

REQUISITOS DE MODELAGEM PARA CÁLCULO DE CO₂ EMBUTIDO E SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO EM CONSTRUÇÕES INFORMAIS DE MORADIAS NA REDE MORE

Lucas Melchiori Pereira ⁽¹⁾, Ana Júlia Correia Bessa ⁽²⁾, Paulo R. Nunes dos Santos ⁽²⁾, Livia Freitas Vieira ⁽²⁾.

(1) Universidade de São Paulo, São Paulo, 0000-0003-0350-0724, lucasmp@usp.br

(2) Universidade de São Paulo, São Paulo

Resumo

O predomínio de construções informais no Brasil impõe desafios à quantificação das emissões de CO₂ embutido e à qualidade ambiental de moradias. Esta comunicação apresenta a definição de requisitos de modelagem BIM desenvolvida no âmbito da Rede MORE – Bem-Estar e Baixo Carbono nas Moradias, com o objetivo de estruturar entradas e saídas de informação necessárias ao cálculo de carbono embutido e à simulação de conforto ambiental em construções informais. O método foi aplicado a 39 residências da comunidade São Remo (São Paulo, Brasil), utilizando levantamento convencional e nuvem de pontos sintética obtida por dispositivo móvel. O fluxo de trabalho foi estruturado de forma iterativa, articulando levantamento, modelagem paramétrica, extração automatizada de quantitativos e validação dos dados para análises subsequentes. Como resultado, foram definidos requisitos mínimos de levantamento, parâmetros obrigatórios por elemento construtivo e critérios de padronização, viabilizando a extração sistemática de volumes e áreas para cálculo de CO₂ com base no SIDAC e para simulações de desempenho. Conclui-se que a modelagem BIM, quando estruturada como infraestrutura informacional, permite transformar dados de campo heterogêneos em inventários quantitativos rastreáveis, oferecendo base metodológica replicável para avaliação ambiental de construções informais.

1. Introdução

Frente a urgência da crise climática e seus efeitos sobre as ocupações urbanas, diversos setores são desafiados a minimizar os impactos de sua produção, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa (GEEs), entre eles, o dióxido de carbono CO₂. O *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/25* alerta que, em 2023, o setor da construção foi responsável por 34% das emissões globais [1]. Este número pode ser mais grave em decorrência de fatores específicos, particulares a cada região [2]. No Brasil, uma pesquisa do Datafolha/CAU-BR estimou que 82% das moradias do país são produzidas, ampliadas ou reformadas sem o auxílio de um profissional habilitado [3], impactando no aumento das emissões de CO₂ e na qualidade do ambiente construído por não seguirem padrões técnicos e produzirem mais resíduos [4], [5].

Nesse sentido, faz-se necessário realizar um diagnóstico das emissões de GEEs de forma ampla e padronizada, considerando a complexidade do cenário construtivo brasileiro, para que seja possível traçar estratégias para reduzir estas emissões e mitigar seus impactos. A utilização de Building Information Modeling (BIM), comumente ligada a construção formal e edifícios complexos, também pode ser utilizada em contextos de construção informal, onde falta documentação técnica, como um instrumento de reconstituição digital a partir do levantamento instrumentalizado da situação existente.

1.1 Contexto: Projeto Rede More – Bem-Estar e Baixo Carbono nas Moradias

Diante da necessidade de descarbonizar o setor da construção civil, foi criada a Rede de pesquisa MORE - Bem-Estar e Baixo Carbono nas Moradias com o objetivo de “mensurar a emissão de CO₂ das moradias, considerando a contribuição destas para o bem-estar das pessoas, apoiar políticas públicas e promover a transição do setor privado para uma economia de baixo carbono” [6]. O projeto piloto da rede identificou um caso representativo da construção informal brasileira em uma comunidade, a São Remo, zona oeste da cidade de São Paulo – SP (Figura 1, Figura 2), para, a partir de estudos deste caso, desenvolver um método de quantificação das emissões de CO₂ replicável em escala nacional e propor soluções para a mitigação da pegada de carbono para os tipos de construção recorrentes.



Figura 1: Localização de São Remo. Fonte: *Google Earth*.



Figura 2: Exemplo de tipologia construtiva encontrada em São Remo. Fonte: Ben Tavene.

A rede MORE é composta pelos grupos de trabalho (GT) comunidades, tomada de decisão, mapeamento, materialização e qualidade do ambiente interno; articulados para focar em diferentes perspectivas do problema de pesquisa. A presente pesquisa é parte do GT Materialização, colaborando para o desenvolvimento de um método para estimativa do consumo de materiais em construções informais e sua emissão de carbono embutido.

1.2 Objetivo

Estruturar processo e recursos BIM para a classificação e extração de quantitativos dos materiais empregados em construções informais – isto é, sem projeto ou gestão de profissional habilitado – que atendam as necessidades de informações de estudos de simulação de conforto e de cálculo de emissões de CO₂ da Rede MORE.

2. Revisão da Literatura

BIM evoluiu de uma visão tecnológica para uma abordagem sistêmica que articula políticas, processos e tecnologias na gestão de dados digitais do ciclo de vida da construção [7], podendo ser categorizado como modelo (representação digital), processo (gestão de atividades) e sistema (infraestrutura computacional) [8]. Assim, deve ser compreendido como uma base digital para tomada de decisão e análise ambiental do ciclo de vida [9, 10].

Em favelas, o uso do BIM enfrenta desafios de complexidade morfológica e falta de registros [11], tornando-se um instrumento de reconhecimento do ambiente construído para superar as limitações cartográficas tradicionais [12]. Nas construções informais utiliza-se modelos na engenharia reversa para reconstruir digitalmente o existente [13], um fluxo de trabalho associado ao *Scan-to-BIM* [14]. Tecnologias como o LiDAR oferecem acurácia, substituindo levantamentos manuais suscetíveis erros [12]. Contudo, a confiabilidade do modelo exige validação geométrica em macro (edifício) e microescala (objetos) [15]. Devido ao alto custo do laser [13], a fotogrametria por *Structure from Motion* é uma alternativa viável, construindo nuvens de pontos a partir de imagens capturada com câmeras de drones ou smartphones [16], com precisão adequada para ambientes pequenos e médios [17].

A modelagem paramétrica permite extrações de quantitativos (BoQ) automatizadas [10], com precisão superior aos métodos manuais [18]. Para viabilizar contextos multidisciplinares, a informação deve ser padronizada via sistemas de classificação, visando informações interoperáveis e rastreáveis [19]. No Brasil, a NBR 15965 normatiza essa estrutura ao longo do ciclo de vida.

A integração entre BIM e Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) permite mitigar impactos ambientais ainda em estágios iniciais do projeto, onde as decisões têm maior potencial de mitigação [20]. Esses modelos BIM podem ser base de certificação do carbono embutido [10], desde que apoiados por dados setoriais que reduzam incertezas de fornecedores. No Brasil, essa métrica requer fatores de emissão alinhados à matriz energética local, disponibilizados pelo SIDAC (Sistema de Informação do Desempenho Ambiental da Construção) [21]. São indicadores máximo e mínimos que, se analisados durante o desenvolvimento, pode reduzir a pegada de carbono em até quatro vezes [2], reforçando a importância de indicadores disponíveis no momento da decisão projetual. Neste sentido, foi lançado em 2025 à véspera da COP30, o Benchmark Iterativo para projetos de Baixo Carbono (BIPc), uma plataforma que utiliza dados do SIDAC para oferecer estimativas de CO₂ embutidos nos projetos, durante seu uso. Paralelo a este esforço, o método desenvolvido pela Rede MORE alinha-se a este esforço, porem com foco nas construções informais.

3. Método

O fluxo de trabalho foi estruturado de forma iterativa, em que as etapas foram em partes simultâneas de forma a uma atender ao feedback da etapa que usualmente ocorreria apenas na sequência. Tal estratégia foi adotada para permitir ajustar requisitos e melhorias fluxo do trabalho enquanto a interpretação do mapeamento e modelagem ocorriam. Assim, trabalho foi organizado em três etapas iterativas (Figura 3): (1) análise dos dados de entrada e definição de requisitos de levantamento; (2) modelagem e extração de quantitativos; (3) avaliação da qualidade da informação para simulação e cálculo de CO₂, com consolidação dos requisitos do método.

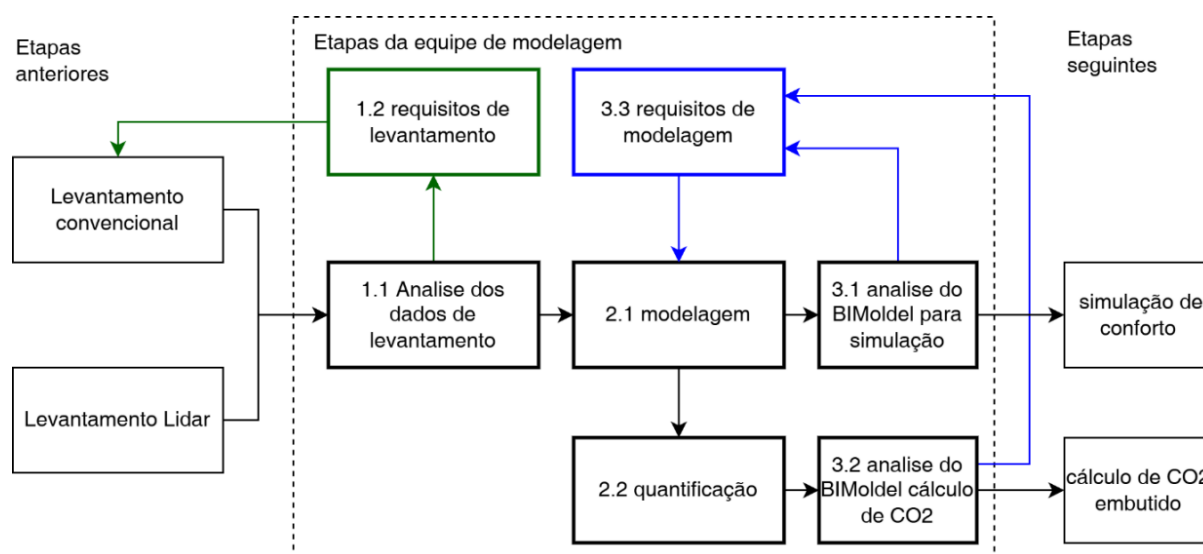


Figura 3: Recorte do fluxo de trabalho do GT de Materialização, destaque para modelagem

Além destas etapas, o procedimento completo inclui etapas prévias de coleta de dados físicos e etapas posteriores de análise de desempenho ambiental, sinteticamente representadas no fluxo de trabalho.

3.1 Equipe

A equipe de modelagem era constituída por um arquiteto pesquisador, três alunos de Iniciação Científica, três engenheiras consultoras para apoiar a análise do modelo para simulação e cálculo.

3.2 Dados primários

Os materiais empregados na modelagem incluíram: (1) levantamentos in loco para verificação dimensional e caracterização construtiva, como sistemas estruturais e de vedação; (2) relatórios técnicos de estudos de caso da rede MORE que descrevem tipologias, sistemas construtivos, composição de materiais e parâmetros geométricos; (3) premissas de modelagem, estabelecidas pela equipe de levantamento, que definem os requisitos de modelagem e padronização da informação; (4) diretrizes de modelagem, compreendendo a padronização de arquivo, classe e tipos de objetos, nível de modelagem, tipos de entrada e de saída de dados do modelo.

Os itens 1 e 2 compreendem dados de entrada para a modelagem, foram obtidos com outras equipes do MORE e seu detalhamento está condicionado à divulgação de seus resultados. Os itens 3 e 4 estão relacionados ao trabalho da equipe de modelagem, referentes tanto a

classificação dos objetos BIM como a delimitação do nível de detalhamento das informações relativas à composição dos elementos construtivos (estrutura, vedação vertical, cobertura e pisos), espessuras, materiais constituintes e áreas correspondentes, necessárias à consolidação do inventário quantitativo para utilização em simulações de desempenho e cálculo de CO₂ embutido.

As tabelas apresentadas nos resultados derivam da análise e síntese destes materiais.

3.3 Etapas de pesquisa

3.3.1 Levantamento de Dados (Etapas Preliminares)

A etapa anterior à modelagem compreendeu a coleta de dados em campo na comunidade São Remo. A etapa foi realizada junto do GT Comunidade. Enquanto o GT Comunidade investigava práticas construtivas e percepção de conforto, o GT Materialização levantava características físicas e espaciais das moradias. Para tanto foram utilizados dois procedimentos concorrentes:

- Levantamento Convencional: Medições com trena eletrônica, croquis, registros fotográficos e vídeos para caracterização espacial e material;
- Levantamento de nuvem de pontos: mapeamento digital por aplicativo gerador de nuvem de pontos sintética.

3.3.2 Etapa 1: Análise de Dados e Requisitos de Levantamento

Os registros obtidos em campo foram organizados, pós-processados e submetidos a uma análise de consistência. Com base nestas análises foi redigido e comunicado à equipe de campo os requisitos de levantamento para modelagem. A análise utilizou software Autodesk Revit, Bonsai (antigo BlenderBIM) e CloudCompare. Os achados foram documentados e convertidos em requisitos de levantamento.

3.3.3 Etapa 2: Modelagem, definição de premissas e extração de quantitativos

A modelagem das moradias foi iterativamente realizada com testes de BoQ (etapa 3) e reportes de inconsistências identificadas no levantamento (etapa 1). Assim, os requisitos e premissas foram atualizados conforme evidências surgiam durante a modelagem. Devido informalidade das construções, foram definidas premissas construtivas para elementos não visíveis para aproximar a quantidade do consumo real de materiais. Essas premissas foram obtidas pela equipe de campo que investigou as práticas de execução locais. Assim, por exemplo, arbitrou-se a inserção de pilaretes em quinas e distância típica de 3m entre pilaretes embutidos nas paredes, além de espessuras de argamassa, lajes com lajota cerâmica, lastro de concreto de 15 cm no pavimento térreo etc.

As moradias foram modeladas utilizando software Autodesk Revit, padronizado segundo a ABNT NBR 15965. O modelo foi disponibilizado em IFC para a equipe responsável pela simulação de desempenho. Os registros das evidências foram documentados em relatórios de trabalho e sua análise e síntese subsidiaram a discussão dos resultados.

3.3.4 Etapa 3: Qualidade da Informação e Requisitos do Método da rede MORE

A partir da metade da modelagem, analisou-se a qualidade das informações para atender aos requisitos de cálculo de CO₂ embutido. A partir do cálculo para as primeiras moradias modeladas, foram revisados os requisitos e diretrizes de modelagem visando simplificá-la e adequá-la às necessidades de dados. Tais dados foram disponibilizados conforme solicitado, por meio de planilhas de quantidades em CSV, com valores classificados segundo a ABNT NBR 15965.

3.3.5 Simulação de desempenho e Cálculo de CO₂ embutido (Etapas seguintes)

Os modelos e planilhas produzidos serviram de entrada para as duas análises do GT, ligadas à simulação de desempenho térmico e lumínico das unidades habitacionais – associadas ao bem-estar dos moradores – e ao cálculo do CO₂ embutido, baseado nos quantitativos e nos fatores de emissão brasileiros obtidos no SIDAC – ligado a definição de estratégias de mitigação em construções informais.

4. Resultados e Discussão

4.1 Base analítica da Complexidade de Modelagem

O método foi aplicado à 39 residências na comunidade São Remo. Foram modeladas 24 unidades a partir de nuvem de pontos sintética, 10 de levantamento convencional e 5 utilizando ambos os métodos para fins comparativos (Figura 1).

Tabela 1: comparação entre métodos de levantamento

Tipo	Técnica	Geometria	Nº	Impacto na Modelagem
Scanner	+ fácil	fácil	1	Unidade com geometria clara
+ Trena	média	difícil	4	Nuvem permitiu ajustar desníveis complexos.
Scanner	+ fácil	fácil	2	Morfologia simples, unidades térreas.
	fácil	média	14	1 a 2 pavimentos com dados suficientes.
	média	difícil	6	maior compartimentação
	difícil	+ difícil	2	3 pavimentos; alta densidade de dados
Trena	+ difícil	média	10	maior dependência de premissas
TOTAL			39	

Observou-se que o processo de modelagem e seus resultados foram influenciados diretamente pela técnica de levantamento e pela complexidade geométrica das unidades, onde a modelagem realizada a partir de nuvens de pontos sintéticas reduziu as incertezas em comparação ao método manual, principalmente na observação de detalhes e ajuste da complexidade geométrica decorrente da não ortogonalidade dos elementos construtivos.

Os modelos derivados exclusivamente de levantamento manual exigiram maior número de premissas geométricas devido à falta de dados sobre espessuras de lajes e desníveis internos. Em contrapartida, o uso de nuvens de pontos, mesmo obtidas por sensores LiDAR integrados em dispositivos móveis não profissionais, proporcionou uma melhor compreensão volumétrica e reduziu significativamente as incertezas de modelagem. Esta constatação corrobora os estudos [15] que indicam que a análise de desvios baseada em nuvens de pontos permite identificar inconsistências geométricas com maior agilidade e precisão do que medições físicas manuais.

4.2 Demonstração do Fluxo: Estudo de Caso de uma residência

A fim de demonstrar a aplicação do método a partir da técnica com melhor desempenho, é descrito a seguir processo de modelagem de uma unidade com complexidade média, com dois pavimentos e 43 m² de área útil, levantada via sensores LiDAR em dispositivo móvel.

4.2.1 Levantamento e Processamento:

O uso do *3D Scanner App* realizado em todos os ambientes oferece dois recursos: modelo de superfícies dos ambientes e vídeos do trajeto. Estes modelos são então processados, integrados

em um modelo base (Figura 4), que permitiu capturar a geometria interna com precisão de centímetros e identificar detalhes construtivos não medidos no local, como espessuras de lajes (12 cm) e de paredes (14 cm). O tempo de levantamento foi de 4 minutos por pavimento, mais rápido que observado em medições manuais de residências semelhantes, com 40 minutos devido a complexidade orgânica das autoconstruções. Além disso, o registro permitiu a conferência de detalhes sem a necessidade de retornar ao local, minimizando o incômodo dos moradores.



Figura 4: Levantamento, nuvem de pontos e registros vídeo-fotográficos do caso de exemplo.

4.2.2 Definição de Premissas construtivas e Modelagem:

A modelagem dos elementos da construção foi realizada em software proprietário (Autodesk Revit) e os elementos foram classificados segundo a NBR 15965 (Figura 5). A modelagem dos elementos visíveis baseou-se no modelo base e imagens do scanner. Os elementos ocultos foram modelados a partir premissas construtivas levantadas com os construtores locais, tais como a inserção de pilaretes de betão nas quinas e vigas de travamento perimetrais (0,20 m de altura). Este procedimento possibilitou que o inventário não subestimasse elementos ocultos, como estruturas, que não podem ser conferidos no local nem por meio de documentação, dado que as construções informais são executadas sem projetos.

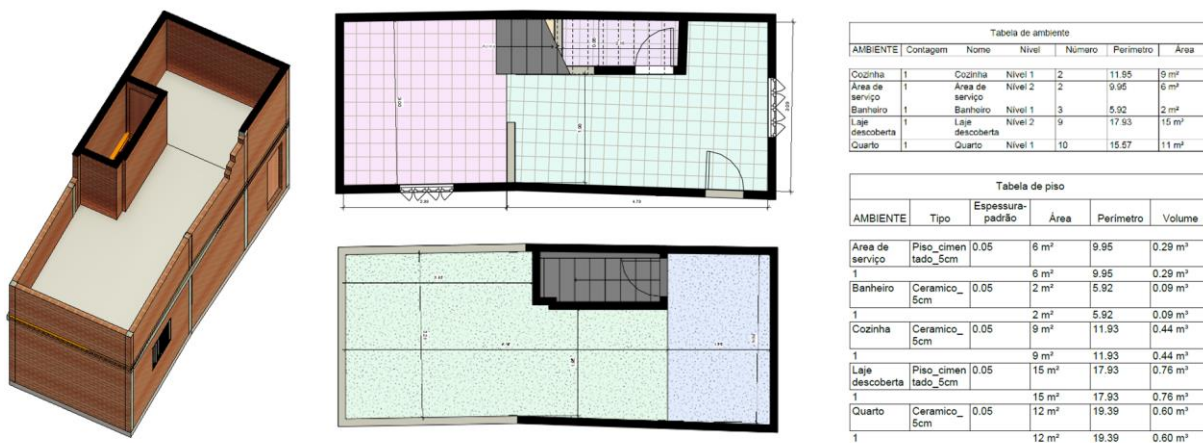


Figura 5: modelo, plantas, tabelas do caso de exemplo.

4.2.3 Extração e Cálculo

A extração automatizada de quantidades (*Bill of Quantities*: BoQ), associada a classificação dos elementos e a exportação de IFC, ofereceu os subsídios para a análise do conforto e de cálculo de CO₂. A análise de conforto utilizou o modelo IFC da geometria e aberturas associada a especificação dos materiais; e o inventário de CO₂ embutido baseou-se no BoQ da moradia associado aos fatores de emissão do SIDAC.

4.3 Definição de uma matriz de Requisitos e Extração de Quantitativos

A análise iterativa entre modelagem e cálculo permitiu consolidar um conjunto mínimo de requisitos de levantamento, incluindo geometria fechada, espessuras reais de elementos, identificação de sistemas construtivos, orientação solar, caracterização de esquadrias e composição de camadas. A ausência desses dados, observada nos primeiros ciclos de modelagem, impactou diretamente a confiabilidade dos quantitativos extraídos. As ocorrências foram documentadas em uma lista de requisitos de entrada e de saída da modelagem acerca dos itens indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Requisitos de entrada e de saída da modelagem

Categoria	Requisitos de Entrada	Requisitos de Saída
Geométrico	Registro dimensional (LiDAR) e material (vídeo-fotográfico)	Geometria fechada, localização, orientação, aberturas e fechamentos.
Construtivo / Material	Característica dos sistemas e elementos construtivos ocultos.	BoQ por material, classificação, discriminação em camadas; relatório BIM: inventário de dados não modelados.
Informacional / Analítico	Padrão de modelagem, sistema de classificação, materiais SIDAC e dados ambientais.	Modelo IFC interoperável; documentação (pranchas e tabelas), relatório BIM: relação de dados externos usados.

A extração automatizada de quantitativos foi estruturada para responder à Matriz de Entrada–Processamento–Saída, consolidada no relatório de infraestrutura informacional para integração de dados do método MORE e sintetizada na Tabela 3. Em vermelho, a entrada das atividades de levantamento que requerem atenção e cooperação da equipe de modelagem; em azul as entradas, processamento e saídas das equipes de análise, que são apoiadas e podem ser parcialmente integradas à modelagem de informação com o processo de digitalização dos métodos de análise do MORE.

Tabela 3: Matriz Entrada → Processamento → Saída

Etapa	Entrada	Processamento	Saída
Levantamento	Tabela 2, coluna 2	Pós-processamento	Modelo base, premissas
Modelagem	Modelo base, premissas	Modelagem	IFC, relatório BIM
Análise	Tabela 2, coluna 3	Simulação Cálculo	Relatório de conforto Inventário do CO₂ emb.

O fluxo atual permitiu que os volumes e áreas extraídos fossem classificados segundo a NBR 15965, alimentassem as planilhas de cálculo de CO₂ baseadas em fatores do SIDAC e fornecessem parâmetros geométricos para simulação de desempenho.

5. Conclusão

A aplicação da modelagem BIM no contexto de construções informais demonstrou ser eficaz para sistematizar dados e a comunicação de informações em situações sem registros técnicos. A definição de requisitos mínimos e a padronização via NBR 15965 permitiram conformar dados de campo heterogêneos em inventários de quantitativos rastreáveis e replicáveis.

O uso de tecnologias de baixo custo, como sensores LiDAR em smartphones para obter nuvens sintéticas, confirmou o potencial de acesso à modelagem digital, mesmo em contextos com poucos recursos, permitindo que o método da Rede MORE seja aplicado em larga escala sem a dependência de equipamentos onerosos, melhorando a previsibilidade dos custos, a qualidade da documentação primária e, consequentemente, as condições de comparação dos resultados obtidos. O modelo BIM, utilizado como infraestrutura informacional, oferece uma base metodológica com a escala adequada para fomentar políticas públicas de baixo carbono e bem-estar em assentamentos habitacionais informais.

Como limitação, identifica-se a necessidade de integrar as ferramentas de cálculo de CO_2 à modelagem de informação. Hoje a transposição de dados é indireta e unidirecional. Entende-se que este deve ser o objeto de trabalhos futuros, via interoperabilidade com IFC, APIs ou programação visual.

Referências

- [1] United Nations Environment Programme, Not just another brick in the wall: The solutions exist - Scaling them will build on progress and cut emissions fast. Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. doi: 10.59117/20.500.11822/47214.
- [2] F. Belizario-Silva, D. Costa Reis, M. Carvalho, R. Leopoldo E Silva França, e V. M. John, “Material intensity and embodied CO2 benchmark for reinforced concrete structures in Brazil”, *Journal of Building Engineering*, v. 82, p. 108234, abr. 2024, doi: 10.1016/j.jobbe.2023.108234.
- [3] “Pesquisa Datafolha: 82% das moradias do país são feitas sem arquitetos ou engenheiros | CAU/BR”. Acesso em: 14 fev. 2026. [Online]. Disponível em: <https://caubr.gov.br/pesquisa-datafolha-82-das-moradias-do-pais-sao-feitas-sem-arquitetos-ou-engenheiros/>
- [4] S. F. Tavares e Bragança, “Índices de CO2 para materiais de construção em edificações brasileiras”, em SBE16 Brazil & Portugal: International sustainable built environment conference series, abr. 2016. [Online]. Disponível em: <https://sbe16.civil.uminho.pt/app/indices-de-co%E2%82%82-para-materiais-de-construcao-em-edificacoes-brasileiras/>
- [5] W.-K. Hong et al., “A new apartment construction technology with effective CO2 emission reduction capabilities”, *Energy*, v. 35, n. 6, jun. 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.05.036.
- [6] Rede MORE, “Bem-Estar e Baixo Carbono nas Moradias,” 2025. [Online]. Disponível em: <https://hubic.org.br/rede-more/>. Acesso em: 12 abr. 2026.
- [7] B. Succar, W. Sher, e A. Williams, “Measuring BIM performance: Five metrics”, *Architectural Engineering and Design Management*, v. 8, n. 2, p. 120–142, 2012.
- [8] J. A. D. M. Gaspar, “O significado atribuído a BIM ao longo do tempo”, *Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade*, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. doi: 10.47749/T/UNICAMP.2019.1096405.
- [9] B. Succar e M. Kassem, “Automation in Construction Macro-BIM adoption: Conceptual structures”, *Automation in Construction*, v. 57, 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.04.018.

- [10] A. Hollberg, G. Genova, e G. Habert, “Evaluation of BIM-based LCA results for building design”, *Automation in Construction*, v. 109, jan. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2019.102972.
- [11] A. Salazar Miranda, G. Du, C. Gorman, F. Duarte, W. Fajardo, e C. Ratti, “Favelas 4D: Scalable methods for morphology analysis of informal settlements using terrestrial laser scanning data”, *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, v. 49, n. 9, nov. 2022, doi: 10.1177/23998083221080174.
- [12] S. Dimitrov e A. B. Alvim, “Novas tecnologias como forma de diminuição da segregação urbana: o uso de drones para mapeamento de favela na cidade de São Paulo”, em XIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Bogotá, Junio 2021, Barcelona: Bogotá: UPC, jan. 2022. doi: 10.5821/siiu.10114.
- [13] S. Dimitrov, “BIM (Building Information Modeling) como instrumento de intervenção em favelas: o caso de Paraisópolis em São Paulo”, Tese, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2022. [Online]. Disponível em: <https://dspace.mackenzie.br/items/7fc8dd09-cfdf-47e8-915c-99cf13922f1f>
- [14] M. Bassier e M. Vergauwen, “Topology Reconstruction of BIM Wall Objects from Point Cloud Data”, *Remote Sensing*, v. 12, n. 11, jun. 2020, doi: 10.3390/rs12111800.
- [15] M. Bonduel, M. Bassier, M. Vergauwen, P. Pauwels, e R. Klein, “Scan-to-BIM output validation: towards a standardized geometric quality assessment of building information models based on pointclouds”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, v. XLII-2/W8, nov. 2017, doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W8-45-2017.
- [16] D. Treccani, A. Adami, e L. Fregonese, “Assessing the effectiveness of LiDAR-based apps on Apple devices to survey indoor and outdoor medium sized areas”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, v. XLVIII-2/W8-2024, dez. 2024, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-W8-2024-431-2024.
- [17] C. Strecha, M. Rehak, e D. Cucci, “Mobile Phone Based Indoor Mapping”, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, v. XLVIII-2–2024, jun. 2024, doi: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-2-2024-415-2024.
- [18] R. Al-Musawi e S. Naimi, “Evaluation of Construction Project’s Cost Using BIM Technology”, *MMEP*, v. 10, n. 2, abr. 2023, doi: 10.18280/mmep.100212.
- [19] C. A. D. C. Freitas, E. D. Xavier Junior, e A. B. A. D. Silva, “Desconstrução da forma, em nuvem de pontos, para a construção de informação: um estudo aplicado em HBIM”, *CLCS*, v. 17, n. 13, dez. 2024, doi: 10.55905/revconv.17n.13-211.
- [20] B. Huang, H. Zhang, H. Ullah, e Y. Lv, “BIM-based embodied carbon evaluation during building early-design stage: A systematic literature review”, *Environmental Impact Assessment Review*, v. 112, mar. 2025, doi: 10.1016/j.eiar.2024.107768.
- [21] F. Belizario-Silva et al., “The Sidac system: Streamlining the assessment of the embodied energy and CO2 of Brazilian construction products”, *Journal of Cleaner Production*, v. 421, out. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138461.