por último, foram identificadas algumas técnicas comuns na resolução das anomalias ou na sua prevenção. Estas técnicas variam consoante o tipo de revestimento e o seu estado de degradação (reparações localizadas ou remoção integral do revestimento degradado). Todos os aspectos anteriores são importantes para a fiabilidade e a prática de estratégias de manutenção pró-activa.

Tabela 4: Anomalias e eventuais causas em revestimento cerâmico [5, 6, 11, 12].

Sintomas	Eventuais Causas	Observações
Perda de aderência e desprendimento ou deslocamento de ladrilhos em áreas extensas, precedido de empolamento	Retração nas camadas subjacentes e elevadas tensões de corte que se geram consequentemente nos planos de colagem	
	Pressão de vapor de água	
	Expansão de ladrilhos	
Perda de aderência e desprendimento ou deslocamento de ladrilhos em correspondência com zona de grande probabilidade de concentração de cargas	Movimentos significativos no suporte, com argamassas de módulo de elasticidade superior ao dos azulejos	
Com iminência de desprendimentos em todo o paramento	Produto de assentamento ineficaz	De deficiente qualidade, incompatível com o suporte ou com as condições de utilização do revestimento
	Inobservância dos cuidados de preparação	Insuficiente resistência mecânica
	Cura deficiente do produto de assentamento	
Desprendimento de peças isoladas ou de pequenas áreas	Penetração frequente de água	Falta de estanqueidade das juntas
	Fluxo à superfície do paramento de sais (eflorescências)	Produto de assentamento
	Quantidade insuficiente ou aplicação deficiente deste produto	Sais solúveis existentes na cerâmica juntamente com humidade absorvida do ar
Fissuração fina, sem orientação, distribuída pela generalidade do paramento revestido	Movimentos diferenciais dos ladrilhos e do produto de assentamento	Retração de secagem inicial do produto de assentamento
		Alterações do teor de água
		Variações de temperatura
Fissuração de largura significativa e com orientação bem definida	Rotura do suporte	Movimentos do suporte ou que lhe foram transmitidos pela estrutura
	Ausência de certas disposições construtivas	Incorrecto dimensionamento de juntas entre peças
		Ausência de esquadramento dos revestimentos em painéis com dimensões limitadas

Tabela 5: Anomalias e eventuais causas em revestimento de pedra [5, 6, 13].

Sintomas	Eventuais Causas	Observações
Elemento de pedra manchado	Eflorescências ou criptoflorescências	Agentes químicos dos materiais do solo + acção da água
	Manchas provenientes da humidade	Humidades ascendentes do solo Deficiente ventilação no tardo da pedra
	Manchas provenientes do material de fixação do elemento	Argamassas de fixação inadequadas Oxidação dos elementos de fixação
	Manchas de coloração cinzenta negra (película fina de 0,5 a 2-3 mm)	Poluição atmosférica, ciclos de secagem / molhagem e ausência de limpeza
Aspecto da superfície revestida no seu conjunto não aceitável	Falta de homogeneidade do elemento de pedra	Diferente cor, textura, acabamento e características geométricas dos elementos de pedra
Falta de planimetria da superfície	Má execução dos trabalhos	
Falta de linearidade das juntas entre elementos de pedra	Desgaste por ataque físico, químico e biológico	Escolha adequada das argamassas / vedantes face ao tipo e dimensões dos elementos, acabamentos de superfície, exposição aos agentes atmosféricos e largura da junta
Diversos sintomas (descasque, descoloração, manchas, etc.)	Inadequação ao processo construtivo, suporte, solicitações, condições ambientais e utilização	Má escolha do tipo de pedra e suas características geométricas (fase de concepção)
	Deficiente utilização	Deficientes processos de limpeza e de manutenção
Material de refechamento das juntas degradado	Má concepção do revestimento	
	Má qualidade do material de refechamento	
	Deficiente aplicação do material de refechamento	
Escorridos de cal nas juntas das pedras	Infiltrações de água	
Escamas, esfoliações e pústulas no elemento de pedra	Estado avançado e consequência das retiradas das crostas negras	Poluição atmosférica, ciclos de secagem / molhagem
Fissuração	Deformação do suporte	Por flexão, retracção, dilatação e / ou assentamento
	Fracçãoamento do suporte em juntas	Em juntas periféricas, de rotura ou entre os elementos de pedra
	Má colocação em obra	Orientação incorrecta do elemento <i>in loco</i> em relação à estrutura observada na pedreira
Descaimento	Rotura do elemento pedra	Incumprimento das espessuras mínimas de acordo com o tipo de pedra e importância das solicitações
	Rotura da cola / argamassa de selagem	Tipo inadequado para as dimensões dos elementos de pedra, a natureza do suporte e ou a humidade do paramento
	Rotura dos elementos metálicos de fixação / estrutura intermédia de suporte	Resistência ao peso próprio dos elementos, solicitações, horizontais, deformações diferenciais e risco de corrosão
	Suporte por deficiência na resistência	Resistência mecânica ou ataque físico, químico e biológico
Descolamento	Deformação do suporte	Por flexão, retracção, dilatação e / ou assentamento
	Fracçãoamento do suporte em juntas	Em juntas periféricas, de rotura ou entre os elementos de pedra
	Aderência por colagem e selagem com argamassa	
	Deformação do material por empolamento do material pedra	

Tabela 6: Técnicas de correcção e de prevenção em revestimentos de fachadas [5].

Anomalias	Técnicas
Fendilhação/ Fissuração	Fissuras finas - aplicação de revestimento sintético (1, 2, 3)
	Fissuras médias - alegramento e preenchimento com o mesmo produto (armado ou não). Aplicação de revestimento sintético para disfarçar heterogeneidades de aspecto (1, 3)
	Eliminação do revestimento degradado, por pulverização de água (3)
	Extracção da totalidade dos elementos partidos e reparação de fissuras. Recolocação de novos elementos com produto aderente (4)
	Substituição de placas de pedra danificadas, remoção dos gatos, abertura, limpeza e preenchimento com argamassa de novos furos na parede. Colocação da nova pedra e introdução de gatos (5)
	Substituição dos elementos fissurados por outros novos, com a utilização de produtos elásticos no assentamento destes e no refecimento de juntas (4)
	Injecção de resina nas fissuras, com tapamento das juntas. Protecção com hidrófugo (5)
Perda de aderência/ Destacamentos	Reparação de fissuras através da colocação de uma rede de fibra (1, 2, 3)
	Picagem até ao toco com aplicação de novo revestimento do mesmo tipo, com escova, trincha ou rolo (1, 2)
	Extracção por escovagem mecânica. Aplicação de nova demão do revestimento.(2)
	Extracção da totalidade dos elementos , com substituição dos partidos. Utilização de produto de assentamento de melhor qualidade ou mais adequado (4)
	Descasques - Despelamentos - Empolamentos - Retirada de todo o revestimento em mau estado e com má aderência. Aplicação de selante barreira ao vapor de água. Aplicação de nova demão de revestimento (3)
	Abertura de furos no elemento de pedra e injecção de resina entre o suporte e o tardo da pedra (5)
Degradação do aspecto	Reposição de material com colagem dos elementos em falta ou efectuando empalmes e emendas (5)
	Reposição com a utilização de massas especiais à base de epoxy e pó de pedra (5)
	Pintura geral com tinta texturada ou aplicação de revestimento delgado ou de novas camadas do revestimento (1)
	Eflorescências - Escovagem a seco das manchas esbranquiçadas, após secagem do revestimento (1)
	Sujidades - escovagem suave com água, simples ou adicionada de detergente líquido neutro seguida, neste último caso, de passagem por água simples (2)
	Sujidades - limpeza com jacto de água sob pressão, simples ou adicionada da quantidade necessária de detergente líquido neutro (2, 3)
	Manchas de gordura - aplicação de uma solução bastante diluída de ácido oxálico. Lavagem com bastante água limpa para remover todo o ácido usado (5)
	Sujidades - pulverizações de água e escovagem (5)
	Fungos - Musgos - Bolores - lavagem com lixívia e água. Aplicação de desinfectante aquoso e do revestimento com aditivo anti-fungos / biocida (3)
	Crostas negras - remoção através de sistema controlável, graduado e selectivo. Após amolecimento das crostas, remoção com escovas de nylon (5)
	Fungos / bolores - lavagem, aplicação de produto de tratamento com base em soluções aquosas (2)
Remoção do revestimento não aderente e tratamento com lixa, até obter superfície sem farinação e em bom estado (2)	
Aplicação de produto hidrófugo / hidro-repelente, por pintura manual ou com equipamento de projecção	
1 – reboco não-tradicional (reboco monomassa) 2 – membrana elástica 3 – tinta plástica 4 – revestimento cerâmico 5 – revestimentos de pedra natural	

5 Bibliografia

- [1] Silva, H.; Heitor, T. *O Elemento "Fachada" em Projectos de Reconversão / Requalificação*, Congresso Nacional Construção 2001, IST, pp. 775-782, Dezembro 2001.
- [2] Paiva, J. & Veiga, R., *Aspectos Gerais dos Revestimentos de Paredes*, Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes, LNEC, 1996.
- [3] CIB W86 - *Building Pathology - A State-of-The-Art Report*, CIB Report, Junho, 1993.
- [4] Parnham, P., *Prevention of Premature Staining of New Buildings*, E & FN SPON, London, UK, 1997.
- [5] Flores, I. *Estratégias de Manutenção - Elementos da Envolvente de Edifícios Correntes*, Dissertação de Mestrado, IST, 186p, Fevereiro 2002.
- [6] Addleson, L. "Building Failures - A Guide to Diagnosis, Remedy and Prevention", 3.^a Edição, Revista Butterworth Architecture, Oxford 1992.
- [7] Veiga, M. R. & Faria, P. *Revestimentos de Ligantes Minerais e Mistos com Base em Cimento, Cal e Resina Sintética*, Curso de especialização sobre revestimentos de paredes. LNEC 1996.
- [8] Veiga, M. R., *Revestimentos Ligantes Sintéticos para Paramentos Exteriores de Paredes*, Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes". LNEC 1996_a.
- [9] Marques, M. I. & Rodrigues, M. P. *Tintas, Vernizes e Revestimentos por Pintura para a Construção Civil*, LNEC, Lisboa, 1998.
- [10] Marques, M. I. *Durabilidade de Tintas Plásticas*, ITMC2, LNEC, 1985.
- [11] Lucas, J. *Alguns Casos de Patologia em Azulejos*, ITMC5, LNEC, 1990.
- [12] Lucas, J. *Revestimentos Cerâmicos*, Curso de Especialização sobre Revestimentos de Paredes. LNEC 1996.
- [13] Reis Ricardo, S. *Modelo de Garantia da Qualidade de Revestimentos em Pedra Natural de Paramentos Verticais*, Dissertação submetida para obtenção do grau de mestre em construção, IST, Julho, 1992.

A INTERVENÇÃO NO PATRIMÓNIO E PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO

Augusto José Marques da Costa*

Correio electrónico: dgemn.dremn.96@mail.telepac.pt

Resumo

A protecção, conservação e utilização do património construído, com objectivos sociais, científicos e didácticos, constitui um elemento estabilizador no desenvolvimento das culturas e desempenhará um papel activo na vida da sociedade.

Palavras-chave: Conservação e reabilitação do património construído.

Desde 1929, data da criação da Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, verificaram-se em todo o mundo ocidental profundas alterações nos conceitos e metodologias das políticas de restauro e protecção do património arquitectónico.

Portugal não fugiu à regra, e embora possa ser considerado um país pioneiro na definição de políticas de protecção e, sobretudo, reutilização, campos houve em que a influência de outras culturas (nomeadamente a francesa, até à Segunda guerra mundial) penetrou profunda mas tardiamente, em especial no que se refere ao entendimento do monumento enquanto objecto de restauro.

Com efeito, e após quase um século (1834-1926) de políticas ingénuas e pragmáticas, mais ditadas pelas necessidades de criação de equipamentos públicos e por permanentes restrições orçamentais do que por uma política consciente de valorização patrimonial, surgiria entre as duas guerras uma forte vontade política de cariz nacionalista, exaltadora de toda uma gesta heróica cujo referente temporal se situava à volta do século XII, tendo como referência a fundação da Nacionalidade.

Consequentemente, os objectos de restauro seriam preferencialmente os castelos (tendo como paradigma o de Guimarães, berço da nacionalidade) e as igrejas românicas.

Apologética ou não, a onda de operações de intervenção no património construído assumiria ao longo dos anos trinta e quarenta deste século uma importância e uma dimensão tais que ainda hoje constituem referências obrigató-

* Arquitecto, Director Regional de Edifícios e Monumentos do Norte, Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, Direcção Regional de Edifícios e Monumentos do Norte

rias para todos aqueles que estudam, usufruem ou trabalham neste domínio. Mais, viria a garantir (suprema ironia !!!...) a salvaguarda de valores que decerto teriam pura e simplesmente desaparecido num regime liberal e democrático, o que pode ser constatado através da consulta dos boletins oficiais editados pela DGEMN.

Os cortes orçamentais e a crise ideológica político-cultural que se verificaram nos anos cinquenta alterariam este panorama de um modo irreversível.

Por vezes de forma cruel, a eliminação de elementos arquitectónicos e decorativos posteriores à data de construção original, deu lugar a uma progressiva integração e valorização desses mesmos elementos, muito antes do aparecimento da *Carta de Veneza*.

Contudo, a política de intervenção não se encontrava ainda consubstanciada teoricamente, nem apoiada por uma legislação suficientemente abrangente e integrada.

Seria já nos anos oitenta que esse *corpus* legislativo tomaria forma, embora com um cariz ainda um pouco insipiente.

Actualmente, a Lei Orgânica da DGEMN institui quatro zonas de intervenção, com sedes no Porto, Coimbra, Lisboa e Évora. Esta descentralização que se oficializou em 1970, veio desde então permitir não só uma maior operacionalidade na identificação dos problemas, mas também na definição das políticas de intervenção e na prossecução dos seus objectivos.

Em contacto permanente não só com os municípios mas igualmente com diversas instituições públicas e privadas, tem sido possível proceder com maior acuidade, a uma exaustiva inventariação do património e sua completa informatização, eger os imóveis que anualmente serão objecto de intervenção, elaborar os respectivos projectos, fiscalizar as obras, etc.

Relativamente à política de restauro seguida nas últimas décadas, podemos considerar que as metodologias mais fundamentalistas, sejam elas o regresso à chamada *traça primitiva* ou fruto da *Carta de Veneza* têm vindo a ser definitivamente abandonadas. Cada imóvel é considerado um caso específico, e os critérios de intervenção adaptam-se naturalmente mediante diagnóstico efectuado para a elaboração do projecto.

Tem sido objectivo da Direcção-Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais, por em prática um trabalho pluridisciplinar alicerçado no conhecimento científico do objecto de intervenção (com toda a sua complexidade documental, científica e significativa), bem como na planificação racional das soluções a adoptar, sem renunciar à criatividade própria do desenho. O alargamento de uma mentalidade científica e pluridisciplinar reduz as margens da arbitrariedade.

Em paralelo, vem sendo incrementada uma prática de manutenção como complemento indispensável para a conservação do Património, com o imprescindível envolvimento dos cidadãos, utilizadores do Património, em comple-

mento a uma Administração que não pode ser omnipresente, autoritária e consequentemente castradora.

(...) Élément essentiel des identités, le patrimoine culturel devient rapidement un facteur déterminant aussi bien de la croissance économique que de la cohésion sociale. Il joue un rôle de plus en plus important, notamment chez les jeunes auxquels il permet de comprendre qui ils sont, d'où ils viennent et quel est le sens de leur vie. Les monuments, les lieux et les sites, les oeuvres d'art et les objets du patrimoine mais aussi les langues, les coutumes, les pratiques communautaires et les techniques traditionnelles sont des éléments constitutifs d'identité qui donnent un sens à la vie, que ce soit au plan local, national ou régional. La notion de patrimoine culturel elle-même a pris un sens plus large pour intégrer les paysages culturels, les traditions culturelles vivantes et les valeurs symboliques et spirituelles.(...)

UNESCO -31 C/4

No nosso tempo o homem nota a necessidade de saber, ver e sentir de onde veio, para decidir do seu caminho futuro. Essa necessidade leva-nos portanto a conservar, segundo um critério científico e actual, os testemunhos da vida, da arte e da cultura do passado que conseguiram chegar até nós, constituindo assim uma aspiração da sociedade contemporânea, como forma de combater o seu desenraizamento.

Existem paisagens, lugares, sítios e monumentos cuja conservação não pode ser levada a cabo de forma independente de um conteúdo espiritual próprio ou de um contexto imaterial firmemente ligado aos mesmos. Por outras palavras, tal como uma paisagem pode materializar a lembrança de um acontecimento, o construído para conservar o seu interesse na cultura, não pode entender-se desligado de certas características ambientais e vivenciais que constituem a própria sobrevivência da consciência colectiva das comunidades que o construíram, habitaram e habitam.

A protecção, conservação e utilização do património construído, com objectivos sociais, científicos e didácticos, constitui um elemento estabilizador no desenvolvimento das culturas e desempenhará um papel activo na vida da sociedade.

(...) La désertification rurale progresse. Elle est d'abord humaine. L'effondrement démographique en est le plus cruel symptôme. C'est une pollution plus grave (...) que celle des nitrates et phosphates. Le désert n'est pas une plaie pour le seul paysan: elle élimine l'homme lui-même.(...)

Ségolène Royal

No decorrer dos tempos, toda a construção sofre modificações derivadas da sua utilização. Deste processo, as construções adquirem como testemunhos dos acontecimentos passados e do desenrolar da evolução social, um novo significado histórico a que se junta a sua beleza formal intrínseca. As partes acrescentadas podem ter o seu valor estético, merecendo assim ser conservadas, mesmo no caso de se sobreporem a uma estrutura de uma época ou de um estilo diferentes.

Quando uma construção já não responde ao fim para o qual foi construída, a sua conservação deixa de ser uma necessidade prática para se tornar uma tarefa puramente cultural. Mesmo que se quisesse não se poderia salvaguardar todas as realizações do passado. O aparecimento de novos condicionalismos, o progresso tecnológico e as modificações materiais dele derivados, conduzem inevitavelmente à destruição ou abandono de grande parte desse património.

Tomando como referência os conceitos gerais expostos, a intervenção para a conservação e salvaguarda do património construído, deverá manter a unidade entre os valores humanos, culturais, arquitectónicos e paisagísticos, que permitirão dar continuidade às memórias que fazem parte do imaginário contemporâneo.

Assim, o conhecer e compreender o monumento, a sua identidade histórica, material e cultural, a sua envolvente física e social, bem como as suas condicionantes actuais, é imprescindível para programar intervir sobre esse mesmo monumento. Conhecê-lo até onde seja preciso e até onde seja possível nesse momento do processo, já que no seguimento da própria intervenção, nos trará mais dados e informações.

(...) A conservação do Património é realizada segundo o projecto de restauro, que inclui a estratégia para a sua conservação a longo prazo. Este "projecto de restauro" deverá basear-se numa série de opções técnicas apropriadas e preparadas num processo cognitivo que integre a recolha de informação e o conhecimento profundo do edifício e ou a sua localização. Este processo inclui o estudo estrutural, análises gráficas e de volumetria bem como a identificação do seu significado histórico e sociocultural (...)

Carta de Cracóvia 2000
Princípios para a conservação e restauro
do Património construído

Essa necessidade de conhecimento e a prioridade deste mesmo conhecimento no tempo em que se programa intervir (excepto em casos de extrema urgência) não parecem já oferecer dúvidas, pelo menos entre os profissionais sensatos. Convém, contudo, determinar o alcance dessa *leitura*, assim como a sua natureza e a forma como utilizar essa informação nas etapas posteriores.

Esse conhecimento deverá desenvolver-se em três estádios de análise — histórico, material e sociológico. Apesar do paralelismo que reside nestes três estádios com os três aspectos inerentes ao monumento — documental, arquitectónico e significativo, não existe entre eles uma correspondência unívoca. Cada estado de análise, e de acordo com a sua óptica, deverá proceder á leitura dos três aspectos do monumento. Trata-se, portanto, de uma análise complexa e extensa e que envolve uma problemática muito diversa, que deve ser abordada de forma coordenada e simultânea, tendo em consideração as inter-relações intrínsecas existentes dos diversos aspectos e estádios, tantos nos que se relacionam com os seus objectivos, como nos referentes às técnicas e métodos que lhe são próprios.

Os conhecimentos a adquirir previamente à intervenção devem ser precisos. Não se deve actuar tendo por base o total desconhecimento do objecto, como tão pouco será imprescindível ter um conhecimento exaustivo do mesmo. A natureza, extensão e profundidade desses conhecimentos deverão ser determinados em função do interesse certo ou presumível e, naturalmente, em função dos recursos disponíveis ou racionalmente exigíveis. A investigação prévia não deverá esgotar os recursos previstos e disponibilizados e que por isso venha a bloquear depois a abordagem a outras soluções.

De salientar que o interesse da informação fornecida pelos estudos transcende provavelmente a sua utilidade imediata para a intervenção a realizar, em benefício de conhecimentos mais elaborados ou de âmbito mais extenso, contributo fundamental para a formação de um banco de dados de inventariação que poderá vir a ser de utilidade em futuras intervenções. Em todos estes casos, considera-se que a conservação e salvaguarda de um monumento, pressupõe uma tempo essencial para ser obtida essa informação, tendo em consideração os recursos económicos, técnicos e profissionais que são disponibilizados, difíceis de conseguir em outras circunstâncias.

Em qualquer caso, será conveniente para conjugar esforços e gastos, que numa primeira fase seja materializada uma base de informação que disponibilize o conhecimento sobre a natureza e problemática do monumento, baseado no reconhecimento directo e no estudo e análise das fontes documentais já disponíveis, bem como na reflexão sobre as circunstâncias que motivaram a necessidade de intervir.

De facto, é pelo diálogo entre civilizações e culturas que se fomentam e sedimentam — na especificidade de cada povo — crenças, valores culturais, sociais e científicos, enriquecendo-se cada participante e todos, na sua globalidade, pela partilha de saberes e de experiências.

Para proteger esse património que já nos foi legado por gerações anteriores e que devemos conservá-lo e legá-lo às gerações vindouras — devemos unir esforços no sentido de melhor o conhecer para melhor o preservar, sendo tarefa fundamental do Estado «(...) *proteger e valorizar o património cultural como*

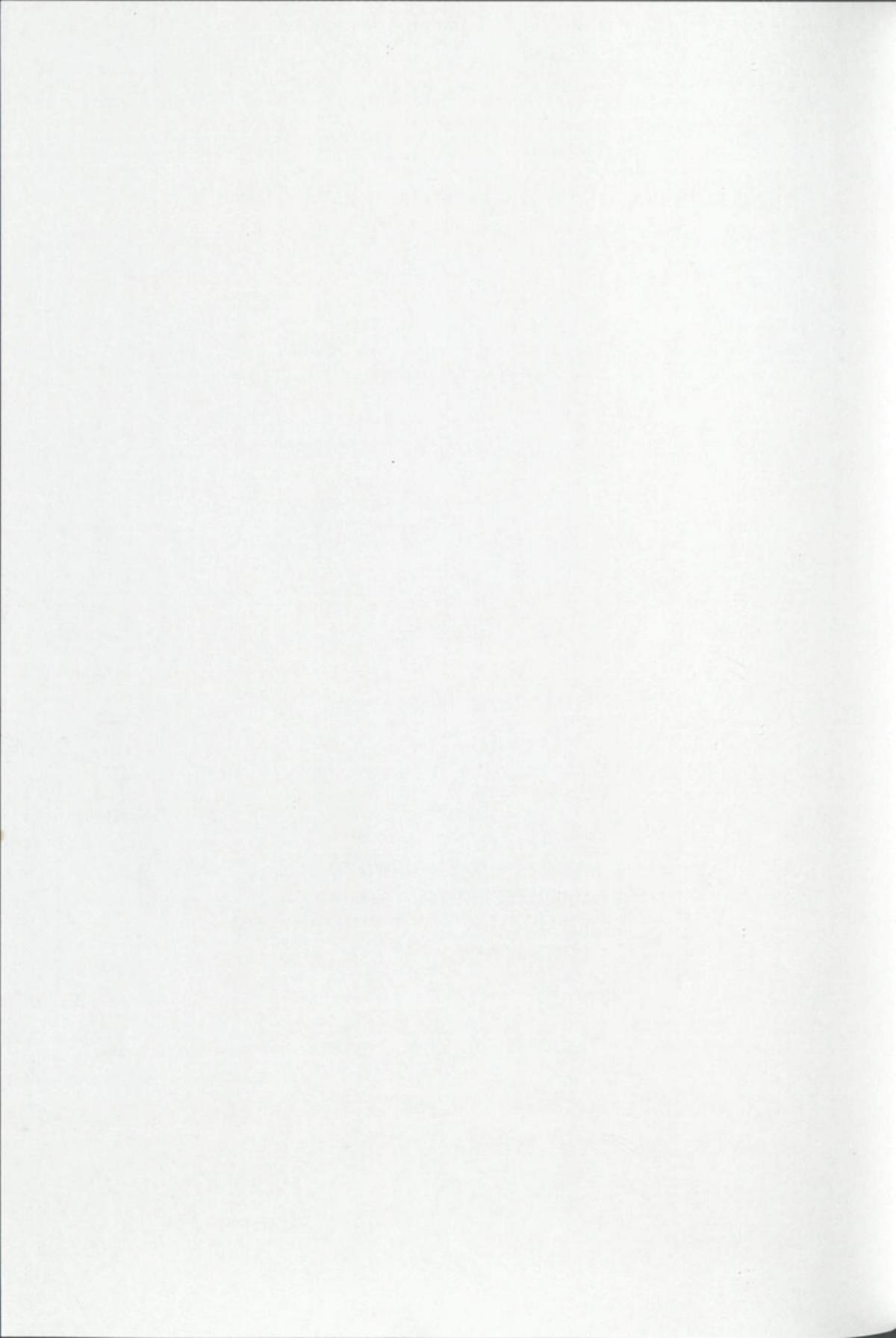
instrumento primacial de realização da dignidade da pessoa humana, objecto de direitos fundamentais, meio ao serviço da democratização da cultura e esteio da independência e da identidade nacionais (...)», conforme o definido pela legislação do Estado Português através da Lei n.º 107/2001 de 8 de Setembro, que define *As bases da política e do regime de protecção e valorização do Património Cultural*.

Por último e para terminar, gostaria de deixar um parágrafo da autoria de *Jeroni Martorell* (1913) e que diz o seguinte:

«Lo ideal sería no tener que restaurar sino conservar los edificios com cuidado constante. Pero se hai que añadir algo a un monumento, la mescla de los estilos es un signo de vida».



WORKSHOP — ENSINO DA
HIGROTÉRMICA, PATOLOGIA E
REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM
PORTUGAL



ENSINO DA HIGROTÉRMICA, PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PORTUGAL

FCTUC

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

FCTUNL

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

UA

Universidade de Aveiro

UBI

Universidade da Beira Interior

UTAD

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

ESTT-IPT

Instituto Politécnico de Tomar

ESTV-IPV

Instituto Politécnico de Viseu

IP

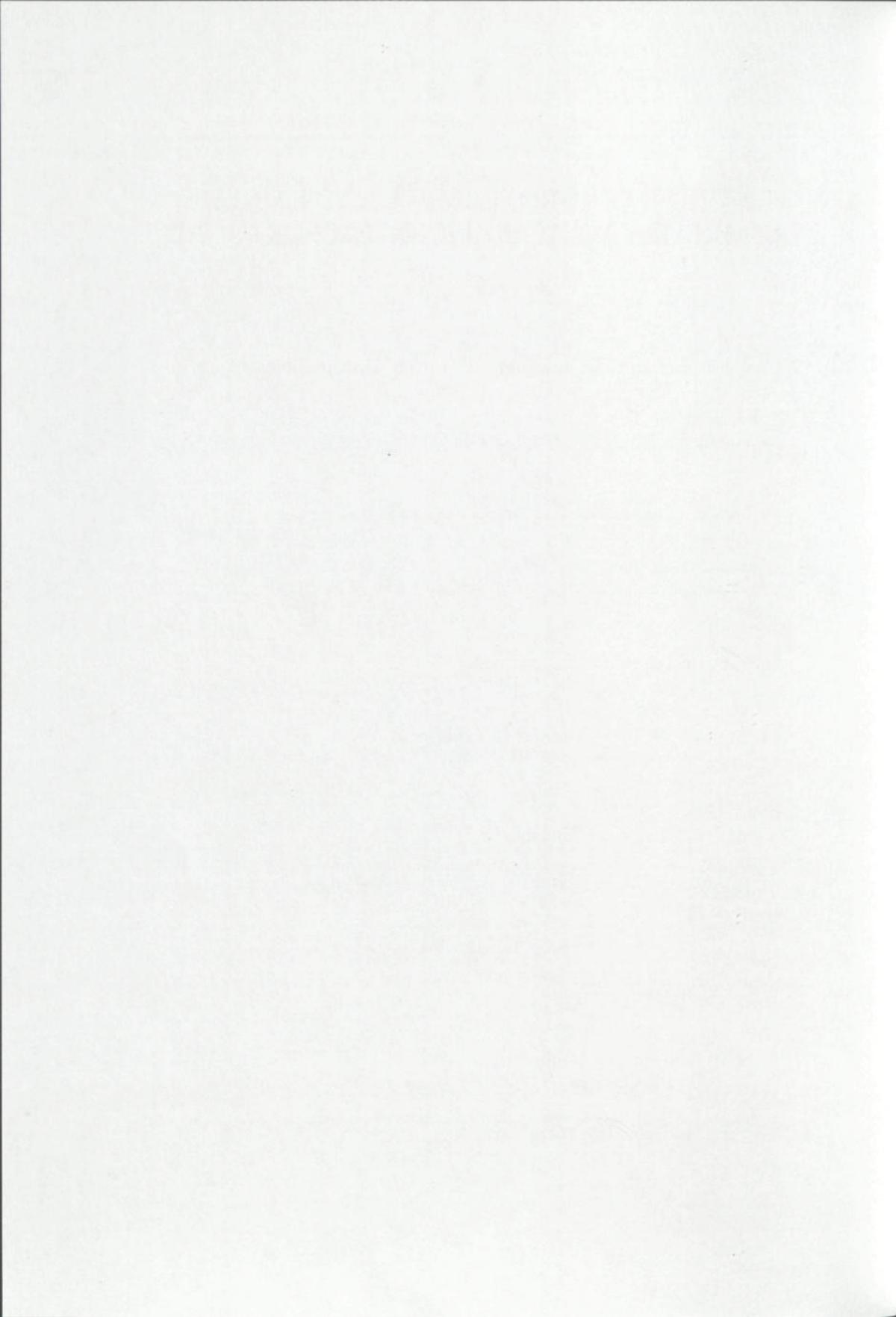
Instituto Piaget de Mirandela

IPA

Instituto Politécnico Autónomo

ISEP-IPP

Instituto Politécnico do Porto





Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES 4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsáveis: Vitor Abrantes e J. A. Raimundo Mendes da Silva

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Fundações: tipos correntes; impermeabilizações e drenagem.▪ Paredes: humidade; fissuração; revestimentos.▪ Coberturas planas: tipos; materiais de impermeabilização.▪ Pavimentos: classificação UPEC; revestimentos.▪ Janelas e protecções: tipos; qualificação. |
|----------|--|

TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO DE PATOLOGIAS NÃO ESTRUTURAIS 5.º Ano 2.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: J. A. Raimundo Mendes da Silva

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Exigências funcionais, regulamentares e normativas.▪ Agentes e mecanismos gerais de degradação de materiais, elementos construtivos e ligações.▪ Etapas de degradação dos edifícios e critérios de intervenção.▪ Anomalias não-estruturais: principais manifestações; patologias dos elementos construtivos e das instalações.▪ Princípios gerais de diagnóstico: metodologias; ferramentas analíticas e numéricas; recursos informáticos; técnicas de diagnóstico.▪ Intervenção: eliminação ou ocultação das anomalias; substituição de elementos e materiais afectados; protecção contra agentes agressivos; eliminação das causas; reforço das características funcionais. |
|----------|--|

FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES 3.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana
Responsáveis: Vitor Abrantes e António Tadeu

- | | |
|----------|---|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Exigências funcionais e regulamentares: conforto e economia.▪ Comportamento termo-higrométrico. Transmissão de calor. Caracterização climática. Exigências de conforto térmico. Caracterização térmica de materiais e elementos de construção. Protecção solar de envidraçados. Regras de qualidade térmica. Regulamentação.▪ Ventilação Natural. Aspectos gerais. Ventilação das habitações. |
|----------|---|



Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

TÉRMICA DE EDIFÍCIOS

Mestrado em Ciências da Construção

Responsável: Helena Póvoas Corvacho

Programa

- As exigências na térmica de edifícios.
- Bases teóricas para o estudo do comportamento térmico dos edifícios.
- O contexto e as suas condicionantes.
- Definição do desempenho – recomendações, regras de qualidade, regulamentação. Projecto de térmica.
- Apresentação de um trabalho de investigação no domínio em estudo: o problema das pontes térmicas.

TECNOLOGIA DE FACHADAS E COBERTURAS

Mestrado em Ciências da Construção

Responsável: Vasco Peixoto de Freitas

Programa

- Metodologia exigencial.
- Evolução na concepção dos elementos opacos das fachadas dos edifícios. Fachadas ligeiras. Coberturas.
- Vãos envidraçados. Protecções solares.
- Revestimentos. Sistemas de pintura. Juntas e mastiques.
- Tecnologia de isolamento térmico.
- Humidade na construção. Ventilação de edifícios.
- Patologia da construção. Reabilitação de edifícios.

INSPECÇÃO E REABILITAÇÃO DE CONSTRUÇÕES

Mestrado em Ciências da Construção

Responsáveis: Fernando Branco e Jorge de Brito

Programa

- Concepção e construção com durabilidade.
- Patologias em construções em alvenaria, metálicas e em betão.
- Sistemas de classificação de anomalias.
- Ensaio in-situ. Caracterização de materiais em laboratório.
- Sistemas e tipos de inspecção.
- Materiais, metodologia e técnicas de reparação.
- Análise económica e elaboração de listas de trabalhos em função da sua prioridade.

Polo II - Pinhal de Marrocos 3030-290 COIMBRA Tel.: 239 797 204 Fax: 239 797 190
<http://www.fct.uc.pt>



Secção Materiais e Tecnologias da Construção
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa

TECNOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO 4.º Ano 7.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Fernando M. A. Henriques

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Coberturas inclinadas: tipos, soluções, pontos singulares.▪ Coberturas planas: classificação, materiais e sistemas de impermeabilização tradicionais e não-tradicionais.▪ Coberturas de grande vão.▪ Drenagem e impermeabilização de caves: protecção contra águas freáticas, impermeabilização de paredes e pavimentos enterrados. |
|----------|--|

TECNOLOGIAS DE REVESTIMENTOS 4.º Ano 8.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: Fernando M. A. Henriques

- | | |
|----------|---|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Revestimentos de piso: classificações dos locais e dos revestimentos, classificação UPEC e Gws.▪ Revestimentos de parede: classificação geral, rebocos tradicionais, tipos e características das argamassas, condições de aplicação em obra; rebocos não-tradicionais, revestimentos de ligantes mistos, com base em gesso, de ligante sintético para exteriores; revestimentos cerâmicos e de pedra.▪ Revestimentos de impermeabilização: tipos de materiais e sistemas tradicionais e não-tradicionais; avaliação dos sistemas mais correntes.▪ Revestimentos por pintura. |
|----------|---|

FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES 4.º Ano 8.º Semestre 6 horas/semana
Responsável: Fernando M. A. Henriques

- | | |
|----------|---|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Introdução às exigências funcionais: níveis de formulação e relação com o processo de construção.▪ Comportamento térmico de edifícios: transferências de calor, comportamento térmico de edifícios, tecnologias de isolamento térmico de edificações, noção de conforto.▪ Comportamento higratérmico: noções gerais sobre o ar húmido, condensações superficiais e internas.▪ Ventilação natural de edifícios: critérios de ventilação, ventilação de edifícios em condições de Inverno e de Verão.▪ Introdução à compreensão do clima de Portugal. |
|----------|---|



Secção Materiais e Tecnologias da Construção
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa

EDIFICAÇÕES

5.º Ano 9.º Semestre 4 horas/semana

Responsável: Fernando M. A. Henriques

Programa

- Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios.
- Patologia das edificações.
- Mecanismos de ocorrência de patologias.
- Tipificação das patologias mais correntes.
- Caracterização do parque habitacional.
- Patologias devidas à humidade.
- Formas de manifestação.
- Equipamentos de apoio.
- Método de diagnóstico e soluções de reparação.

Quinta da Torre 2825-114 MONTE DA CAPARICA Tel.: 21 294 83 00 Fax: 21 295 44 61
<http://www.fct.unl.pt>



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

Secção de Construções Civas
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES 3.º Ano/ 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Vitor Abrantes Almeida

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Comportamento termohigrotérmico. Transmissão de calor.▪ Caracterização térmica de materiais e elementos da construção.▪ Protecção solar de vãos envidraçados.▪ Caracterização climática.▪ Características de comportamento térmico.▪ Exigências de conforto térmico e regras de qualidade térmica.▪ Ventilação Natural.
----------	---

TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES 3.º Ano/ 2.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Vitor Abrantes Almeida

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Fissuração de paredes de alvenaria.▪ Humidades em paredes.▪ Coberturas. Revestimento descontínuo. Coberturas e terraços.▪ Janelas. Protecção solar de vãos envidraçados.▪ Qualidade na construção. Normalização e certificação de materiais e processo de construção. Regulamentação e homologação.
----------	---

TÉRMICA DE EDIFÍCIOS 5.º Ano/ 1.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: Vasco Peixoto de Freitas

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Comportamento térmico: Transmissão de calor. Exigências de conforto termo-higrométrico. Comportamento térmico de Inverno. Energia solar aplicada aos edifícios. Comportamento térmico de Verão. Insolação de edifícios.▪ Climatologia: Dados climáticos.▪ Regulamentação térmica em edifício: Normas europeias. RCCTE.▪ Tecnologias de isolamento térmico: Materiais. Certificação. Selecção técnico-económica.▪ Determinação experimental: Condutibilidade térmica. Dilatação térmica. Coeficiente de transmissão térmica. Factor solar.
----------	---

HUMIDADE E PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO 5.º Ano/ 2.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: Vasco Peixoto de Freitas

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Humidade na construção: Formas de manifestação. Mecanismos e modelos de transferência. Efeito da humidade nos materiais.
----------	--



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

Secção de Construções Civas
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto

- Humidade de condensação: Mecanismo da condensação e quantificação. Critérios de concepção da envolvente.
- Humidade ascensional: Factores condicionantes. Exigências de concepção. Técnicas de tratamento de humidade ascensional.
- Humidade de infiltração.
- Propriedades hígricas de materiais de construção.
- Diagnóstico de situações de ocorrência de humidade.
- Ventilação natural de edifícios e conforto. Fundamentos. Sistemas e exigências em vários países. Recomendações e dispositivos.
- Patologia da construção. Intervenientes e determinação de responsabilidades. Patologias de coberturas, fachadas e pavimentos.
- Reabilitação de edifícios. Metodologia para a elaboração de projectos de reabilitação. Tecnologias de reabilitação de edifícios.

TECNOLOGIAS DE FACHADAS

Mestrado em Construção de Edifícios

Responsável: Vasco Peixoto de Freitas

Programa

- Metodologia exigencial. Evolução na concepção dos elementos opacos das fachadas.
- Vãos envidraçados; Fachadas ligeiras; Protecções solares.
- Revestimentos; Juntas e mastiques; Pinturas.
- Tecnologias de isolamento térmico.
- Humidade na construção. Ventilação de edifícios. Patologia da construção. Reabilitação de edifícios.

COMPORTAMENTO TÉRMICO DE EDIFÍCIOS

Mestrado em Construção de Edifícios

Responsável: Helena Póvoas Corvacho

Programa

- As exigências na térmica de edifícios. Bases teóricas para o estudo do comportamento térmico de edifícios. Transmissão de calor.
- Comportamento térmico de edifícios em regime variável.
- Comportamento térmico de edifícios em regime permanente.
- Térmica de Inverno. Térmica de Verão.
- O contexto e as suas condicionantes. Definição do desempenho.
- Recomendações, regras de qualidade, regulamentação.
- Problema das pontes térmicas.

Rua Dr. Roberto Frias 4200-465 PORTO Tel. e Fax: 22 508 1940 E-mail: construc@fe.up.pt
[http://sifeup.fe.up.pt/sifeup/WEB_DEPS\\$ECCAO.FormView?P_SIGLA4=SCC](http://sifeup.fe.up.pt/sifeup/WEB_DEPS$ECCAO.FormView?P_SIGLA4=SCC)



Secção Autónoma de Engenharia Civil
Universidade de Aveiro

FÍSICA DE EDIFÍCIOS 4.º Ano 1.º Semestre 4 horas/semana
Responsáveis: Romeu Vicente e Fernanda Rodrigues
<http://www.civil.ua.pt>

Programa

- Exigências funcionais e regulamentares.
- Comportamento termohigrométrico.
- Ventilação natural.
- Geometria de insolação.

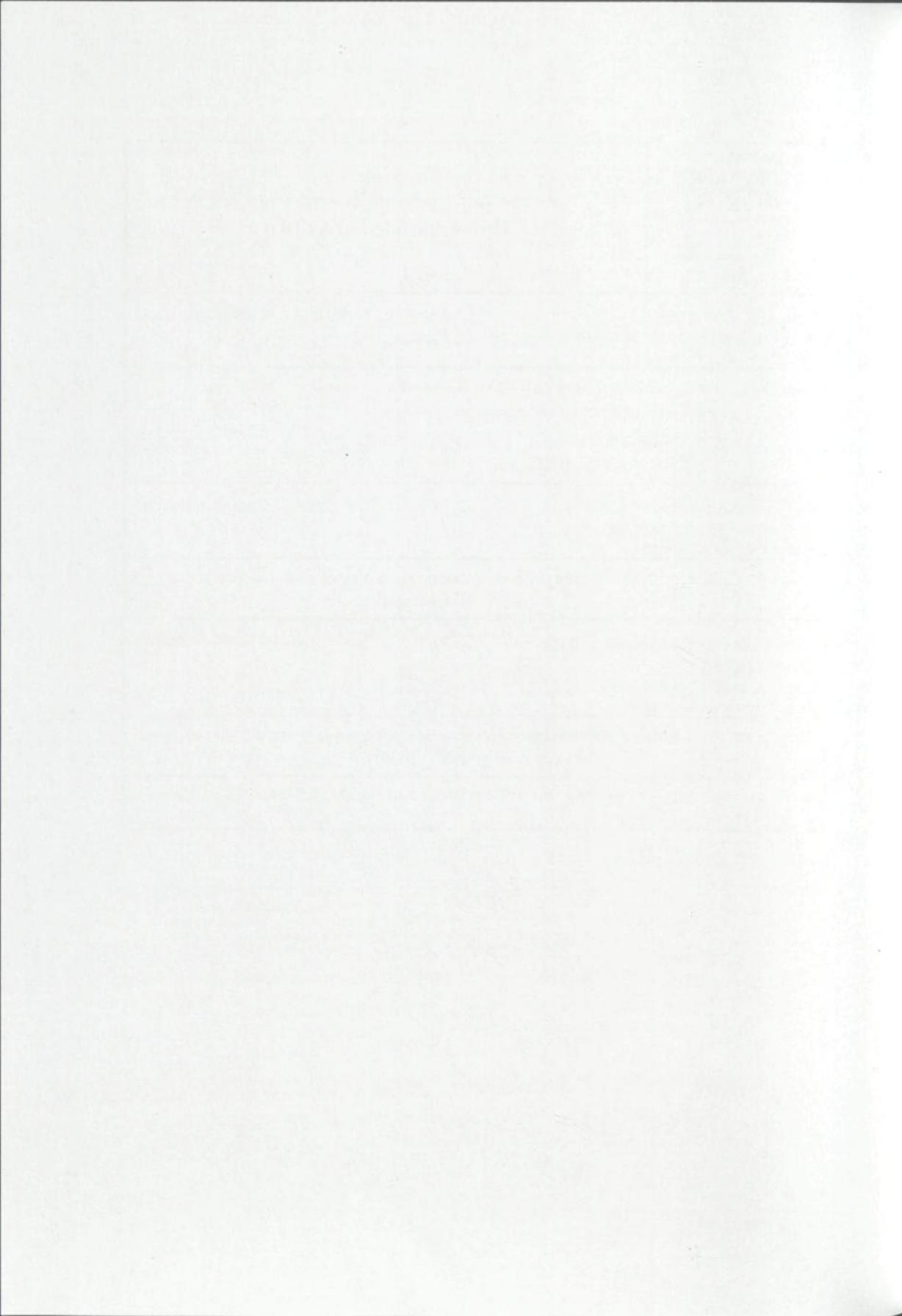
PATOLOGIAS DAS CONSTRUÇÕES 5.º Ano 1.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: não definido
<http://www.civil.ua.pt>

Programa Nota: disciplina a ser leccionada com o novo currículo do curso (2003/2004)

CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES 5.º Ano 2.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: não definido
<http://www.civil.ua.pt>

Programa Nota: disciplina a ser leccionada com o novo currículo do curso (2003/2004)

Campus Universitário de Santiago 3810-193 AVEIRO Tel.: 234 370 049 Fax: 234 370 094
<http://www.civil.ua.pt>





Grupo de Construção
Departamento de Engenharia Civil
Universidade da Beira Interior

CONSTRUÇÕES CIVIS II 4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: J. P. de Castro Gomes

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Ambiente interno em edifícios.▪ Transmissão de calor em edifícios.▪ Humidade em edifícios. |
|----------|--|

PATOLOGIA E CONSERVAÇÃO DE EDIFÍCIOS 5.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: J. P. de Castro Gomes

- | | |
|----------|---|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Patologias comuns da construção: introdução.▪ Métodos de inspeção e diagnóstico de edifícios.▪ Anomalias não estruturais em edifícios.▪ Conservação do património histórico. |
|----------|---|

CONSTRUÇÕES CIVIS I 3.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Luíz A. Pereira de Oliveira

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Regulamentos da construção.▪ Construção de coberturas típicas de edifícios.▪ Revestimentos e impermeabilizações. |
|----------|--|

DURABILIDADE E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES Mestrado em Engenharia Civil – Construção
Responsável: J. P. de Castro Gomes

- | | |
|----------|---|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Problemas de durabilidade do betão: prevenção e reabilitação.▪ Comportamento higrotérmico da envolvente do edifício – patologias e soluções de reparação.▪ Relações entre diferentes tipologias de edifícios e espaços urbanos, conforto ambiental e soluções de revestimentos.▪ Patologia não estrutural de edifícios – estudo de casos práticos. |
|----------|---|



Grupo de Construção
Departamento de Engenharia Civil
Universidade da Beira Interior

CONSERVAÇÃO DO PATRIMÓNIO
ARQUITECTÓNICO

Mestrado em Engenharia Civil – Construção

Responsável: Michael Mathias

Programa

- Evolução das teorias de conservação no séc. XIX.
- História do restauro em Portugal.
- Convénios e cartas internacionais, legislação e instituições nacionais.
- Conservação do património e ordenamento do território.

Convento de Santo António 6201-001 COVILHÃ Tel.: 275 31 97 00 Fax: 275 31 90 57
<http://www.ubi.pt>



FÍSICA DOS EDIFÍCIOS I 4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Anabela Correia de Paiva
<http://www.utad.pt/~spereira/fei>

- | | |
|----------|---|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Avaliação da qualidade de edifícios.▪ Comportamento térmico dos edifícios.▪ Humidade na construção.▪ Patologias da construção. |
|----------|---|

FÍSICA DOS EDIFÍCIOS II 4.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Anabela Correia de Paiva

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Ventilação natural em edifícios.▪ Insolação de edifícios. |
|----------|--|

PROCESSOS GERAIS DE CONSTRUÇÃO 4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: José Barbosa Vieira

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Rebaixamento do nível freático.▪ Drenagem e impermeabilização.▪ Revestimentos de paredes e de pisos. |
|----------|--|

SEMINÁRIO DE CONSTRUÇÕES CIVIS 5.º Ano 2.º Semestre 3 horas/semana
Responsável: José Barbosa Vieira

- | | |
|----------|--|
| Programa | <ul style="list-style-type: none">▪ Ventilação de edifícios (natural e forçada).▪ Pormenores construtivos:<ul style="list-style-type: none">- Paredes exteriores- Paredes interiores- Tectos interiores, estuque, etc.- Caixilharias |
|----------|--|

UNIVERSIDADE
DE TRÁS-OS-MONTES
E ALTO ALENQUER

utad



Engenharia Civil
Departamento das Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS 5.º Ano 2.º Semestre 3 horas/semana

Responsáveis: José Barbosa Vieira / Eunice Salavessa

Programa

- O enquadramento legal e financeiro da conservação e reabilitação de edifícios.
- Apontamentos sobre a experiência portuguesa.
- Evolução dos conceitos de salvaguarda e conservação do património arquitectónico.
- Diagnóstico e terapia das patologias.
- Tecnologia de conservação e reabilitação de edifícios contemporâneos.
- Conservação e reabilitação de edifícios tradicionais.
- Projecto de reabilitação de um edifício de interesse arquitectónico.

Quinta dos Prados, Apt. 202 5001 VILA REAL Codex Tel.: 259 350 000 Fax.: 259 350 356
<http://www.utad.pt>



Departamento de Engenharia Civil
Escola Superior de Tecnologia
Instituto Politécnico de Tomar

FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES 3.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Nuno França
<http://www.dec.estt.ipt.pt>

Programa

- Exigências funcionais de edifícios de habitação.
- Térmica de edifícios.

EDIFICAÇÕES 4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
Responsável: Nuno França
<http://www.dec.estt.ipt.pt>

Programa

- Gestão energético-ambiental do ambiente construído.
- Conforto térmico interior de edifícios.
- Tecnologias solar passivas de edifícios. Reabilitação térmica de edifícios usando as tecnologias solar passivas.
- Ventilação natural.
- Regulamentação térmica (RCCTE e Método 5000).

PROCESSOS GERAIS DE CONSTRUÇÃO II 3.º Ano 1.º Semestre 3 horas/semana
Responsável: M. Lurdes Belgas da Costa Reis
<http://www.dec.estt.ipt.pt>

Programa

- Paredes. Revestimentos de paredes.
- Humidade em paredes.
- Fissuração em paredes de alvenaria.
- Revestimentos de pavimentos.
- Coberturas: tipo, estrutura e revestimento.

TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES 4.º Ano 1.º Semestre 4 horas/semana
Responsável: M. Lurdes Belgas da Costa Reis
<http://www.dec.estt.ipt.pt>

Programa

- Tecnologias de impermeabilização e de isolamento térmico.
- Vãos envidraçados.



Departamento de Engenharia Civil
Escola Superior de Tecnologia
Instituto Politécnico de Tomar

CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS 5.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana

Responsável: M. Lurdes Belgas da Costa Reis

<http://www.dec.estt.ipt.pt>

Programa

- Mecanismos gerais de degradação dos materiais e elementos construtivos.
- Patologia dos materiais.
- Anomalias em elementos não estruturais, revestimentos e acabamentos.
- Princípios gerais de inspeção e diagnóstico.
- Materiais e tecnologias de reabilitação de edifícios.
- Enquadramento legal da reabilitação.
- Apresentação de casos práticos.

Quinta do Contador Estrada da Serra 2300-415 TOMAR Tel.: 249 32 8107 Fax: 249 32 8187
<http://www.dec.estt.ipt.pt>



Área de Construções Cívicas
Departamento de Engenharia Civil
Escola Superior de Tecnologia
Instituto Politécnico de Viseu

FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES 3.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana

Responsável: Manuel Pinto

<http://www.dcivil.estv.ipv.pt/dep/dcivil/Programas/3ºano/2ºsemestre/FC.html>

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Higrotérmica de edifícios:<ul style="list-style-type: none">- Transmissão de calor- Exigências de conforto termo-higrométrico- Comportamento térmico de Inverno- Comportamento térmico de Verão- Insolação de edifícios- Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios- Materiais de isolamento térmico- Tecnologias de isolamento térmico- Humidade de condensação superficial▪ Ventilação natural de edifícios:<ul style="list-style-type: none">- Ventilação natural e conforto- Fundamentos para a ventilação natural- Recomendações para ventilação natural de edifícios- Dispositivos de ventilação
----------	--

EDIFICAÇÕES 5.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana

Responsável: Sá e Cruz

<http://www.dcivil.estv.ipv.pt/dep/dcivil/Programas/5ºano/1ºsemestre/E.pdf>

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Exigências funcionais da habitação. Metodologia exigencial.▪ Paredes. Tipos. Materiais para alvenaria. Paredes de edifícios antigos. Juntas e mastiques.▪ Revestimentos de paredes:<ul style="list-style-type: none">- Exigências funcionais de revestimentos de paredes- Classificação e descrição geral dos revestimentos para paredes- Revestimentos para paramentos exteriores e interiores▪ Humidade na construção:<ul style="list-style-type: none">- Formas de manifestação da humidade- Quantificação das condensações internas (método de Glaser)
----------	--



Área de Construções Civas
Departamento de Engenharia Civil
Escola Superior de Tecnologia
Instituto Politécnico de Viseu

- Coberturas:
 - Revestimentos descontínuos de coberturas
 - Coberturas em terraço: exigências funcionais, classificação, isolamentos térmicos e sistemas de impermeabilização
 - Exemplos de sistemas, dispositivos de drenagem, juntas e ligações da cobertura
- Pavimentos:
 - Exigências funcionais de revestimentos de piso
 - Classificação funcional dos pavimentos de piso e dos locais
 - Classificação "UPEC" e "Gws"
 - Juntas em pavimentos cerâmicos
 - Perdas térmicas por paredes e pavimentos enterrados
- Conservação e reabilitação de edifícios:
 - Anomalias não estruturais. Causas das anomalias
 - Soluções de intervenção em elementos de construção não-estruturais
 - Fichas de reparação

Campus de Repeses 3504-510 VISEU Tel.: 232 480 500 Fax: 232 424 651
<http://www.dcivil.estv.ipv.pt/dep/dcivil>

Programa

- Comportamento térmico de edifícios:
 - Introdução à térmica de edifícios. A energia nos edifícios. Os edifícios como sistemas térmicos. O conforto térmico em edifícios. Balanços energéticos. As tecnologias solares passivas
 - Breves noções de propriedades térmicas dos materiais. Condutibilidade térmica, emissividade, coeficiente de absorção solar, coeficiente de transmissão, coeficiente de reflexão, coeficiente de convecção
 - Mecanismos de transferência de calor. As leis fundamentais da condução, da convecção e da radiação
 - As equações básicas da condução. A equação geral da condução. Casos particulares: Condução monodimensional em regime permanente. Coeficiente global de transferência de calor
- Cálculo das necessidades energéticas dos edifícios. Necessidades de aquecimento. Necessidades de arrefecimento.
- Legislação de térmica de edifícios. O regulamento das características de comportamento térmico de edifícios.
- Humidades:
 - Formas de manifestação de humidades
 - Psicrometria. Composição do ar. Lei de Dalton. Pressão de saturação do vapor de água. Propriedades do ar húmido. Diagramas psicrométricos
- Ventilação de edifícios. Comportamento dos isolantes em relação à água. Ventilação no interior das habitações. Tecnologias de ventilação. A produção de vapor de água e a renovação de ar interior. Critérios de concepção de edifícios face à difusão de vapor. A difusão do vapor de água através dos elementos de construção. Exigências de ventilação.



Curso de Engenharia Civil e Ordenamento do
Território
**Instituto Superior de Estudos Interculturais e
Transdisciplinares**
Instituto Piaget

**REABILITAÇÃO DE MATERIAIS E
ESTRUTURAS**
Responsável: Dinis Leitão

5.º Ano 2.º Semestre 2 horas/semana

Programa

- O contexto da reabilitação em Portugal e na Europa.
- Considerações elementares para a conservação e reabilitação.
- Aspectos económicos da reabilitação.
- Normativo europeu sobre os produtos e sistemas para a protecção e reparação de estruturas de betão.
- Diagnóstico de anomalias:
 - Tipos de diagnóstico
 - Técnicas de diagnóstico
 - Ensaio mais utilizados:
 - Ensaio destrutivos
 - Ensaio parcialmente destrutivos
 - Ensaio não destrutivos
 - Ferramentas utilizadas para diagnóstico
- Anomalias mais comuns:
 - Identificação
 - Causa do seu aparecimento
 - Medição
- Reparação de anomalias:
 - Trabalhos preparatórios
 - Técnicas de reparação, reforço e protecção

Av. 25 de Abril

5370-202 MIRANDELA

Tel.: 278 20 01 50

Fax: 278 26 52 03

<http://www.ipiaget.pt>

Instituto Politécnico Autónomo

EDIFICAÇÕES I

3.º Ano 2.º Semestre 4 horas/semana

Responsável: Jorge Corte-Real Andrade

Programa

- Exigências funcionais dos edifícios. Regras de qualidade a satisfazer pelas construções.
- Térmica dos edifícios: Noções gerais. Comportamento térmico dos edifícios.
- Térmica dos edifícios: Exigências de conforto térmico. Regras de qualidade.
- Humidades nos edifícios.
- Higrotérmica dos edifícios. Soluções construtivas.
- Regras de qualidade higrotérmica.
- Instalações de ventilação natural e ventilação mecânica. Exigências a satisfazer. Exemplos de soluções.

EDIFICAÇÕES II

4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana

Responsável: Jorge Corte-Real Andrade

Programa

- Complementos sobre exigências funcionais dos edifícios: Qualidade do ar e ventilação natural. Estratégias e critérios de dimensionamento.
- Regulamentação e normalização na construção. A actividade de normalização e o seu papel na industrialização da construção.
- Verificação da satisfação das exigências de economia e exigências de durabilidade: critérios de definição e quantificação.
- Influência das exigências de habitabilidade e durabilidade no custo global da construção.
- Comportamento patológico por deterioração prematura de elementos, revestimentos e componentes da construção de edifícios.
- Conservação periódica e reparação de anomalias.
- Introdução à recuperação de edifícios degradados: medidas cautelares.

	Instituto Politécnico Autónomo
--	---------------------------------------

CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS	4.º Ano 1.º Semestre 5 horas/semana
--	-------------------------------------

Responsável: Aníbal Alves Flambó

Programa	<ul style="list-style-type: none">▪ Caracterização do património edificado.▪ Principais causas das patologias dos edifícios – detecção e caracterização.▪ Materiais e tecnologias de reabilitação de edifícios – materiais e técnicas tradicionais. Sistemas e equipamentos adequados e específicos à tecnologia da reabilitação.▪ Enquadramento legal da reabilitação.▪ Intervenções de reabilitação e de renovação.▪ Organização do projecto de reabilitação. Previsão de custos e orçamentação.
----------	---

Rua de Xabregas, 20 - 1º

1900-440 LISBOA

Tel.: 21 861 03 60

Fax: 21 868 60 14

<http://www.ipa.univ.pt>



EDIFÍCIOS II

3.º Ano 1.º Semestre 4 horas/semana

Responsável: Teresa Carvalho Neto

Programa

- Comportamento termo-higrométrico: transmissão de calor e caracterização climática.
- Exigências de conforto térmico.
- Caracterização térmica dos materiais.
- Técnicas de isolamento e impermeabilização.
- Legislação.

FÍSICA DAS CONSTRUÇÕES

4.º Ano 2.º Semestre 6 horas/semana

Responsável: Teresa Carvalho Neto

Programa

- Comportamento térmico de edifícios: Comportamento térmico de Inverno: perdas lineares; perdas pela envolvente exterior e interior; perdas através de elementos enterrados; perdas por renovação de ar; ganhos internos e solares. Comportamento térmico de Verão: radiação solar; ganhos de calor pela envolvente; inércia térmica; protecção solar dos envidraçados. RCCTE. Níveis de qualidade térmica e índices de desempenho térmico. Materiais e tecnologias de isolamento térmico.
- Humidade na construção. Mecanismos fundamentais de transferência de humidade. Humidade de condensação: causas; quantificação das condensações superficiais e internas.
- Ventilação natural de edifícios: ventilação/conforto; ventilação/humidade de condensação. Fundamentos da ventilação natural. Ventilação de edifícios de habitação: Inverno/Verão; ventilação por sectores/ventilação conjunta; sistemas de ventilação. Dispositivos de ventilação.

CONSERVAÇÃO E REABILITAÇÃO

5.º Ano 2.º Semestre 5 horas/semana

Responsável: Rui Pessanha Taborda

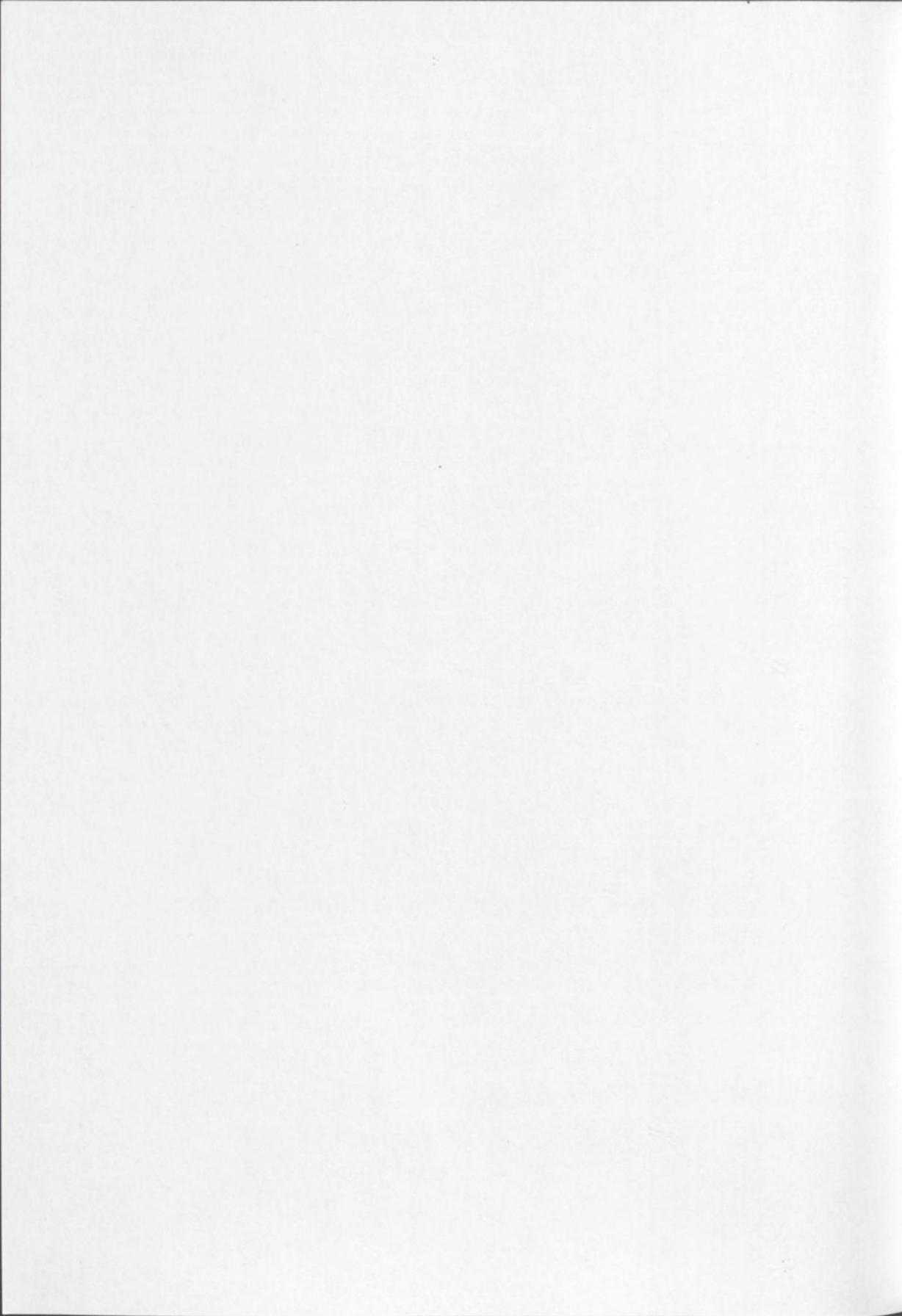
Programa

- Comportamento do edifício em serviço. Factores de degradação e vida útil do edifício. Exigências funcionais. Insatisfação funcional.
- Aspectos culturais, sociais e económicos associados à conservação e reabilitação do parque edificado e à reabilitação urbana.
- Manutenção/conservação do edifício. Caracterização, estratégia, metodologia e tecnologia das respectivas intervenções.
- Reabilitação dos edifícios. Levantamento, identificação e diagnóstico de potenciais anomalias patológicas do edifício: caracterização, estratégia, metodologia e tecnologia de intervenção.
- Legislação em vigor. Financiamento.
- Visitas técnicas e análise crítica a intervenções de reabilitação de envolventes de edifícios.
- Apresentações técnico-comerciais de materiais, equipamentos e tecnologias aplicadas a intervenções de conservação e reabilitação.

Rua Dr. A. Bernardino de Almeida, 431 4200-072 PORTO Tel.: 22 834 0500 Fax: 22 832 1159
<http://www.isep.ipp.pt>



WORKSHOP — POTENCIALIDADES
LABORATORIAIS NO DOMÍNIO DA
HIGROTÉRMICA EM PORTUGAL



POTENCIALIDADES LABORATORIAIS NO DOMÍNIO DA HIGROTÉRMICA EM PORTUGAL

CTVC

Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

FCTUNL

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LNEC

Laboratório Nacional de Engenharia Civil



CTCV
MEDICÃO
E ENSAIO



Laboratório de Ensaio de Produtos – LEP
Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
Medição e Ensaio

Ensaio	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Absorção de água por capilaridade	$g/(m^2 \cdot s^{1/2})$	EN 772-11
Absorção de água	%	ISO 10545-3 NP-499 NP-80 UNE 67-027 UN 67-001 EN 772-8 prEN 1338 prEN1339 prEN1340
Expansão por humidade	mm/m	UNE 67-036 EN 772-14
Dilatação convencional por humidade	mm/m	ISO 10545-10
Conteúdo de humidade	%	EN 772-10
Resistência à fendilhagem	—	ISO 10545-11
Resistência ao gelo	—	ISO 10545-12 EN 539-2 UNE 67-028 EN 491 prEN 1338 prEN1339 prEN1340 prEN13748-2



CTCV
MEDICÃO
E ENSAIO



Laboratório de Ensaios de Produtos – LEP
Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro
Medição e Ensaios

Ensaios	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Permeabilidade à água	—	EN 539-1 EN 491
Resistência à penetração de humidade	—	NF P 78-451/2/6 prEN 1279-2
Determinação da condutibilidade térmica – Método "Guarded Heat Flow Meter"	W/(m·K)	ASTM C 518
Expansão térmica linear	K ⁻¹	ISO 10545-8
Resistência ao choque térmico	—	ISO 10545-9 UNE 67-001 BCR ASTM C 554 NF P 78-304 EN 12150-1
Ensaio de nevoeiro salino	—	ISO 9227 ISO 7384

Rua Coronel Veiga Simão 3020-053 COIMBRA Tel.: 239 499 200 Fax: 239 499 204
e-mail: lep@ctv.pt http:// www.ctcv.pt



Secção Materiais e Tecnologias da Construção
 Departamento de Engenharia Civil
 Faculdade de Ciências e Tecnologia
 Universidade Nova de Lisboa

Pedras Naturais e Artificiais
Características gerais

Ensaio	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Massa volúmica aparente	kg/m ³	Fe 01
Porosidade aberta	%	Fe 02
Permeabilidade ao vapor de água	kg/(m·s·Pa)	Fe 05
Absorção de água por capilaridade <ul style="list-style-type: none"> ▪ Coeficiente de absorção ▪ Água absorvida 	kg/(m ² ·s ^{1/2}) kg/m ²	Fe 05
Variações dimensionais e ponderais <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensão ▪ Massa 	mm/m %	Fe 20
Índice de secagem	—	Fe 07



Secção Materiais e Tecnologias da Construção
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa

Pedras Naturais e Artificiais
Factores de degradação

Ensaios	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Teor de água	%	Fe 03
Higroscopicidade	%	Fe 04
Análise semi-quantitativa de sais solúveis	—	Fe 09
Dosagem de sais solúveis (método da condutividade)	$\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$	Fe 10
Resistência à acção dos sulfatos (perda de massa)	%	Fe 11
Resistência à acção dos cloretos (perda de massa)	%	Fe 12
Resistência à acção dos sulfatos (método Le Chatelier-Anstett)	%	Fe 31

Fe — Fichas de Ensaio preparadas especificamente, com base em normas nacionais ou internacionais e noutra documentação disponível.

Quinta da Torre 2825-114 MONTE DA CAPARICA Tel.: 21 294 83 00 Fax: 21 295 44 61
<http://www.fct.unl.pt>



Laboratório de Física das Construções – LFC
 Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
 Departamento de Engenharia Civil
 Secção de Construções Civas

Ensaios	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Permeabilidade ao vapor de água	μ [-] δ_a [kg/(m·s·Pa)] W_p [kg/(m ² ·s·Pa)] S_d [m]	EN ISO 12572 ASTM E 96
Adsorção higroscópica (Curva higroscópica)	W(H.R.) [kg/kg]	EN 12571
Absorção de água por capilaridade	C [g/[(m ² ·s ^{1/2})]] A [kg/(m ² ·h ^{1/2})]	NP EN 1925 NF B 10-502 DIN 52617
Profundidade de penetração da água sob pressão	mm	ISO/DIS 7031
Permeabilidade à água Absorção de água sob baixa pressão – ensaio <i>in situ</i>	l/m ²	Matériaux et Constructions Vol.13 n.º75
Determinação da condutibilidade térmica Método Guard-Hot-Plate	λ [W/(m·°C)]	NP 116 prEN 12664 prEN 12667 prEN 12939 ISO 8302
Determinação da condutibilidade térmica em função do teor de água Método da sonda a choque térmico	λ [W/(m·°C)]	Cahier 2295 CSTB de 1988 n.º 294



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP



Laboratório de Física das Construções – LFC
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Civil
Secção de Construções Civas

Ensaios	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Termograma Método de infravermelhos	°C	ISO 6781 NF X 10-023
Ensaio de envelhecimento acelerado	—	DS 112

Rua Dr. Roberto Frias 4200-465 PORTO Tel.: 22 508 1478 Fax: 22 508 1940
E-mail: lfc-scc@fe.up.pt <http://www.fe.up.pt/~lfc-scc>



Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Departamento de Edifícios

Laboratório de Ensaio de Revestimentos de Paredes
(LNEC/LERevPa)

Laboratório de Ensaio de Plásticos Celulares (LNEC/LEPC)

Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Ensaio	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Permeabilidade ao vapor de água	π [kg·m·s·Pa] Λ [kg·m ² ·s·Pa] Sd [m]	EN 1015-19 DIN 52615 FE Pa 17
Absorção de água por capilaridade	C [kg/(m ² ·h ^{1/2})]	prEN 1015-18 Relatório LNEC 199/95-NCct
Permeabilidade à água sob pressão	h [mm] Redução da coluna de água	prEN 1015-21 NF T 30-701
Permeabilidade à água sob baixa pressão, com tubos de Carsten – ensaio in situ	W_a [cm ³] Volume de água absorvida [mm]	FE Pa 39 Recomendações RILEM, Test II.4
Ensaio de envelhecimento artificial acelerado	—	prEN 1015-21 Fe Pa 40 ISO 4892
Ensaio de avaliação da capacidade de impermeabilização à água	M [h] S [h] H [mV·h]	FE Pa 38
Propriedades de transmissão ao vapor de água	W [mg/(Pa·h·m ²)] Z [Pa·h·m ² /mg] δ [mg/(Pa·m·h)] μ [—] Sd [m]	NP EN 12086:1997



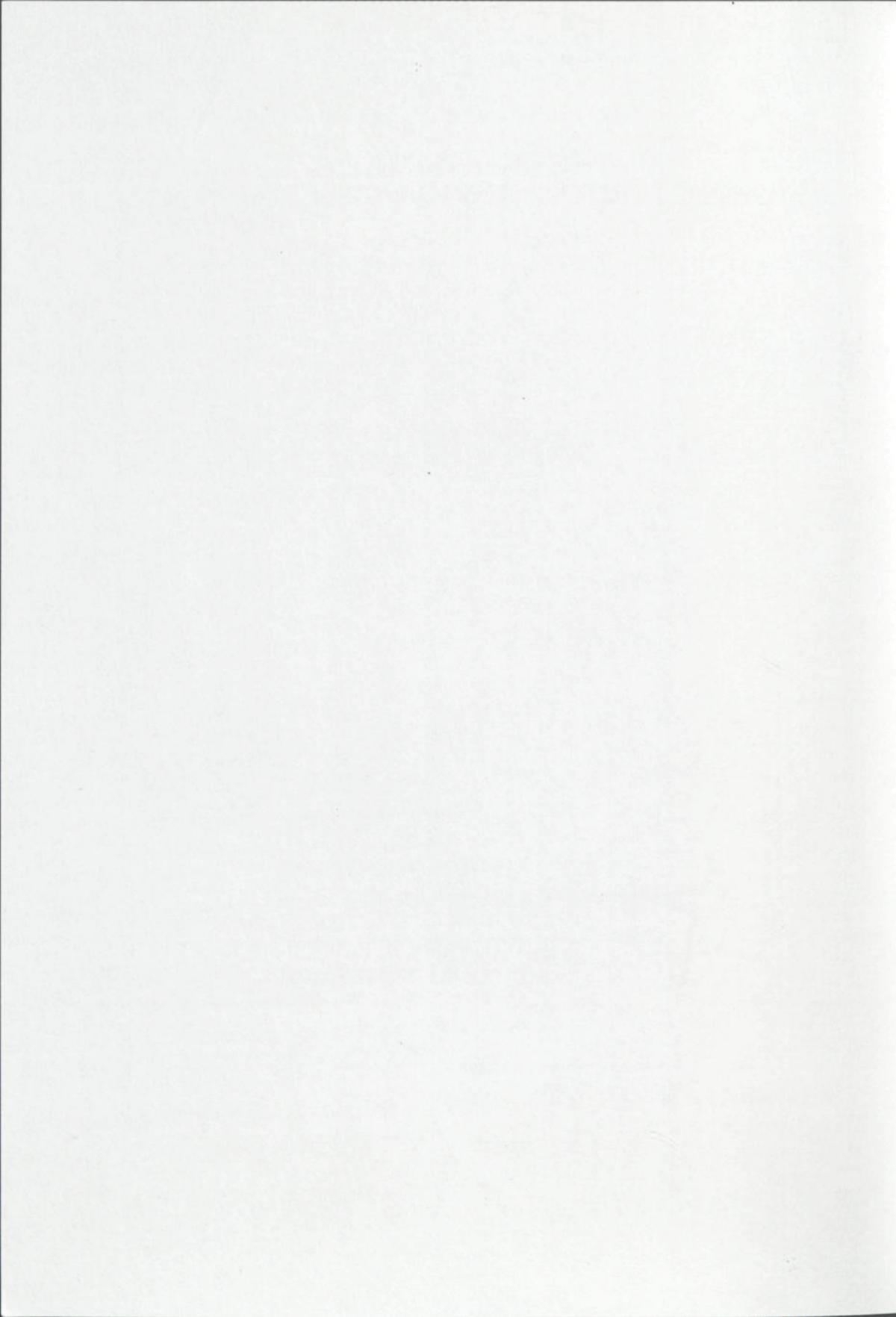
Laboratório Nacional de Engenharia Civil
Departamento de Edifícios
Laboratório de Ensaio de Revestimentos de Paredes
(LNEC/LERevPa)
Laboratório de Ensaio de Plásticos Celulares (LNEC/LEPC)
Ministério das Obras Públicas, Transportes e Habitação
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Ensaios	Grandeza	Normas (ou outras especificações de ensaio)
Absorção de água por imersão parcial (curta duração)	W_p [kg/m ²]	NP EN 1609:1998
Absorção de água por imersão total (longa duração)	W_{it} [kg/m ²]	NP EN 12087:1997
Absorção de água por difusão de vapor: ensaio de longa duração	W_{pd} [kg/m ²]	NP EN 12088:1997
Condutibilidade térmica	λ [W/(m·°C)] R [m ² ·°C/W]	EN 12667:2001
Estabilidade dimensional com a temperatura e a humidade relativa	$\Delta\epsilon_l$ [%] $\Delta\epsilon_b$ [%] $\Delta\epsilon_d$ [%]	NP EN 1604:1998

Av. do Brasil, 101 1700-066 LISBOA Tel.: 21 844 3524 Fax: 21 844 3027
e-mail: pina.santos@lnec.pt rveiga@lnec.pt http://www.lnec.pt



TESES DE DOUTORAMENTO E
DISSERTAÇÕES DE MESTRADO
CONCLUÍDAS E EM CURSO NO DOMÍNIO
DA HIGROTÉRMICA, PATOLOGIA E
REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS



TESES DE DOUTORAMENTO E DISSERTAÇÕES
DE MESTRADO CONCLUÍDAS E EM CURSO NO
DOMÍNIO DA HIGROTÉRMICA, PATOLOGIA E
REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

FCTUC

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LNEC

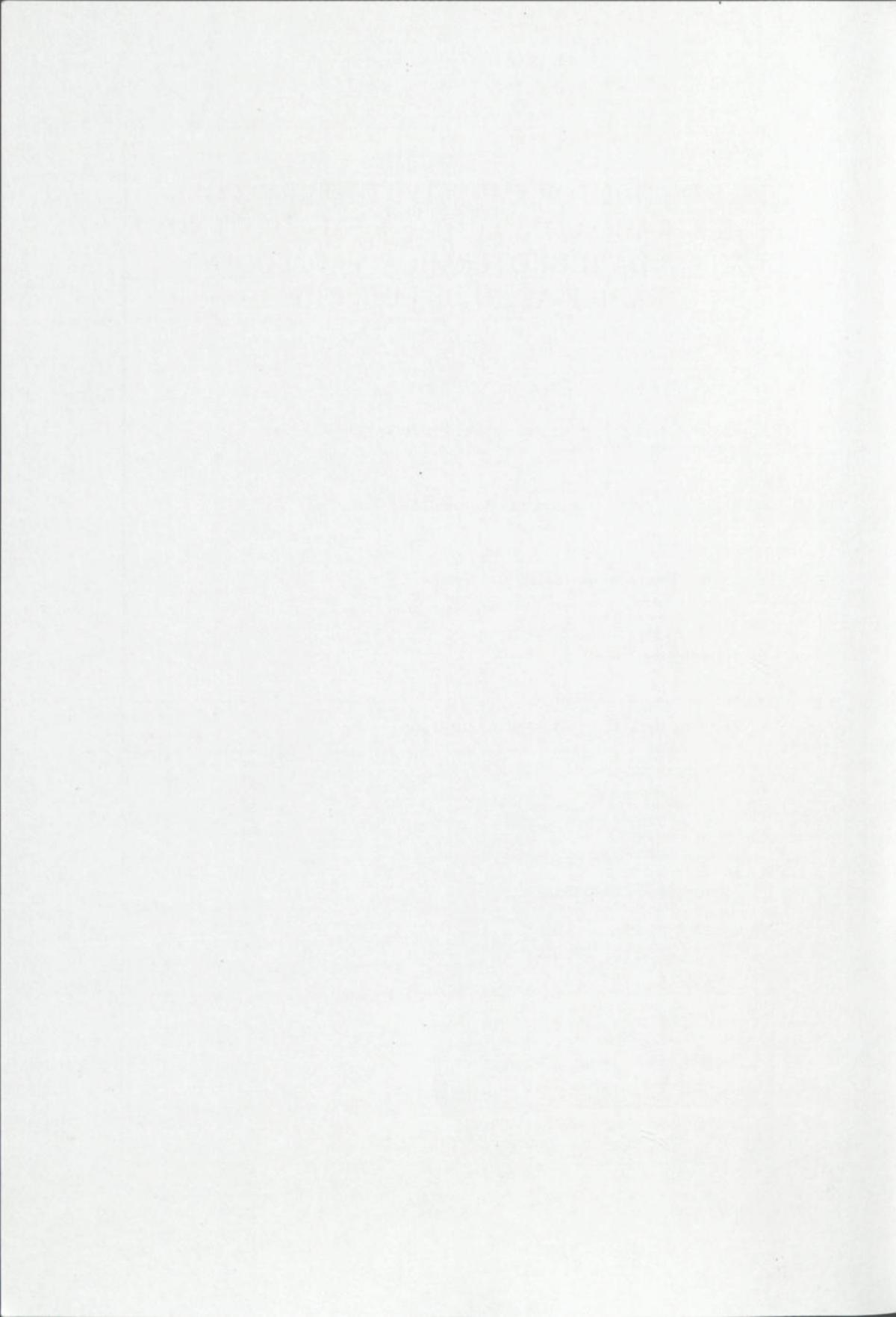
Laboratório Nacional de engenharia Civil

UM

Universidade do Minho

UTAD

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro





Laboratório de Construções
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra

Título	Autor	Orientador	Ano
DISSERTAÇÕES DE Mestrado Concluídas			
Humidade ascensional em paredes	Isabel Torres	Vasco Peixoto de Freitas	1998
Patologia das paredes de fachada. Estudo do comportamento mecânico das paredes de fachada com correcção exterior das pontes térmicas	Romeu da Silva Vicente	J. Raimundo Mendes da Silva	2002
A problemática dos detritos de construção em Portugal na perspectiva do desenvolvimento sustentável	Lilibeth Abrantes Salinas	J. Raimundo Mendes da Silva	2002
Análise do RCCTE. face à utilização de sistemas solares passivos em edifícios de habitação	Ana Teresa Vaz Ferreira Ramos	J. Raimundo Mendes da Silva	2002
DISSERTAÇÕES DE Mestrado em Curso			
Patologia das coberturas planas. Identificação, estudo e análise dos principais problemas de estanquidade à água das coberturas em terraço	Pedro de Almeida Gonçalves	J. Raimundo Mendes da Silva	
TESES DE Doutoramento Concluídas			
Fissuração das alvenarias. Estudo do comportamento das alvenarias sob acções térmicas	J. A. Raimundo Mendes da Silva	Vitor Abrantes	1999
TESES DE Doutoramento em Curso			
Humidades ascensionais – Modelização da transferência de humidade	Isabel Torres	Vasco Peixoto de Freitas	
Polo II - Pinhal de Marrocos 3030-290 COIMBRA Tel.: 239 797 204 Fax: 239 797 190 E-mail: meccc@de.uc.pt http://www.fct.uc.pt			



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

**Grupo de Física das Construções – Laboratório de
Física das Construções
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto**

Título	Autor	Orientador	Ano
DISSERTAÇÕES DE MESTRADO CONCLUÍDAS			
A influência da difusão ao vapor das pinturas no comportamento à humidade das paredes	Carlos Rafael Oliveira	Vasco Peixoto de Freitas	1997
Caracterização da capilaridade de revestimentos de fachada	José Soares Sousa	Vasco Peixoto de Freitas	1997
Metodologias para a definição exigencial de isolantes térmicos	Manuel Pinto da Silva	Vasco Peixoto de Freitas	1997
Análise de soluções construtivas face à difusão de vapor. Importância da composição e clima	Jorge Pereira Faustino	Vasco Peixoto de Freitas	1997
Propriedades higrotérmicas dos materiais de construção	João Gonçalves Lanzinha	Vasco Peixoto de Freitas	1998
Humidade ascensional em paredes	Isabel Morais Torres	Vasco Peixoto de Freitas	1998
Importância da higroscopicidade dos revestimentos interiores	Rui Gomes Castro	Vasco Peixoto de Freitas	1998
Influência da pressão exterior na embebição dos materiais de construção	Fernando Aguiar Pinto	Vasco Peixoto de Freitas	1998
Estudo experimental da secagem do betão celular	José Ferreira Castro	Vasco Peixoto de Freitas	1999
Simulação numérica da transferência de humidade em materiais de construção	Clara Pimenta do Vale	Vasco Peixoto de Freitas	1999
Diagnóstico das condições de ventilação em edifícios de habitação	Rui Carvalho Finteiro	Helena Póvoas Corvacho	1999
Modelação da variação da humidade relativa no interior dos edifícios	Nuno Monteiro Ramos	Vasco Peixoto de Freitas	2001



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

**Grupo de Física das Construções – Laboratório de
Física das Construções
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto**

Caracterização de barreiras pára-vapor e sua aplicação	Paulo da Silva Pinto	Vasco Peixoto de Freitas	2002
Humidade superficial crítica	Nuno França	Helena Póvoas Corvacho	2002
DISSERTAÇÕES DE Mestrado em Curso			
Varição dimensional da madeira devida ao seu comportamento higroscópico	Nuno Mendes Machado	Vasco Peixoto de Freitas	
Importância da termografia no estudo do comportamento higrótérmico das fachadas com isolamento térmico pelo exterior	Eva Barreira	Vasco Peixoto de Freitas	
Patologia da construção – Um catálogo	Marília Sousa	Vasco Peixoto de Freitas	
Correcção de pontes térmicas em intervenções de reabilitação	Isabel Abreu	Helena Póvoas Corvacho	
Avaliação do impacto ao nível do conforto térmico e do consumo de energia dos caudais de ventilação recomendados para edifícios residenciais	Miguel Ferreira	Helena Póvoas Corvacho	
TESES DE DOUTORAMENTO CONCLUÍDAS			
Pontes térmicas. Análise do fenómeno e proposta de soluções	Helena Póvoas Corvacho	Vitor Abrantes	1996
TESES DE DOUTORAMENTO EM CURSO			
Ventilação em edifícios de habitação	Manuel da Silva Pinto	Vasco Peixoto de Freitas	
Humidades ascensionais em construções históricas	Isabel Morais Torres	Vasco Peixoto de Freitas	
Reabilitação de edifícios – Metodologia de diagnóstico e intervenção	João Gonçalves Lanzinha	Vasco Peixoto de Freitas	

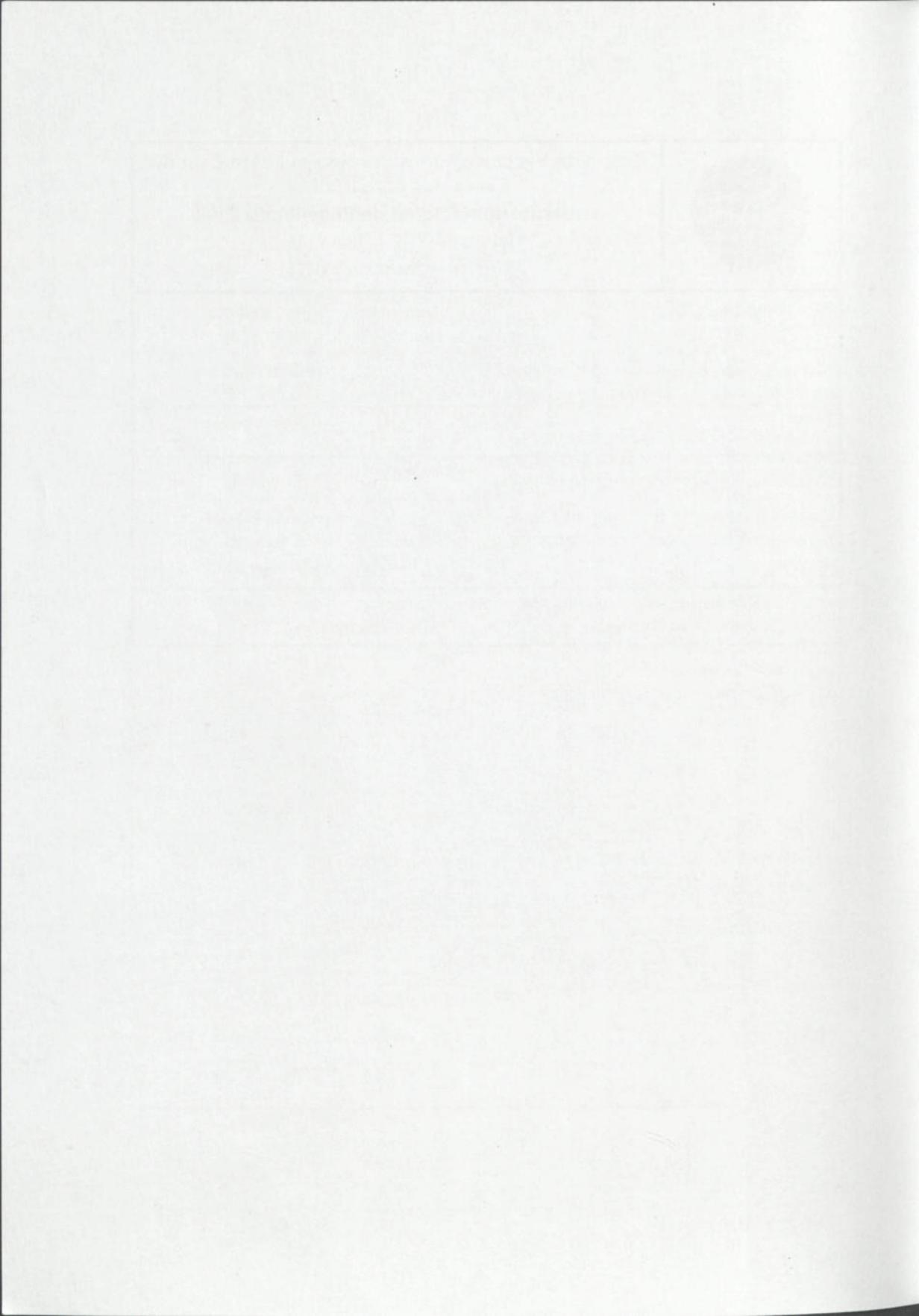


Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

FEUP

**Grupo de Física das Construções – Laboratório de
Física das Construções
Departamento de Engenharia Civil
Faculdade de Engenharia
Universidade do Porto**

Inércia higroscópica	Nuno Monteiro Ramos	Vasco Peixoto de Freitas	
Níveis óptimos de isolamento térmico da envolvente dos edifícios para Portugal e Brasil	Karin Chvatal	Helena Póvoas Corvacho (co-orientação)	
Definição e gestão de estratégias de ventilação para o arrefecimento de edifícios	José Bonetti	Helena Póvoas Corvacho	
O projecto urbano como instrumento para uma Arquitectura bioclimática	Bruno Marques	Helena Póvoas Corvacho (co-orientação)	
Rua Dr. Roberto Frias 4200-465 PORTO Tel.: 22 508 1478 Fax: 22 508 1940 E-mail: lfc-scc@fe.up.pt http://www.fe.up.pt/~lfc-scc/			





Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Título	Autor	Orientador	Instituições envolvidas	Ano
DISSERTAÇÕES DE Mestrado Concluídas				
Materiais de reparação de estruturas de betão	Maria Sofia Coelho Costa e Sousa Ribeiro	Gaspar Nero Gonçalves Arlindo Gonçalves	IST LNEC	1995
Capacidade de impermeabilização de revestimentos de paredes com base em ligantes minerais. Desenvolvimento de um método de ensaio baseado na resistência eléctrica.	Teresa Diaz Gonçalves	A. Canha da Piedade Maria do Rosário Veiga	IST LNEC	1997
Análise das características de comportamento térmico de edifícios com fachadas-cortina. Aplicação à região de Lisboa	Armando Teófilo Santos Pinto	Jorge Alberto Gil Saraiva	IST LNEC	1998
Estudo da viabilidade de EPS em sistemas de cobertura invertida	Raúl Gomes Taveira de Lima	Carlos Pina dos Santos A. Barreto Tadeu	LNEC FCTUL	2000
Estudo de blocos cerâmicos aditivados para melhoria do desempenho térmico	Cláudio Carvalho da Cruz	A. Canha da Piedade José Carvalho Lucas	IST LNEC	2000



Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Betões de elevado desempenho com agregados leves. Durabilidade e microestrutura	Manuel Gomes Vieira	José Manuel Gaspar Nero	IST	2000
		Arlindo Gonçalves	LNEC	
Estuques antigos: caracterização construtiva e análise patológica	Paulo Malta da Silveira	Maria do Rosário Veiga	LNEC	2000
		Jorge de Brito	IST	
Avaliação do desempenho térmico de protecções reflectantes aplicadas em coberturas inclinadas	Luís Manuel Cordeiro Matias	Carlos Pina dos Santos	LNEC	2001
		Pedro Martins da Silva	FC-UL	
Modelação do comportamento de revestimentos cerâmicos	Miguel Marinho Mendes Abreu	V. Azevedo Leitão	IST	2001
		José Carvalho Lucas	LNEC	
Anomalias devidas à humidade na superfície corrente de paredes	António Vilhena	J. Grandão Lopes	LNEC	2003
		Pedro Martins da Silva	FC-UL	
DISSERTAÇÕES DE Mestrado em curso				
Reabilitação de estuques antigos	Hélder Cotrim	Maria do Rosário Veiga	LNEC	
		Jorge de Brito	IST	



Laboratório Nacional de Engenharia Civil

TESES DE DOUTORAMENTO CONCLUÍDAS

Materiais granulares leves no isolamento térmico de edifícios. Estudo experimental da sua viabilidade e desempenho	Carlos Alberto Pina dos Santos	Canha da Piedade Vasconcelos Paiva	IST LNEC	1993
Ação da humidade em paredes	Fernando M. A. Henriques	Canha da Piedade Vasconcelos Paiva	IST LNEC	1993
A influência das acções térmicas no comportamento de pontes de betão armado e pré-esforçado	António Campos da Silveira	Fernando Branco Mário Neves Castanheta	IST LNEC	1996
Comportamento de argamasas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação	Maria do Rosário Veiga	Vitor Abrantes Carvalho Lucas	FEUP LNEC	1997
Estudos cromáticos nas intervenções de conservação em centros históricos	José Aguiar	António Reis Cabrita V. Ferreira Jorge	LNEC UE	1999

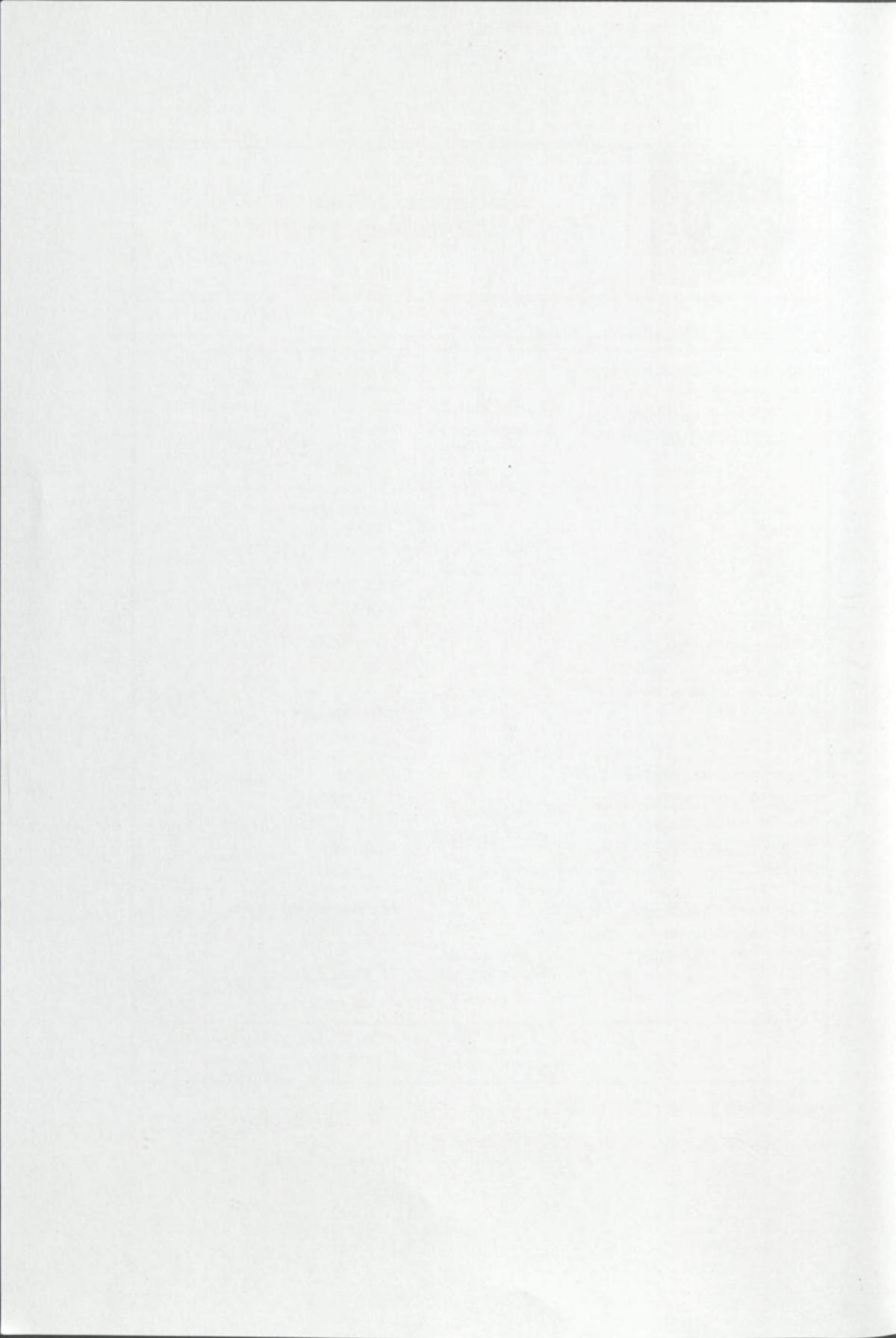
Av. do Brasil, 101 1700-066 LISBOA

e-mail: lnecl@lnecl.pt

Tel.: 21 844 3000

Fax: 21 844 3011

<http://www.lnecl.pt>





Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho

Título	Autor	Orientador	Ano
DISSERTAÇÕES DE Mestrado Concluídas			
Quantificação da inércia térmica de elementos construtivos portugueses	Valdemar Garcia	Manuela Almeida	1997
Avaliação energético-económica de algumas soluções construtivas	Sandra Silva	Manuela Almeida	2001
Anomalias em edifícios – Caracterização e proposta de soluções	Álvaro Araújo	Manuela Almeida	2001
Contribuição para intervenções no Centro Histórico de Bragança	Eduarda Luso	Manuela Almeida	2002
Caracterização da acção da água em edifícios de pedra	Jorge Ferreira	Luís Bragança	2002
Gestão e análise económica de riscos de segurança na construção	Fernando Santos	Luís Bragança	2002
DISSERTAÇÕES DE Mestrado em Curso			
Caracterização das anomalias, soluções de reparação e custos associados em processos de conservação/reabilitação	Dinis Leitão	Manuela Almeida	
Modelo simplificado de previsão do comportamento térmico de edifícios	Ricardo Lobão	Manuela Almeida	
Sistema interactivo de gestão de edifícios	Nelson Maia	Manuela Almeida	
Análise das divergências entre os projectos de Arquitectura e das suas Especialidades em processos de licenciamento camarário de obras particulares	Pinto de Sousa	Manuela Almeida	
Paredes de armazenamento térmico em materiais tradicionais da construção portuguesa	Luís Araújo	Manuela Almeida	



Departamento de Engenharia Civil
Universidade do Minho

Contributos para a reabilitação do Centro Histórico de Gaia. A cor na Arquitectura	Angélica Silva	Manuela Almeida	
Novas soluções construtivas com vista à sustentabilidade da construção	Ricardo Mateus	Luís Bragança	
Comportamento de painéis de fachada em edifícios com estrutura metálica	Carlos Cunha	Luís Bragança	
Análise técnico-económica das necessidades de reabilitação dos edifícios de habitação construídos nas décadas de 70 e 80	Oswaldo Machatine	Luís Bragança	
Satisfação das exigências de conforto na reabilitação de edifícios antigos	Jorge Vieira	Luís Bragança	
TESES DE DOUTORAMENTO EM CURSO			
A sustentabilidade e o conforto nas habitações	Sandra Silva	Manuela Almeida	
Habitar sob uma segunda pele	Paulo Mendonça	Luís Bragança	
Campus de Azurém 4800-058 GUIMARÃES Tel.: 253 510 200 Fax: 253 510 217 http://www.uminho.pt			

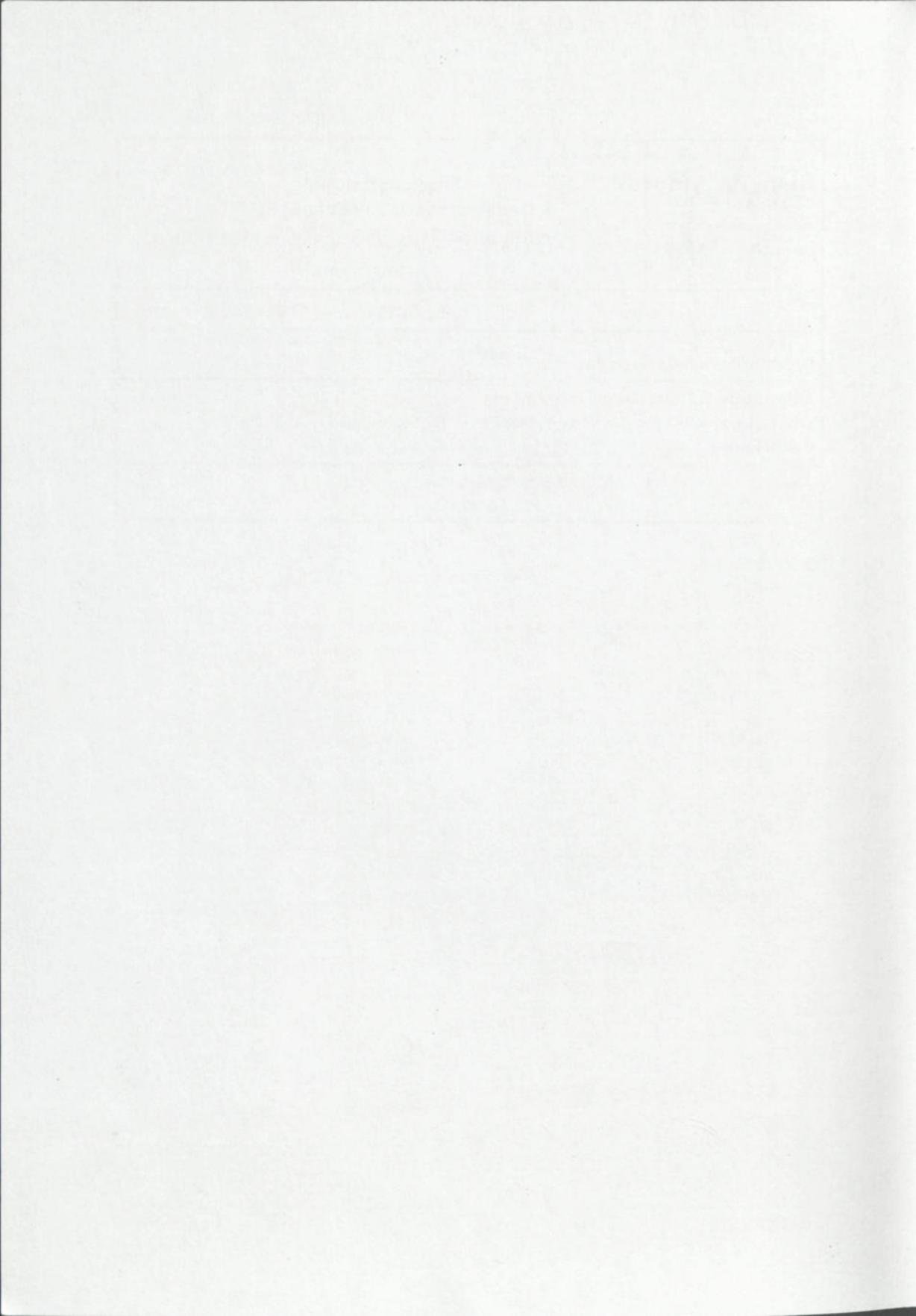
UNIVERSIDADE
DE TRÁS-OS-MONTES
E ALTO DOURO

utad



Engenharia Civil
Departamento das Engenharias
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

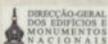
Título	Autor	Orientador	Ano
DISSERTAÇÕES DE MESTRADO EM CURSO			
A qualidade de soluções construtivas em edifícios de habitação em Trás-os-Montes e Alto Douro	Sandra Pereira	Anabela Paiva	
Quinta dos Prados, Apt. 202 5001 VILA REAL Codex Tel.: 259 350 000 Fax.: 259 350 356 http://www.utad.pt			



Lista de Autores

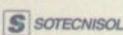
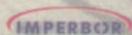
Abrantes, Vitor	39, 79, 305	Lopes, J. Grandão	295, 325
Aguiar, José	21, 175	Loureiro, Nuno C.	283
Aguiar, J. Barroso	259	Lourenço, Paulo B.	117
Almeida, Manuela	89, 117, 163	Loza, Rui	43
Almeida, Marisa	239	Luso, Eduarda	117
Alves, Adelino	47	Machado, Nuno	359
Antunes, Marisa	349	Mateus, Ricardo	89
Araújo, Álvaro	163	Nero, Gaspar	41
Barreira, Eva Sofia	137	Oliveira, L. Pereira de	239, 249
Bento, J. P.	283	Paiva, Anabela	369
Bragança, Luís	89, 185	Paiva, José Vasconcelos	37
Branco, Fernando A.	23	Pereira, Sandra	369
Brito, Jorge de	197, 325, 499	Piedade, Canha da	3
Calejo, Rui	425	Pinto, Manuel	151
Campos, Rui	401	Pinto, Paulo da Silva	337
Castro-Gomes, J. P.	239, 249	Ramos, Nuno	315
	465, 477	Rato, Vasco Moreira	489
Colen, Inês Flores	499	Rodrigues, Paulina F.	207
Corvacho, Helena	349	Rosenbom, Kim	413
Costa, Anibal	219	Sanches, Romeu	401
Costa, A. J. Marques da	509	Santos, A. Lobato dos	381, 389
Croce, Sergio	33	Silva, António	89
Esteves, J. L.	283	Silva, J. R. Mendes	59, 79, 305
Faustino, Jorge	369	Silva, Pedro Rebelo da	437
Ferreira, Filipe	185	Sousa, Marília	69
Freitas, V. P.	19, 69, 103, 137, 151	Teixeira-Pinto, Amândio	269
	315, 337, 359, 465, 477	Torres, M. I. Morais	59, 103
Garcia, João	413	Trotman, Peter	35
Gaspar, Pedro Lima	197, 381, 389	Veiga, M. do Rosário	47, 175
Gonçalves, P. Filipe	137	Vicente, Romeu S.	305
Henriques, Fernando	5	Vieira, Jorge	185
Holm, Andreas H.	445	Vieira, José Barbosa	369
Jalali, S.	269	Vieira, P.	283
Karagiozis, Achilles	445	Vilhena, António	127
Künzel, Hartwig	445	Walter, Ana	325
Lanzinha, J. C.	239, 249, 465, 477	Westcot, Peter	425
Lopes, Isabel	359		

Patrocínios:



Bettor MBT Portugal S.A.

degussa



Apoios:



FCT



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000159353

PATORREB 2003

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Departamento de Engenharia Civil

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Tel.: +351 225 081 478 • Fax: +351 225 081 940

E-mail: patorreb@fe.up.pt • www.fe.up.pt/~patorreb

ISBN: 972-752-059-6

Depósito Legal: 192749/03