

# Automatização do detalhe de armaduras de elementos de betão armado em ambiente BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.28>

**Kleber Oliveira<sup>1</sup>, José Pedro Faria<sup>2</sup>,  
Marco Vieira<sup>3</sup>, José Miguel Castro<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Universidade do Porto, Porto, <https://orcid.org/0000-0001-5638-569X>*

<sup>2</sup> *PROJEGUI, Guimarães*

<sup>3</sup> *PROJEGUI, Guimarães*

<sup>4</sup> *Universidade do Porto, Porto, <https://orcid.org/0000-0001-9732-9969>*

## Resumo

O grande avanço da tecnologia nos últimos anos trouxe mudanças para as mais diversas áreas, e à indústria da construção civil foi beneficiada por esse desenvolvimento. Devido essa evolução, as ferramentas computacionais, estão mais precisas e acessíveis, tanto a nível de hardware como de software.

Um grande avanço para a construção civil, foi o desenvolvimento da metodologia Building Information Modeling (BIM), responsável por disponibilizar um novo meio de gestão da informação de construção, que se baseia no desenvolvimento de um modelo de informação virtual colaborativo. Embora a implementação tenha ocorrido a um ritmo lento, o principal destaque dessa metodologia é a promoção do processo de comunicação e coordenação entre todos os profissionais envolvidos na incorporação de qualquer tipo de edificação. Os softwares que se baseiam no conceito BIM, permitem a automação de tarefas complexas e repetitivas, ao mesmo tempo que reduzem a ocorrência de erros humanos e melhoram o desempenho na concretização do projeto.

Este artigo tem como objetivo evidenciar as vantagens da tecnologia e do conceito BIM no que diz respeito à automatização do processo de detalhamento de armaduras em vigas e pilares, seguindo o fluxo de trabalho entre Excel – Dynamo - Revit, com enfoque não só na redução do tempo de execução dos desenhos, mas também na melhoria da apresentação dos desenhos de armadura - que atualmente são realizados em 2D e com as rotinas desenvolvidas passam a ser visualizados em 3D.

Por fim, com o intuito de avaliar as rotinas desenvolvidas, será apresentado um caso de estudo.

## 1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) está em grande desenvolvimento em busca de um processo mais automatizado e otimizado. Com o progresso da metodologia de Building Information Modeling (BIM), modelos virtuais precisos de edificações passam a ser construídos em ambiente virtual. Ao finalizar o modelo, tem-se a geometria exata e os dados necessários para auxiliar a requisição de materiais de construção, fabricação e a própria construção da edificação [1].

Um dos dados que podem ser obtidos nos modelos são as armaduras dos elementos estruturais, onde podem ser visualizadas todas as soluções e interferências antes de executá-las no local e obter de forma automática os quantitativos.

Ainda que se disponha de meios tecnológicos, a maior parte dos pormenores dos elementos de betão armado ainda são realizados com o recurso ao CAD 2D ou com o desenho individual dos varões de armadura dos elementos em ambiente 3D, o que torna o processo de detalhamento muito moroso.

Este artigo tem como objetivo apresentar um processo para automatização da pormenorização das armaduras de vigas e pilares de betão armado através de um ficheiro com as especificações em Microsoft Excel, além de ter como recurso a extensão de programação Dynamo presente no software Revit, desenvolvido pela empresa Autodesk.

## 2. Objetivos

Este artigo é fruto de uma dissertação de mestrado realizada na FEUP, desenvolvida em ambiente empresarial em parceria com a empresa PROJEGUI e tem como objetivo automatizar a modelação BIM de armaduras no projeto de estruturas.

Para atingir os objetivos da dissertação foi necessário:

- Criar uma folha de cálculo Excel que pudesse receber dados vindos do Revit e alimentar o Dynamo com outros dados (características das armaduras)
- Criar algoritmos para a pormenorização das armaduras de pilares e vigas
- Criar dois algoritmos para realizar o corte das seções transversais dos elementos e para a vista em alçado de vigas

## 3. Softwares BIM

Atualmente há uma grande disponibilidade de softwares para modelação BIM no mercado. O modelo dos objetos é feito com recurso a bibliotecas ou famílias que podem ser criadas e/ou editadas conforme necessário. Os softwares que têm maior visibilidade no mercado são o Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD e Rhinoceros.

Na área das estruturas e mais especificamente para a modelação de armaduras, destacam-se o Autodesk Revit, Tekla Structures e Allplan. A modelação das armaduras no Revit pode ser feita manualmente, com os recursos pré-existentes ou através de plugins que podem ser adquiridos através da Autodesk App Store, como por exemplo o Sofistik, GRAITEC e CADS.

### 3.1. Programação em BIM

O Dynamo é uma ferramenta de programação visual projetada para ser usada por qualquer tipo de usuário: desde aquelas que não tem conhecimento prévio em programação, até programadores em si. Essa ferramenta permite que os usuários verifiquem visualmente o comportamento de scripts, bem como scripts que usam diferentes linguagens de programação de texto [2]. Anteriormente o Dynamo era um plugin para o Revit mas a partir da versão 2020 do software, ele já vem integrado e é atualizado automaticamente.

Adicionalmente, podem ser desenvolvidos plug-ins com recurso a linguagens que trabalhem em ambiente .NET, como C# e JScript, por exemplo. Os plug-ins possuem uma execução mais rápida e estável quando comparado aos códigos em Dynamo [3].

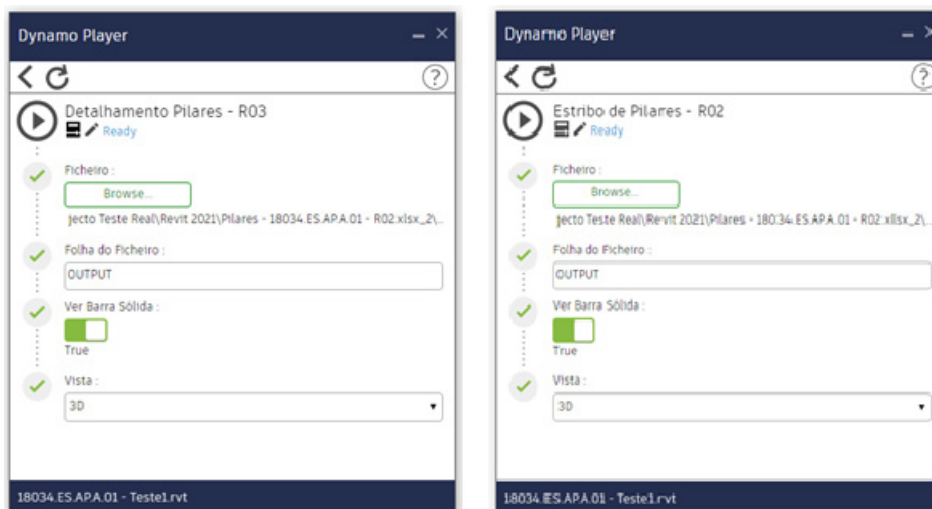
### 3.2. Detalhamento de Estruturas de Betão Armado

O detalhamento das estruturas em betão armado é a forma de comunicação entre o engenheiro de estruturas e o construtor, sendo um processo que requer muita atenção, para que não haja muitas dúvidas ou interpretação errônea dos desenhos finais. Ainda hoje, grande parte dos gabinetes em Portugal seguem o fluxo de trabalho tradicional, com desenhos obtidos através do recurso ao CAD 2D. Com a modelação das armaduras em ambiente BIM, podemos visualizar o elemento com todas as armaduras necessárias e assim obter os mapas de quantidade e verificar possíveis incompatibilidades.

## 4. Códigos

### 4.1. Desenvolvimento dos Códigos

Foram desenvolvidos 9 códigos para a dissertação, sendo um deles responsável por apagar as armaduras nos elementos selecionados, dois para extrair informações do Revit, dois para a geração dos cortes da secção dos elementos, além da vista em alçado das vigas, e quatro para a execução da pormenorização das armaduras. Neste artigo optou-se por dar enfoque aos dois códigos de pormenorização dos elementos, sendo um para a criação das armaduras longitudinais e outro para os estribos, para cada elemento estrutural, ou seja, dois códigos para pilares e dois para vigas. Os códigos são acessíveis através do Dynamo Player, conforme pode ser visto na Figura 1 e para a execução necessitam do ficheiro em Excel e o modo de visualização das armaduras. Apesar dos códigos para os diferentes elementos possuírem diferenças na sua construção interna, a interface deles foi mantida igual.



**Figura 1**  
Interface dos códigos para detalhamento das armaduras dos pilares.

O principal desafio foi o desenvolvimento da rotina para detalhamento das armaduras longitudinais de base das vigas, uma vez que a rotina precisa detalhar a armadura em diferentes extensões do elemento, por vezes tendo que levar a armadura até a face interior do pilar ou a face interior da viga, que corresponde à distância do recobrimento e em outros casos tendo que interromper a armadura no eixo do pilar. É importante deixar claro que o código das armaduras longitudinais só tem capacidade de criar os reforços com a extensão colocada pelo usuário, não fazendo a dispensa automática de armadura. A rotina desenvolvida também faz o desenho dos ganchos onde seja necessário, porém como é o gancho gerado automaticamente pelo Revit o comprimento é definido dentro do tipo de varão, podendo não traduzir o comprimento necessário de amarração.

Na rotina de detalhamento dos pilares, o principal desafio esteve relacionado com o desenvolvimento dos estribos secundários, quando há necessidade de barras adicionais nos lados dos pilares quadrados e retangulares.

É importante realçar que na rotina para realização dos cortes nas secções das vigas, são efetuados três cortes, sendo um a meio vão e dois em locais variáveis definidos pelo usuário.

Com exceção das duas rotinas que extraem informações do Revit, os outros 7 códigos seguem a mesma lógica no fluxo de trabalho, que se resume a inserção dos dados no ficheiro em excel, execução da rotina e visualização dos resultados no Revit.

#### 4.2. Ficheiros Excel

Conforme referido anteriormente, o ficheiro Excel foi criado para a introdução dos dados relativos às armações das vigas e dos pilares. O ficheiro é constituído por duas folhas, tendo a primeira recebido o nome de INPUT, a qual, no caso do código de pilares recebe as informações do Revit sobre o nome (“Mark”), as dimensões e o comprimento dos elementos estruturais. No caso das vigas, a única alteração é relativa

ao comprimento, que ao invés de ser o comprimento total da viga é o comprimento entre as faces externas dos pilares, identificado no Revit como “Cut Length”. No desenvolvimento deste trabalho recorreu-se ao plug-in OnboxApp [4] para nomear as vigas e pilares no ficheiro do Revit.

	A	B	C	D
1	Mark	Cut Length	h	b
2	V201	1,71	0,75	0,25
3	V202	4,76	0,8	0,25
4	V203	5,69	0,8	0,25
5	V204	4,64	0,7	0,25
6	V205	4,39	0,6	0,25

**Figura 2**  
INPUT do ficheiro de vigas.

	A	B	C	D
1	Mark	Length	h	b
2	P1 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
3	P2 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
4	P3 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
5	P4 Lance 1 a 2	3,44	0,25	0,25
6	P5 Lance 1 a 2	3,44	0,85	0,25

**Figura 3**  
INPUT do ficheiro de pilares.

A segunda folha (OUTPUT) possui mais diferenças quando comparada com a folha dos pilares e as vigas. As duas primeiras colunas são iguais em ambos os ficheiros. A primeira coluna é preenchida com 1 ou 0, para, respetivamente, processar ou não o elemento da linha. Já na segunda coluna coloca-se o “Element Mark”, dado que pode ser obtido na folha INPUT do mesmo ficheiro.

As informações requeridas para os pilares são referentes aos diâmetros das barras de armadura que serão utilizadas, as quantidades, as distâncias e o espaçamento dos estribos. As Figuras 4 e 5 mostram como estão organizados esses dados e o respetivo preenchimento.

	A	B	C	D	E	F
1	Processar	Element Mark	φ Barras Cantos	φ Barras Lado Maior	Nº Barras Lado Maior	φ Barras Lado Menor
2	1	P1 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
3	0	P2 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
4	0	P3 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
5	0	P4 Lance 1 a 2	Ø16	0	0	0
6	0	P5 Lance 1 a 2	Ø16	Ø16	4	0
7	0	P5 Lance 2 a 3	Ø16	Ø16	4	0

**Figura 4**  
1ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de pilares).

	G	H	I	J	K	L	M
	Nº Barras Lado Menor	φ Estribo	Dist. Inicial	Dist. Final	Esp. Estribo Inicial	Esp. Estribo Meio	Esp. Estribo Final
	0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
	0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
	0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
	0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1
	0	Ø8	0	0	0.1	0.1	0.1

**Figura 5**  
2ª parte da folha OUTPUT (ficheiro de pilares).

Para o ficheiro de vigas as informações contempladas são referentes ao diâmetro das armaduras de base, reforço e estribo, o número e comprimento dos reforços, assim como as distâncias e espaçamento dos estribos. As Figuras 6 a 8 exemplificam os dados das vigas.

**Figura 6**  
1ª parte da folha  
OUTPUT (ficheiro de  
vigas).

	A	B	C	D	E	F	G
1	Processar	Element Mark	φ Bar. Sup. - Base	φ Bar. Inf. - Base	Nº Bar. Sup. - Ref. - Ini.	φ Bar. Sup. - Ref. - Ini.	Compr. Bar. Sup. - Ref. - Ini.
2	0	V201	Ø16	Ø16	2	Ø16	1
3	0	V202	Ø20	Ø25	0	0	0
4	0	V203	Ø25	Ø25	2	Ø25	1.89
5	0	V204	Ø20	Ø20	0	0	0
6	0	V205	Ø20	Ø20	0	0	0
7	0	V206	Ø20	Ø20	0	0	0

**Figura 7**  
2ª parte da folha  
OUTPUT (ficheiro de  
vigas).

H	I	J	K	L	M
Nº Bar. Sup. - Ref. - Fin.	φ Bar. Sup. - Ref. - Fin.	Compr. Bar. Sup. - Ref. - Fin.	Nº Bar. Inf. - Ref.	φ Bar. Inf. - Ref.	Compr. Bar. Inf. - Ref.
0	0	0	2	Ø16	1
2	Ø25	1.91	1	Ø25	4.7
1	Ø25	2.17	1	Ø25	6
0	0	0	0	0	0
1	Ø20	2.02	2	Ø20	3
1	Ø20	1	0	0	0

**Figura 8**  
3ª parte da folha  
OUTPUT (ficheiro de  
vigas).

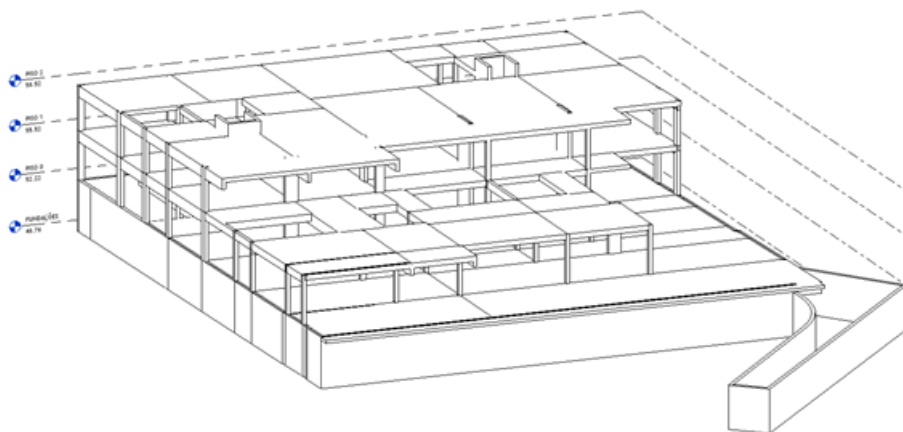
N	O	P	Q	R	S
φ Est.	Dist. Ini.	Dist. Fin.	Esp. Est. Ini.	Esp. Est. Meio	Esp. Est. Fin.
Ø8	0.5	0	0.1	0.2	0.2
Ø8	1	1	0.2	0.2	0.2
Ø8	1	1.47	0.2	0.2	0.1
Ø8	0	0	0.2	0.2	0.2
Ø8	0	0	0.3	0.3	0.3
Ø8	0	0	0.2	0.2	0.2

### 4.3. Modelação da Estrutura

Para o correto funcionamento dos códigos os pilares e as vigas devem ser modelados como elementos únicos. Sendo assim, os pilares devem ser modelados piso a piso e as vigas devem ser modeladas tramo a tramo. A forma como as lajes e paredes são modeladas não influencia o resultado.

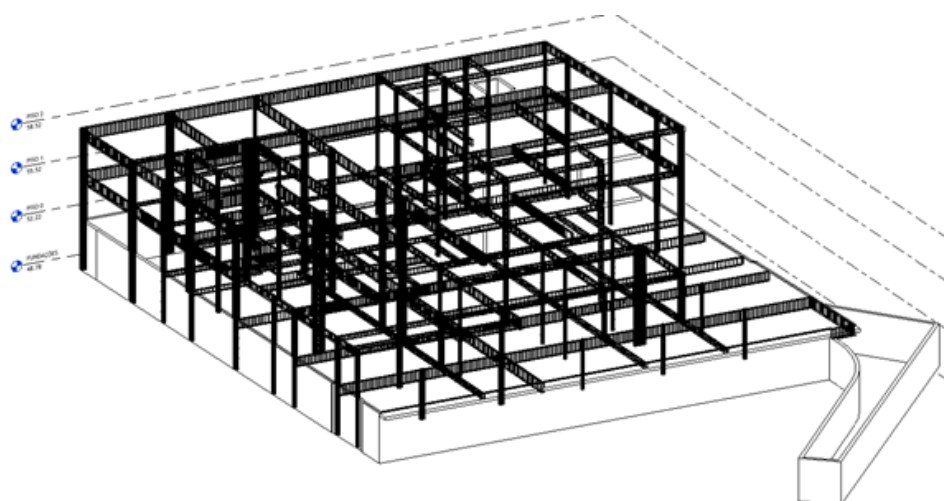
## 5. Caso de Estudo

O edifício do caso de estudo é constituído por uma cave e 5 pisos. No entanto, para efeito de validação dos códigos foi reduzido a cave e 2 pisos, conforme se ilustra na Figura 9. A cave é composta por 95 pilares e 76 vigas, o rés-do-chão possui 77 pilares e 89 vigas e o piso 1 possui 31 pilares e 60 vigas. A O modelo 3D da estrutura e os ficheiros. DWF com as informações necessárias sobre as armaduras foram fornecidos pela empresa PROJEGUI.

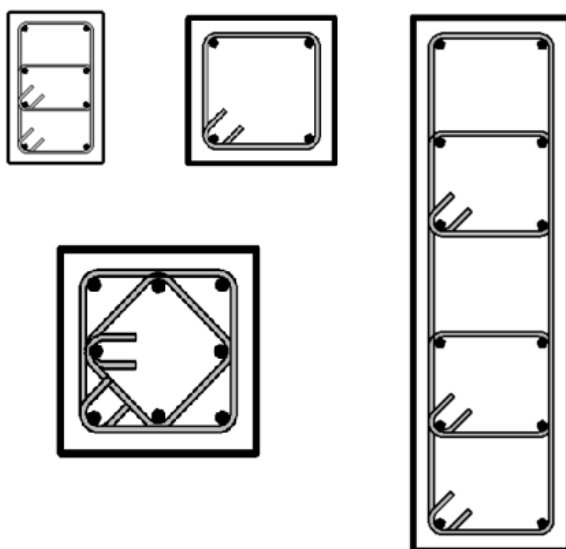


**Figura 9**  
Visão geral do edifício.

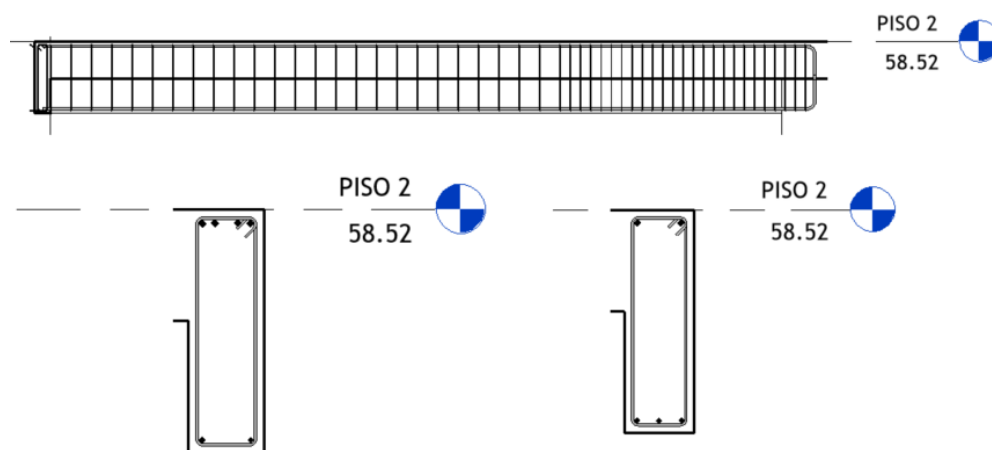
Após a execução das rotinas obtiveram-se dos resultados que podem ser visualizados nas figuras seguintes.



**Figura 10**  
Visão geral do edifício  
com armaduras nos  
pilares e vigas.



**Figura 11**  
Corte de pilares após a  
execução dos códigos.



**Figura 12**  
Corte de vigas após a execução dos códigos.

Foram realizados testes para aferir o tempo de execução dos códigos. Para maior precisão de tempo de execução, foi usada a extensão TuneUp [5].

As tabelas a seguir contêm os tempos de execução das rotinas em milissegundos com o número de pilares/vigas que foram selecionados na planilha em Excel e o número de elementos que foram gerados (armaduras, vistas e informações) ou apagados. Os testes foram realizados num portátil com processador i7 10875H @ 2.3-4.9 GHz e 16 Gb de memória RAM.

**Tabela 1**  
Tempos de *benchmark* para geração de cortes – Pilares.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Pilares	Tempo (ms)
1	1	295
10	10	698
30	30	1733
50	50	2944

**Tabela 2**  
Tempos de *benchmark* para geração de cortes – Vigas.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Vigas	Tempo (ms)
4	1	429
40	10	1349
80	20	2943
120	30	3913

**Tabela 3**  
Tempos de *benchmark* para pormenorização de estribos – Pilares.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Pilares	Tempo (ms)
1	1	776
51	10	1224
135	30	2615
219	50	4027



Quantidade de Elementos Criados	Número de Vigas	Tempo (ms)
2	1	5644
26	10	8453
37	20	13497
51	30	21084

**Tabela 4**

Tempos de *benchmark* para pormenorização de estribos – Vigas.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Pilares	Tempo (ms)
1	1	568
15	10	1173
43	30	2950
71	50	3666

**Tabela 5**

Tempos de *benchmark* para pormenorização das armaduras longitudinais – Pilares.

Quantidade de Elementos Criados	Número de Vigas	Tempo (ms)
1	1	58290
15	10	61895
28	20	62387
43	30	60328

**Tabela 6**

Tempos de *benchmark* para pormenorização das armaduras longitudinais – Vigas.

A criação de rotinas permite que as armaduras sejam criadas mais rapidamente e visualizadas em ambiente 3D, proporcionando uma melhor visualização das armaduras, podendo inclusive detetar eventuais interferências/sobreposições de vergalhões.

As tabelas acima são apenas uma amostra dos resultados obtidos, para maiores informações, o leitor deve consultar [7].

## 6. Desenvolvimentos Futuros

Após a realização deste trabalho verifica-se que existe uma oportunidade para melhoria das rotinas desenvolvidas, seja para aumentar as funcionalidades, ou melhorar o desempenho computacional. Assim, abaixo apresenta-se algumas recomendações para desenvolvimentos futuros:

- Otimização das rotinas em Dynamo (através da redução do número de nós ou funções utilizadas, como também transformando a rotina de nós para Python Script);
- Transformar os códigos que estão em Dynamo para uma API do Revit através da programação em C#;
- Criação de uma ferramenta que faça a ligação da folha de cálculo dos elementos com a folha de dados dos elementos em Excel que servirá para o código;
- Melhoria nos códigos de detalhamento das armaduras longitudinais e estribos para detalhar elementos com seções diferentes das retangulares e quadradas;
- Criação de código que junte os cortes das vigas e pilares em folhas que serão posteriormente enviadas ao dono de obra.

## Referências

- [1] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. *Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores Incorporadores*, Bookman, Porto Alegre, 2014.
- [2] The Dynamo Primer. <https://primer.dynamobim.org/> (consultado em maio de 2021)
- [3] Villarroel, J. *Rebar Detailing of Seismic Wall-Based Buildings Using Revit API and ETABS*. 2019. <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Rebar-Detailing-Seismic-Wall-Based-Buildings-Using-Revit-API-and-ETABS-2019> (consultado em maio de 2021)
- [4] Onbox App. <http://onboxdesign.com.br/> (consultado em maio de 2021)
- [5] TimeUp. <https://dynamobim.org/tuneup-extension-explore-your-node-and-graph-execution-times/> (consultado em maio de 2021)
- [6] K. Oliveira, “Automatização do detalhe de armaduras de elementos de betão armado em ambiente BIM”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021