

APLICAÇÕES PARAMÉTRICAS AUTOMATIZADAS EM BIM NA PORMENORIZAÇÃO DE ARMADURAS – ESTUDO DE CASO

Miguel Reghin ⁽¹⁾, Daniela Gutstein ⁽²⁾, Gilberto Rouxinol ⁽³⁾

(1) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 0009-0006-0657-7953

(2) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 0009-0009-7519-9177

(3) Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, 0000-0003-2286-7732

Resumo

A pormenorização de armaduras em estruturas de betão pré-fabricado constitui uma etapa crítica do projeto estrutural, exigindo elevado nível de precisão e consistência, especialmente em elementos com elevada repetição, como as consolas curtas utilizadas em ligações viga-pilar. Neste contexto, o presente trabalho apresenta um estudo de caso de automatização da pormenorização em ambiente BIM, com recurso a um script desenvolvido no Dynamo integrado ao Revit, utilizando programação visual complementada por Python. A metodologia proposta baseia-se na formalização de regras geométricas e normativas, permitindo a geração automatizada e paramétrica dos elementos de armadura, com atualização automática em função de alterações geométricas do modelo. A aplicação da rotina a 114 consolas (44 do tipo C01 e 70 do tipo C02) evidenciou ganhos significativos de eficiência, com redução estimada do tempo de pormenorização de 20–30 minutos por elemento no processo manual para inferior a 1 minuto no processo automatizado, além da eliminação de operações repetitivas e aumento da consistência do detalhamento. Os resultados demonstram o potencial da abordagem para melhorar a qualidade e a produtividade em projetos de estruturas pré-fabricadas, em conformidade com as normas técnicas de referência e o caráter paramétrico do modelo BIM.

1. Introdução

A indústria da construção civil tem incorporado o BIM (*Building Information Modeling*) como alternativa aos métodos tradicionais baseados em CAD, visando maior eficiência, precisão e integração entre disciplinas. Em estruturas de betão pré-fabricado, caracterizadas por elevada repetição de elementos e exigências rigorosas de montagem, o uso do BIM contribui para a compatibilização de projetos e padronização de soluções. Além disso, conforme demonstrado em Gutstein et al. [1] e Gutstein, Henz e Tomazoni [2], o BIM auxilia nas fases iniciais do projeto, incluindo análise de compatibilidade, estudo de formas e planeamento construtivo. Apesar destes benefícios, a modelação em ambiente BIM ainda enfrenta desafios associados ao elevado nível de pormenorização exigido para elementos estruturais. No caso das armaduras, a

definição geométrica e o posicionamento dos varões tornam-se processos morosos quando realizados manualmente, sobretudo em elementos com maior variabilidade, como as consolas de betão.

A automatização de processos em ambiente BIM, por meio da integração entre modelação paramétrica e programação visual, tem sido amplamente explorada na literatura, como apresentado em Hang et al. [3]. Destaca-se, em particular, o potencial de ferramentas como o Dynamo para a geração automatizada de elementos construtivos e para a verificação de regras geométricas e normativas. Neste contexto, o presente trabalho propõe uma abordagem baseada na formalização dessas regras, aplicada a um estudo de caso em ambiente de projeto. O projeto de estudo foi fornecido por uma empresa e aplicado em Reghin [4].

1.1 Escolha dos softwares

O software utilizado no desenvolvimento do script para a automatização da pormenorização das armaduras foi o Revit 2023, por dispor de uma ferramenta integrada para a automatização de processos, o Dynamo (versão 2.10.3.1.3887). Além disso, essas ferramentas já foram adotadas pela empresa parceira, propiciando assim a integração direta ao fluxo de trabalho.

1.2 Fluxo de trabalho

Para agilizar a pormenorização das peças pré-moldadas, a empresa dispõe de uma biblioteca contendo seções, vistas, folhas e materiais padronizados para serem utilizados como ponto de partida para projeto dos elementos estruturais pré-fabricados. Além disso, cada elemento pré-moldado pode ser composto por diversos objetos, os quais são organizados em montagens. Considerando que a armadura principal já se encontra detalhada no arquivo base, torna-se necessária apenas a inserção e a pormenorização dos varões complementares quando houver, como é o caso das consolas de betão e de seus pilares de apoio. Nestes elementos, os varões são inseridos como vínculos e atualizam-se as especificações para atendimento aos requisitos de cálculo. As etapas subsequentes referem-se ao ajuste de vistas, pranchas e demais itens de pormenorização.

A partir do estudo desses processos, constatou-se que a rotina desenvolvida em Dynamo poderia ser executada em dois momentos distintos: após o ajuste da geometria do elemento ou conjuntamente com a inserção de tabelas e legendas. Considerando que, no processo tradicional, as consolas curtas são detalhadas manualmente em CAD e inseridas no projeto como figuras vinculadas, recomenda-se a execução da rotina logo após os ajustes de geometria, pois isso possibilita o ajuste das armaduras das consolas, se necessário, na mesma etapa de ajuste das armaduras principais. Dessa forma, a Figura 1 apresenta o fluxo de trabalho recomendado após a implementação do script em Dynamo.

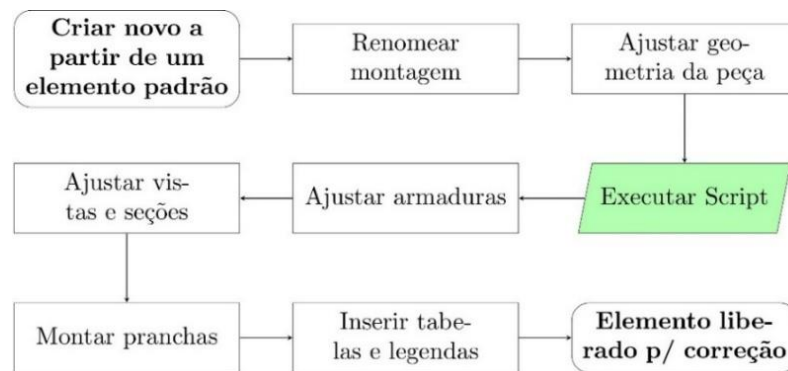


Figura 1: Fluxo de processos, recomendação após implantação do script em Dynamo, para pormenorização de elementos.

2. Escolhas dos casos para estudo

O projeto em estudo consiste numa estrutura pré-fabricada de betão armado, conforme ilustrado na Figura 2. Trata-se de um edifício comercial de múltiplos pavimentos, a ser construído na região Sudeste do Brasil, com um total de quatro pavimentos e área aproximada de 16 785 m². A estrutura é composta por 92 pilares, 476 vigas e 1177 lajes alveolares de betão pré-fabricado.

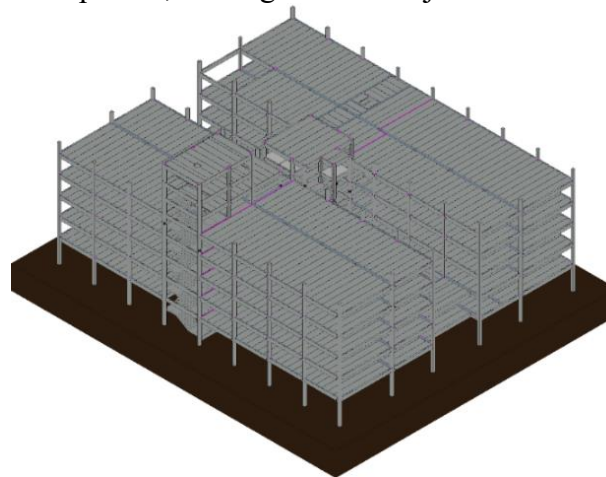


Figura 2: Caso de estudo - Perspetiva isométrica da estrutura em betão pré-fabricado.

Por obedecer às prescrições e normas brasileiras, nomeadamente a ABNT NBR 6118 [5] e a ABNT NBR 9062 [6], o script foi desenvolvido em conformidade com esses referenciais, especialmente no que se refere a aspectos como espaçamentos, taxas mínimas e máximas de armadura, requisitos para a ancoragem do tirante principal e das armaduras complementares, dentre outros. Ao todo, no projeto em estudo, foram identificados 735 consolas, das quais 459 são consolas simples e as 276 restantes são consolas duplas. Como a quantidade de consolas simples é substancialmente superior à de consolas duplas, optou-se por desenvolver a automatização para os dois casos mais frequentes de consolas simples, aqui designados como consola C01 (Figura 3) e consola C02 (Figura 4), com 44 e 70 repetições, respetivamente. A automatização desenvolvida adotou como base o mesmo padrão de pormenorização adotado no projeto de referência em CAD.

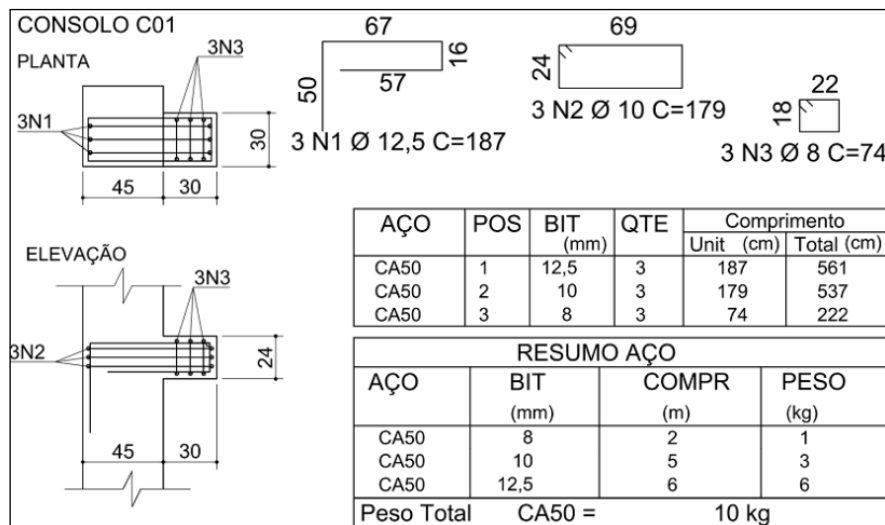


Figura 3: Projeto básico - Consola C01.

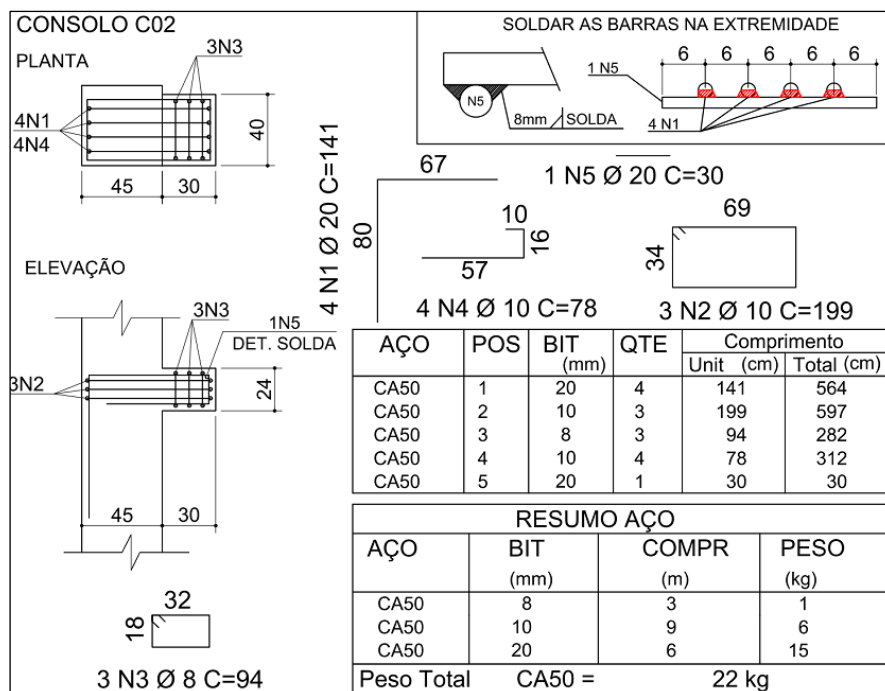


Figura 4: Projeto básico - Consola C02.

3. Automatização desenvolvida

A automatização do processo de modelação das armaduras de consolas curtas foi desenvolvida no Dynamo, utilizando-se de linguagem de programação visual (em nós) e Python para o processamento de dados, sendo destinada à aplicação no Revit versão 2023 ou superior. A rotina de automatização é constituída por três etapas distintas: importação e tratamento dos dados da armadura, seleção dos elementos e criação das armaduras.

3.1 Importação e tratamento dos dados da armadura

No projeto de estudo, o dimensionamento das consolas foi realizado por meio de folhas de cálculo do Excel, com dados agrupados conforme modelo da Tabela 1, desenvolvido em Reghin [4]. Essas informações são importadas no Dynamo por meio do nó *Data.ImportExcel*, permitindo a leitura e manipulação dos parâmetros necessários à definição das armaduras.

Tabela 1: Modelo de folha Excel com resumo dos varões

Consola	N1			N2		N3		N4		N5	
	Quant.	Ø	L.V.	Quant.	Ø	Quant.	Ø	Quant.	Ø	Quant.	Ø
C01	3	12,5	Sim	3	10	3	8	-	-	-	-
C02	4	20	Não	3	10	3	8	4	10	1	20

Após a importação, os dados de quantidades e diâmetros dos varões são tratados por meio de nós Python personalizados, responsáveis pela filtragem, organização e conversão das informações para objetos compatíveis com a categoria de vergalhões do Revit. Esse processo possibilita a posterior geração automatizada dos conjuntos de armaduras no modelo BIM. Destaca-se que, embora neste estudo a entrada de dados seja realizada via folhas Excel, essa etapa de importação manual poderia ser aprimorada caso o software de cálculo estrutural permitisse a exportação direta dessas informações. Adicionalmente, a metodologia proposta admite integração com outras fontes de dados, incluindo formatos abertos, como CSV, mantendo sua aplicabilidade em diferentes fluxos de trabalho e plataformas BIM. A utilização do Excel neste estudo decorre da sua integração com o fluxo de trabalho da empresa parceira, embora a estrutura proposta seja compatível com formatos não proprietários.

3.2 Seleção dos elementos

A definição do traçado das armaduras baseia-se na seleção de planos de referência da consola, a partir dos quais são obtidas as dimensões diretoras do elemento (altura, largura e profundidade). Para isso, são utilizadas três faces principais, superior, frontal e lateral, permitindo a extração das dimensões geométricas necessárias ao detalhamento.

Para garantir a correta extensão das armaduras, em especial do tirante e da armadura de costura, considera-se a geometria do pilar, elemento hospedeiro da consola. Essas armaduras devem se estender até a face mais afastada do pilar, respeitando o recobrimento de cada varão, conforme os critérios usuais de projeto e as especificações mínimas da ABNT NBR 9062 [6]. A seleção do pilar permite ainda a obtenção do parâmetro de recobrimento definido em projeto, extraído do modelo por meio do nó *Properties.RebarHostCover*.

3.3 Criação dos elementos

Nesta etapa, a rotina automatiza a geração das armaduras a partir das informações previamente tratadas, definindo o traçado dos varões, sua distribuição no elemento e a criação dos respectivos conjuntos no modelo BIM. A criação dos varões configura-se como uma atividade repetitiva, o que a torna particularmente adequada à automatização. Para isso, utilizou-se o pacote Structural Design (versão 2024.1.18), que permite converter essas informações em objetos da categoria de vergalhões estruturais do Revit, mantendo a armadura parametrizada no modelo. A criação dos elementos pode ser dividida em três etapas bem definidas, independentemente do conjunto

de varões a ser gerado (tirante, costura, transversal ou complementar), conforme indicado na Figura 5. As etapas consistem em: definição do traçado do varão, criação do vetor que estabelece o sentido de repetição e, por fim, formação do conjunto de varões.

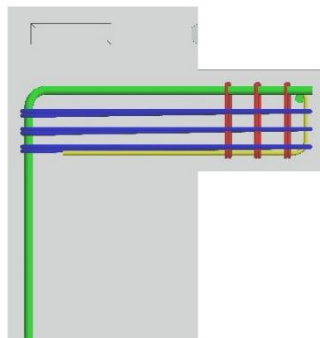


Figura 5: Identificação dos conjuntos de armaduras na consola curta: tirante (verde), costura (azul), transversal (vermelho) e complementar (amarelo).

A armadura de costura, modelada como estribo fechado que conecta a consola ao pilar, é a primeira a ser gerada. Sua definição baseia-se na identificação das faces paralelas mais afastadas entre os elementos, por meio de dois nós Python personalizados: o primeiro verifica o paralelismo entre os lados do pilar e a aresta superior da face frontal da consola, com base nas coordenadas dos vértices (script na Figura 6), enquanto o segundo calcula a distância máxima entre os elementos pelo método euclidiano, considerando os pontos previamente identificados (script na Figura 7). Com base nesses parâmetros, o traçado da armadura é gerado por nós Python, respeitando o recobrimento de projeto e os critérios construtivos das normas ABNT NBR 9062 [6] e ABNT NBR 6118 [5], incluindo espaçamentos e raios de curvatura dos varões.

As demais armaduras foram criadas seguindo o mesmo princípio adotado para a armadura de costura, diferenciando-se principalmente pelos espaçamentos e pelas restrições específicas aplicadas a cada tipo de armadura.

```
1 def ladosParalelos(vetor, secao_consolo):
2     # Lista para armazenar os indices dos vetores paralelos entre si
3     indices_vetores_paralelos = []
4
5     # Verifica se o vetor e paralelo a cada vetor na lista
6     for i, v in enumerate(secao_consolo):
7         if (round(vetor.X,3) != 0 and round(v.Direction.X,3) != 0 and round(vetor.Y
8         ,3) == 0 and round(v.Direction.Y,3) == 0) or \
9         (round(vetor.X,3) == 0 and round(v.Direction.X,3) == 0 and round(vetor.Y
10        ,3) != 0 and round(v.Direction.Y,3) != 0):
11             indices_vetores_paralelos.append(v)
12         else:
13             proporcao_x = round(vetor.X, 6) / round(v.Direction.X, 6)
14             proporcao_y = round(vetor.Y, 6) / round(v.Direction.Y, 6)
15             if proporcao_x == proporcao_y:
16                 indices_vetores_paralelos.append(v)
17
18     return indices_vetores_paralelos
```

Figura 6: Função Python para verificar o paralelismo entre o pilar e o consolo.

```
1 def distancia(console, pilar):  
2     # Calcula a distancia entre dois pontos usando a formula de distancia  
   euclidiana  
3     return (((console.StartPoint.X - pilar.StartPoint.X)**2 + (console.StartPoint.Y  
   - pilar.StartPoint.Y)**2)**0.5) + \  
4         (((console.StartPoint.X - pilar.EndPoint.X)**2 + (console.StartPoint.Y -  
   pilar.EndPoint.Y)**2)**0.5)
```

Figura 7: Função Python para calcular distância pelo método euclidiano.

4. Apresentação e discussão dos resultados

A rotina desenvolvida foi aplicada ao detalhamento das consolas C01 e C02, selecionadas por representarem os casos mais recorrentes no projeto analisado. A automatização baseia-se na formalização de regras geométricas e normativas que regem a disposição das armaduras, preservando o carácter paramétrico do modelo BIM. Dessa forma, alterações na geometria, nos recobrimentos ou nos dados de entrada resultam na atualização automática e coerente do detalhamento, sem necessidade de intervenção manual.

A lógica do algoritmo pode ser descrita de forma sintética em três etapas: entrada, processamento e saída. As entradas incluem a geometria do modelo, os parâmetros do pilar hospedeiro e os dados de armadura importados. No processamento, são realizadas a identificação das faces de referência, a extração das dimensões e a aplicação das regras geométricas e normativas. Como saída, são gerados conjuntos de armaduras nativos do Revit, devidamente parametrizados e associados ao elemento estrutural.

Na Tabela 1, são consideradas cinco posições de vergalhões: N1 (tirante), N2 (costura), N3 (transversal), N4 (armadura complementar) e N5 (varão transversal do tirante). Embora as posições N4 e N5 possam, em princípio, ser definidas com base em critérios da ABNT NBR 9062 [6], optou-se por permitir sua introdução manual, conferindo maior flexibilidade à rotina. De forma análoga, a definição do tirante como laço vertical é mantida sob controle do utilizador, permitindo a adoção de soluções distintas dentro dos limites normativos.

Após a execução da rotina, foram gerados os detalhamentos das consolas C01 e C02 (Figuras 8 e 9, respectivamente). Os resultados foram validados por meio da comparação entre o croqui elaborado em CAD e o detalhamento gerado automaticamente no ambiente BIM, considerando geometria, posicionamento e conformidade com os requisitos normativos da ABNT NBR 6118 [5] e da ABNT NBR 9062 [6], incluindo recobrimentos, espaçamentos, diâmetros e comprimentos de ancoragem. A análise, conduzida para as consolas, C01 e C02, presentes em 92 pilares e estendida a variações geométricas, não evidenciou inconsistências relevantes.

A vinculação do detalhamento à geometria no BIM reduz erros típicos de processos manuais, destacando-se aqueles relacionados aos comprimentos de ancoragem da armadura do tirante, críticos para evitar rupturas bruscas. A rotina mostrou-se aplicável a outros projetos no mesmo ambiente, com possibilidade de adaptação a diferentes ferramentas. A Figura 10 apresenta casos adicionais analisados em Reghin [4]. Os resultados evidenciam que o detalhamento produzido no ambiente BIM é plenamente compatível com aquele anteriormente desenvolvido em CAD.

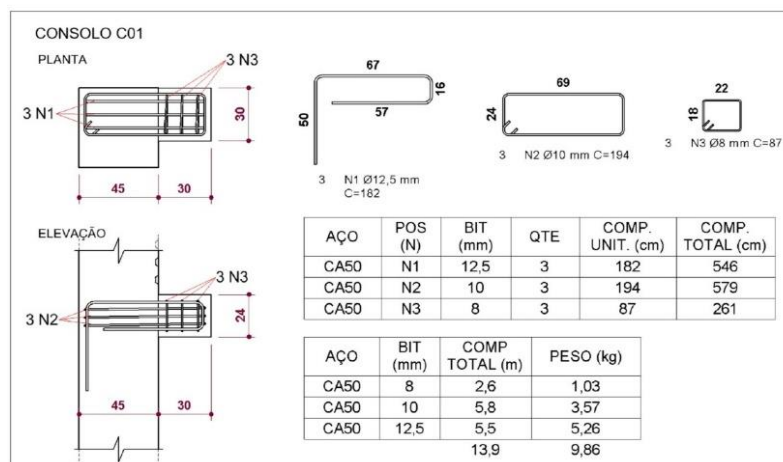


Figura 8: Pormenorização Revit obtida após execução da automatização - Consola C01.

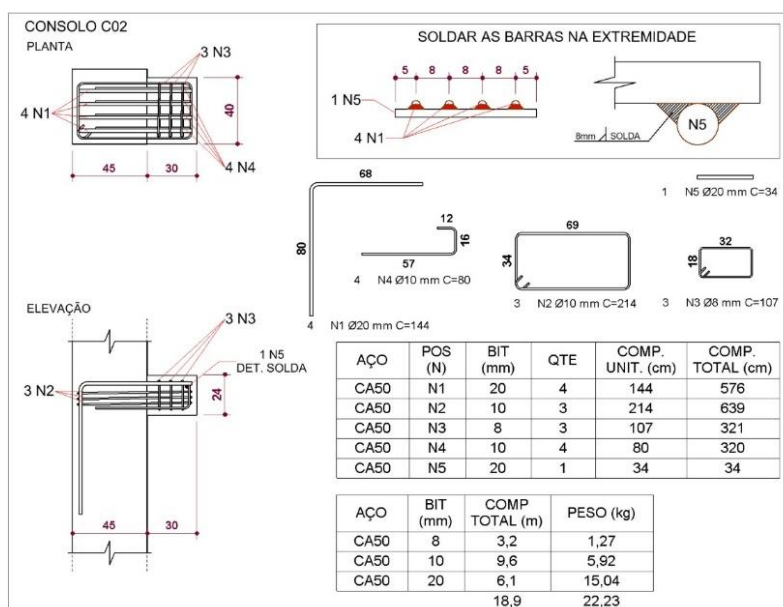


Figura 9: Pormenorização Revit obtida após execução da automatização - Consola C02.

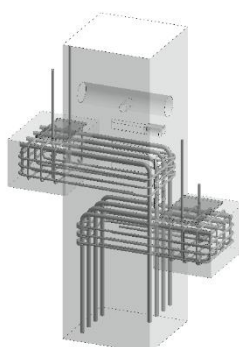


Figura 10: Detalhamento das armaduras para casos adicionais de consolas curtas gerado automaticamente no ambiente BIM.

A automatização proposta apresenta vantagens em relação ao processo tradicional baseado no detalhamento manual em CAD. Enquanto no fluxo convencional alterações geométricas exigem a revisão manual de múltiplos detalhes e a substituição de vínculos nas pranchas, no método automatizado, tais alterações são refletidas automaticamente na pormenorização das armaduras. Adicionalmente, observa-se uma maior uniformidade e padronização das soluções adotadas para consolas geometricamente idênticas, reduzindo a probabilidade de variações não intencionais e com isso erros de projeto e seus impactos, minimizando riscos quanto à segurança estrutural.

Para avaliar o impacto da automatização, foi realizada uma análise comparativa entre o processo tradicional de pormenorização em CAD e o fluxo automatizado em BIM. Considerando as 44 consolas do tipo C01 e 70 do tipo C02, estimou-se que o tempo médio de pormenorização manual por consola varia entre 20 e 30 minutos, enquanto a rotina automatizada reduz esse tempo para valores inferiores a 1 minuto por elemento, considerando apenas a introdução dos dados de entrada e a execução do script. Observou-se ainda a eliminação de operações repetitivas associadas ao posicionamento individual dos varões e a verificação manual de recobrimentos e espaçamentos. Embora baseados em estimativas obtidas em ambiente de projeto, os resultados indicam uma redução significativa do esforço operacional e um aumento da consistência do processo de pormenorização, especialmente em cenários com elevada repetição de elementos.

Outro aspeto relevante refere-se à extração de quantitativos, que passa a ser realizada diretamente a partir do modelo BIM, uma vez que as armaduras são elementos nativos. Isso contribui para maior consistência das medições e melhor integração com etapas subsequentes do projeto. Embora desenvolvida para os casos mais recorrentes, a lógica da automatização pode ser estendida a outros elementos, desde que sejam formalizadas as regras geométricas e construtivas específicas. Ressalta-se que a solução proposta não substitui o dimensionamento estrutural, estando restrita à automatização da modelação e pormenorização das armaduras.

5. Conclusões

O presente artigo apresentou o desenvolvimento e a aplicação de uma rotina de automatização para a pormenorização de armaduras em consolas curtas de betão pré-fabricado, integrada ao ambiente BIM por meio do uso do Dynamo e de nós em Python no Revit. A metodologia baseia-se na formalização de regras geométricas e normativas, garantindo uma pormenorização parametrizada e coerente com as alterações no modelo.

Embora desenvolvida para consolas simples retangulares, a lógica adotada apresenta potencial de extensão para outros elementos estruturais repetitivos, como consolas duplas e dentes Gerber, desde que sejam formalizadas as respectivas regras geométricas e construtivas específicas de cada elemento, sendo a estrutura geral do algoritmo amplamente reutilizável.

Do ponto de vista prático, a solução pode exigir ajustes iniciais, como a compatibilidade de versões, a dependência de pacotes específicos do Dynamo e a configuração da rotina. Contudo, uma vez integrada ao fluxo de trabalho, proporciona ganhos relevantes de consistência e redução de operações manuais. Destaca-se que a abordagem não substitui o dimensionamento estrutural, estando restrita à automatização da modelação e pormenorização das armaduras, permanecendo as verificações dependentes do julgamento técnico do projetista.

No que se refere à interoperabilidade, embora a implementação tenha sido realizada no Revit com Dynamo, as armaduras geradas são elementos nativos do modelo BIM, permitindo sua exportação por formatos abertos, como o IFC (*Industry Foundation Classes*). Essa característica viabiliza a integração com outras plataformas e agentes do processo construtivo, particularmente em contextos de coordenação multidisciplinar e fabricação de elementos pré-fabricados. A estrutura paramétrica e a consistência dos dados também indicam potencial para aplicações futuras no âmbito do OpenBIM, incluindo integração com fluxos de fabricação digital.

A automatização proposta mostra-se mais adequada para elementos com elevada repetição e padronização geométrica, podendo demandar adaptações em situações não convencionais. Ainda assim, a metodologia não está intrinsecamente limitada ao ambiente Revit/Dynamo, podendo ser adaptada a outras plataformas BIM que permitam acesso à geometria e desenvolvimento de rotinas de automatização.

De forma geral, os resultados demonstram que a abordagem contribui para o aumento da consistência, eficiência e qualidade do processo de pormenorização de armaduras em ambiente BIM, contribuindo para a evolução das práticas de projeto em estruturas pré-fabricadas.

Referências

- [1] D. Gutstein, L. Q. Henz, L. A. Tomazoni e P. C. Silva, “O uso do BIM em obras compostas por sistemas estruturais de betão pré-fabricado”, in *Anais do 5º Congresso Português de Building Information Modelling*, Lisboa, Portugal, 2024, vol. 2, pp. 161–172. doi: 10.21814/uminho.ed.142.13.
- [2] D. Gutstein, L. Q. Henz e L. A. Tomazoni, “Primeiro campus no Brasil da WPP: edificação sustentável na esfera da transformação criativa”, *Revista Concreto & Construções*, no. 112, pp. 57–63, 2023.
- [3] J. Hang, J. Teizer, J. Lee, C. Eastman e M. Venugopal, “Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules”, *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 183–195, 2013. doi: 10.1016/j.autcon.2012.05.008.
- [4] M. D. Reghin, “Automação do detalhamento estrutural de consolas curtas em BIM: um estudo de caso”, Dissertação de Mestrado, DEC, Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ipv.pt/entities/publication/28cfb172-b793-4bbe-9b5d-11dd0f447088>.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento”, Rio de Janeiro, Brasil, 2023.
- [6] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), “NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado”, Rio de Janeiro, Brasil, 2017.