

APLICAÇÃO DO DESIGN GENERATIVO NAS TECNOLOGIAS BIM

Inês Caetano ⁽¹⁾, António Leitão ⁽¹⁾ e Francisco Teixeira Bastos ⁽²⁾

(1) INESC-ID/IST, Lisboa;

(2) CERis, Instituto de Engenharia de Estruturas Território e Construção/IST, Lisboa

Resumo

Ultimamente, as tecnologias BIM têm vindo a substituir as ferramentas CAD tradicionais, por permitirem aos seus utilizadores associar informação de natureza construtiva e de comportamento dos materiais aos elementos constituintes dos seus modelos 3D. Por outro lado, o Design Generativo, uma abordagem algorítima ao design, tem permitido a mecanização de tarefas de design e a produção de geometrias de crescente complexidade. Dadas as potencialidades destas duas abordagens, têm sido desenvolvidas formas de combinar BIM com Design Generativo.

O trabalho desenvolvido neste artigo está inserido num projeto de arquitetura da autoria do Atelier dos Remédios e dos FOR-A. O desafio proposto foi a criação de um conjunto de fachadas perfuradas para um edifício de habitação na área de Lisboa. A exploração destes elementos arquitetónicos foi feita usando Design Generativo para BIM.

O desenvolvimento deste trabalho foi feito utilizando o Rosetta, um IDE para Design Generativo que suporta *scripts* usando diversas linguagens de programação e permite a visualização e a edição dos seus resultados em diversas aplicações CAD e BIM. Resultou um modelo de informação que incluiu três fachadas de composição geométrica parametrizável, com capacidade de extrapolação de quantidades de material utilizado e de ensaios de desempenho da construção.

1. Introdução

As ferramentas de *Computer-Aided Design* (CAD) foram criadas para aumentar a eficiência do processo de projecto. Não só têm ajudado os arquitetos a produzirem desenhos técnicos e modelos mais precisos, como também têm facilitado a edição dos mesmos. Contudo, quando a

complexidade dos modelos aumenta, estas ferramentas apresentam algumas limitações devido ao facto de não serem suficientemente flexíveis. Para ultrapassarem estas limitações, muitas destas ferramentas foram estendidas de modo a já permitirem a utilização do Design Generativo (*Generative Design-GD*) [1].

Por outro lado, o *Building Information Modeling* (BIM) veio alterar o paradigma no processo de projecto e construção, introduzindo novas funcionalidades na prática de projecto digital. Isto porque, para além de lidarem com a geometria tipicamente suportada pelas ferramentas CAD, as tecnologias BIM relacionam os elementos do edifício de uma forma paramétrica e associativa, atribuindo simultaneamente semântica aos mesmos [2]. Em termos práticos, esta metodologia representa uma base de dados de informação a ser partilhada por todos os intervenientes durante o ciclo de vida de um edifício, entre eles a arquitetura, as especialidades e a construção [3]. Esta informação pode ser também utilizada em processos de análise com vários critérios de desempenho (i.e., arquitetural, estrutural, energético, acústico, etc) [4]. Consequentemente, isto permite aos arquitetos, em especial, ganhar controlo sobre a informação e a conceção do edifício, em todas as fases do projeto [2].

Tal como aconteceu com as ferramentas CAD, o BIM foi também combinado com o GD numa recente abordagem de projeto, ao qual podemos chamar de BIM Algorítmico [5] [6]. O exemplo desenvolvido neste artigo já utiliza esta nova abordagem no desenvolvimento de um conjunto de fachadas algorítmicas para um edifício de habitação na área de Lisboa.

2. Processos Algorítmicos

A criatividade é caracterizada pela inconstância e a imprecisão [7], sendo assim necessário um processo de concepção que aceite facilmente a mudança. Infelizmente, as ferramentas de projecto tradicionais não facilitam as alterações devido ao facto de exigirem muito tempo e esforço para modificar os modelos desenvolvidos.

Contudo, as tecnologias mais recentes já permitem que a exploração arquitetónica vá para além das possibilidades tradicionais, promovendo o desenvolvimento e a proliferação de formas complexas, novos padrões e métodos de fabricação avançados [8].

O Design Generativo (GD) é uma abordagem de desenho que gera formas através de algoritmos [9]. Esta abordagem permite gerar uma gama variada de soluções num curto espaço de tempo, ao mesmo tempo evitando as tarefas repetitivas e bastante morosas necessárias na modelação usando as ferramentas CAD e BIM. De modo a usar esta abordagem, em vez do arquiteto ir diretamente da ideia para a forma, ele tem que desenvolver uma etapa intermédia onde produz uma definição algorítmica do design a produzir [10], na qual estão declarados os parâmetros do mesmo e as dependências entre estes (ver o exemplo na Figura 1).

Embora inicialmente a maioria das ferramentas de GD tenha sido desenvolvida para os ambientes CAD, já existem algumas extensões capazes de incorporar esta abordagem no paradigma BIM.

3. BIM Algorítmico

Tal como as tecnologias CAD, algumas ferramentas BIM também já beneficiam de processos algorítmicos. Algorithm-Aided BIM [6] ou Algorithmic-Based BIM [5] são alguns dos nomes pelo qual este novo paradigma é conhecido. O *Dynamo*, o *GenerativeComponents*, o *Lyrebird*, e o *RosettaBIM* são alguns exemplos de extensões que permitem aos seus utilizadores explorarem abordagens algorítmicas em aplicações BIM.

O *Dynamo* [11] é uma extensão do Revit que utiliza uma linguagem de programação visual, cuja dinâmica de trabalho se baseia na associação de *nós* através de *fiões* que transportam informação entre estes. As ligações entre *nós* associam duas portas de nós distintos, uma de saída e a outra de entrada, que suportem o mesmo tipo de informação.

Lyrebird [12] é uma extensão que foi desenvolvida para o *Grasshopper* [13], uma linguagem de programação visual para o Rhinoceros 3D (ver Figura 1) com uma dinâmica de trabalho muito semelhante à do *Dynamo*, permitindo a utilização do *Grasshopper* em ferramentas BIM como o Revit.

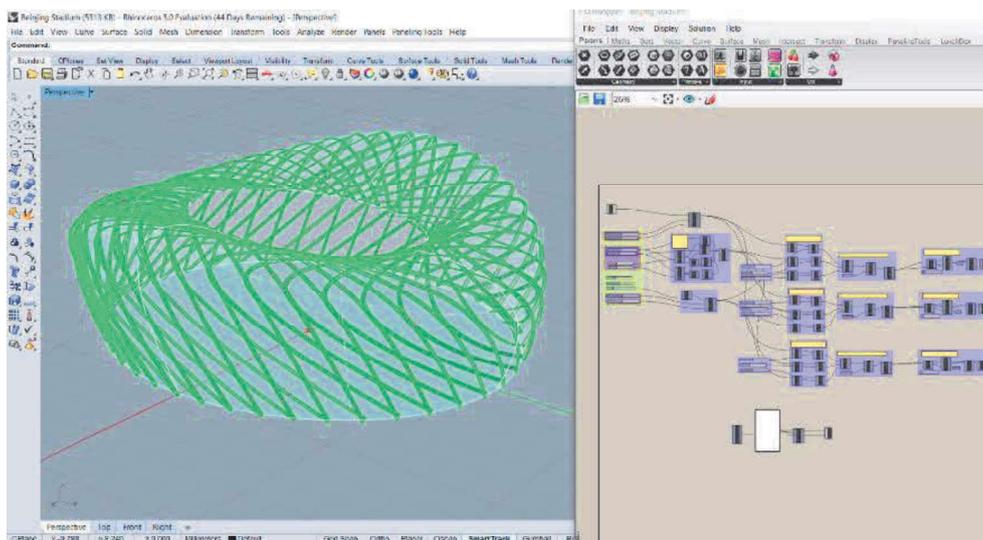


Figura 1: Exemplo de Design Generativo - modelo em Rhinoceros (esquerda) gerado por um conjunto de algoritmos implementados em *Grasshopper* (direita).

O *GenerativeComponents* [14] é um sistema paramétrico e associativo desenvolvido para o *Microstation* [15], a ferramenta BIM da Bentley.

Finalmente, o *RosettaBIM* [16] [5] [17] é uma ferramenta de GD que suporta diversas linguagens de programação textuais, como por exemplo o *Python*, *AutoLISP* e o *Racket*, e que permite a portabilidade entre diversas ferramentas CAD, incluindo o *AutoCAD*, o *Rhinoceros 3D* e o *SketchUP* e BIM, incluindo o *Revit* e o *ArchiCAD*.

Para o desenvolvimento do projeto descrito neste artigo, utilizámos o *RosettaBIM* devido à portabilidade que este permite entre diferentes ferramentas BIM.

4. Caso de Estudo

O trabalho desenvolvido está inserido num projeto de arquitetura da autoria do Atelier dos Remédios em parceria com os FOR-A. O desafio proposto foi criar uma fachada perfurada que assegurasse diferentes permeabilidades, para um edifício de habitação na área de Lisboa. Como já foi referido em secções anteriores, optou-se pela exploração deste elemento arquitetónico usando uma abordagem algorítmica para BIM.

4.1 Descrição do Projeto

O projeto consistiu num edifício de habitação para a zona de Belém. Mais precisamente, o lote da intervenção localizava-se na rua da Junqueira e possuía uma preexistência que teria de ser mantida no desenvolvimento do novo projeto (Figura 2.A). Esta acabou por ficar incorporada na fachada principal do edifício, virada para a rua da Junqueira (Figura 2.B).



Figura 2: A- Fotografia de rua do lote de intervenção, autoria Atelier dos Remédios; B- Maquete de estudo do projeto. As preexistências estão representadas a branco e a volumetria da proposta a azul. C- Esquema da planta da proposta com os estudos de vistas e a iluminação/exposição solar.

O projeto proposto era composto por cinco pisos, um piso de estacionamento e quatro de habitação com quatro tipologias diferentes. Contudo, ao nível da rua apenas estariam visíveis três dos pisos, sendo que os dois primeiros ficariam a uma cota inferior, i.e. um estaria totalmente enterrado (o estacionamento) e o outro semienterrado.

O edifício em forma de *U* criava um pátio interior central localizado ao nível do primeiro piso de habitação, ou seja, com uma cota inferior à do nível da rua, facto que garantia que todos os apartamentos estivessem virados para esse pátio. Como o lote em causa está localizado entre dois lotes edificadas, esta solução conseguia assim fornecer iluminação natural a todos os apartamentos (Figura 2.C).

O desafio apresentado foi desenvolver um conjunto de três fachadas para este edifício de habitação:

- A fachada exterior norte, com frente para a rua da Junqueira;
- A fachada exterior oeste, para o lote vizinho e futura rua a criar;
- Uma fachada interior virada para o pátio central.

Inicialmente, foi feita a descrição da inspiração/conceito para as fachadas a desenvolver (ver Figura 3), o que serviu como ponto de partida para a exploração do desenho da mesma. A ideia dos arquitetos tinha como base a criação de uma “pele arquitetónica” que seria mais ou menos perfurada consoante a função do espaço atrás: mais permeável, quando a área da fachada coincidissem com os pátios interiores; menos permeável ou opaca, quando coincidente com as zonas privadas, como os quartos ou cozinha.

Numa primeira fase, a materialização deste conceito *permeabilidade-opacidade* foi deixado em aberto. Como resultado, houve o desenvolvimento de um conjunto de soluções possíveis com características bastante diversas. Deste modo, os arquitetos puderam assim avaliar as várias soluções e, simultaneamente, sugerir alterações que eram incorporadas nas soluções seguintes. Assim, o desenrolar deste processo foi feito de forma dinâmica com a participação e *feedback* imediato de ambas as partes. Isso permitiu uma escolha final mais pensada e de acordo com a intenção dos arquitetos.



Figura 3: Kolumba Museum em Colónia, pelo arquiteto Peter Zumthor – referência de jogo de tijolos para a fachada do edifício (<http://thetomorrow.net/events/venues/kolumba/>).

4.2 Soluções de Fachadas

Com base nas premissas fornecidas e nos dados do projeto de arquitetura do edifício, gerou-se um conjunto de fachadas com características bastantes diferentes, embora seguindo sempre o conceito-base referido na secção anterior. Como foi referido anteriormente, o desenvolvimento das diversas opções foi feito usando uma abordagem de DG. Para tal, foi desenvolvido primeiramente um programa que codificou as várias premissas e informações relativas ao

projeto. De seguida, foram adicionados a esse programa base conjuntos de novos parâmetros de modo a gerar diferentes padrões para as fachadas. A Figura 4 sumariza alguns dos modelos que foram desenvolvidos.

Como nesta etapa ainda não havia a definição do material a aplicar na fachada, os resultados propostos tiram proveito de diversas técnicas e características de mais do que um material, como por exemplo o tijolo (Figura 4.A), o azulejo (Figura 4.B), o metal (Figura 4.C) ou o betão (Figura 4.D).

4.3 Desenho da Fachada Final

Do leque de soluções apresentadas, escolheu-se conjugar as ideias subjacentes às propostas *A* e *B* da Figura 4, optando por combinar a existência de dois tamanhos diferentes de tijolos (Figura 4.B), que seriam colocados de modo a criar saliências aleatórias, com a existência pontual de vazios, i.e. ausência de tijolos (Figura 4.A).

Com vista a um maior controlo na exequibilidade e custo da solução, os arquitetos ainda sugeriram alterar o grau de variação do padrão final. Tomando por exemplo a proposta da Figura 4.A, que continha tijolos colocados de modo a criar saliências com quatro dimensões diferentes, foi sugerido reduzir o número de dimensões possíveis das saliências aleatórias para apenas dois valores.

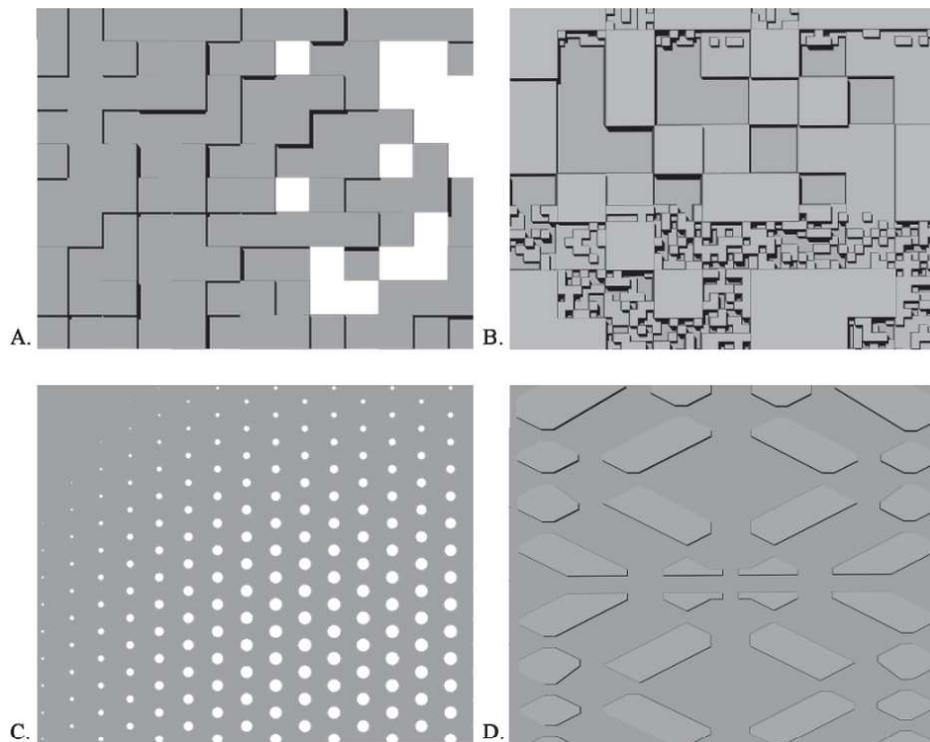


Figura 4: Algumas das ideias desenvolvidas para o padrão da fachada. A- Elementos quadrangulares colocados mais ou menos recuados de forma aleatória; B- Azulejos quadrangulares aleatoriamente subdivididos em quadrados 5 vezes mais pequenos; C- Perfurações circulares para criar diferentes transparências; D- Relevos inspirados num padrão típico dos azulejos portugueses.

Com o mesmo objetivo, foi proposto utilizarem-se apenas tijolos retangulares de dois tamanhos diferentes, em que o maior tivesse o dobro das dimensões do mais pequeno (tijolos 60x20cm ou 30x10cm), sendo a escolha entre colocar um tijolo grande ou quatro pequenos controlada por um parâmetro aleatório.

Por fim, os arquitetos sugeriram apenas existirem vazios quando criados pela ausência de tijolos mais pequenos, controladas de forma aleatória.

Em suma, a ideia dos arquitetos consistia em manter o conceito de aleatoriedade e irregularidade do padrão mas com variáveis de desenho mais restritas.

A Figura 5 representa conceptualmente o padrão final obtido após a implementação das sugestões feitas pelos arquitetos, e também da aplicação das dimensões reais dos elementos que viriam a constituir as fachadas.

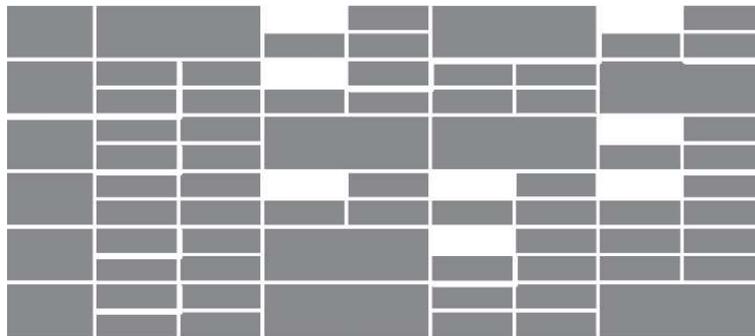


Figura 5: Padrão escolhido para aplicar nas fachadas – utilização de tijolos empilhados com dois tamanhos diferentes, 60x20 cm ou 30x10 cm. Criação de vazios aleatórios através da ausência pontual dos tijolos mais pequenos.

As sugestões referidas foram adicionadas facilmente no programa de GD vindo a ser desenvolvido e, produzindo uma nova proposta para a fachada, permitindo assim aos arquitetos a visualização rápida do resultado obtido já com as restrições implementadas (ver Figura 6). Na fase seguinte, produziram-se os modelos das três fachadas já com base em medidas reais, ou seja, já com as dimensões dos tijolos a utilizar no projeto final e as dimensões das três fachadas a desenvolver (comprimentos e alturas das mesmas e as zonas em que ocorreriam as variações de transparência).

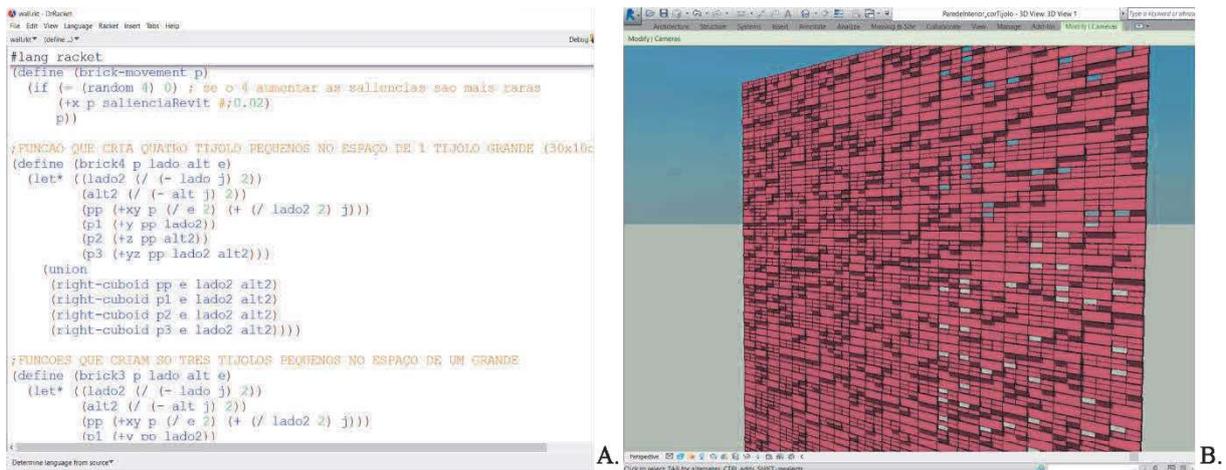


Figura 6: A visualização do programa algorítmico desenvolvido (A) e do modelo correspondente produzido em Revit (B).

Devido ao facto de termos usado uma abordagem algorítmica na exploração destas fachadas, a aplicação de pequenas alterações e variações aos modelos foi feita de forma quase imediata, o que permitiu aperfeiçoar os modelos gradualmente até ficarem totalmente de acordo com o gosto e a intenção inicial dos arquitetos.

Na Figura 7 estão representadas algumas das variações que foram sendo aplicadas ao modelo da fachada interior do edifício, i.e. virada para o pátio interior. As variações que são testadas são (1) a percentagem de tijolos que ficam salientes, e (2) o grau de perfuração/transparência de certas zonas da fachada.

Por fim, conjugaram-se os modelos das fachadas e do modelo final do edifício, por importação e implantação nos locais corretos, dos primeiros no último ficando assim o modelo da proposta completo. A Figura 8 mostra duas imagens finais da proposta já com as fachadas. Na imagem da direita são visíveis duas das fachadas, a norte e a oeste. Na imagem da esquerda é visível a fachada interior que está virada para o pátio central.

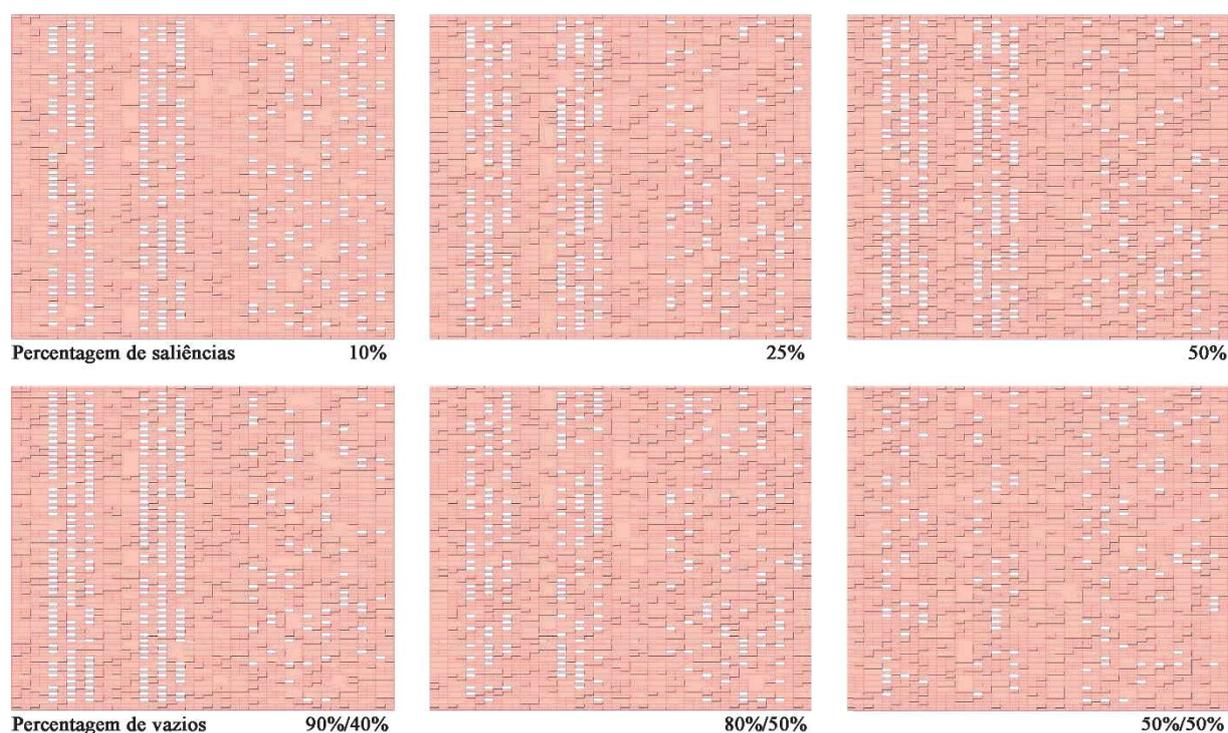


Figura 7: Variações sobre o padrão final da fachada interior – variação do número de tijolos salientes e da percentagem de ausência de tijolos.

5. Conclusões

Recentemente, o paradigma BIM e o Design Generativo começam a ser combinados no desenvolvimento de modelos arquitetónicos, possibilitando assim usufruir das vantagens de ambas as abordagens no processo de desenho do arquiteto. Este artigo apresenta um caso de estudo que se integra neste novo paradigma do BIM algorítmico, pois utiliza processos algorítmicos em BIM no desenvolvimento de elementos arquitetónicos: um conjunto de fachadas para um edifício de habitação na área de Lisboa.

Embora o objetivo inicial fosse desenvolver o conjunto de variações dos diversos modelos diretamente no Revit, por ser a ferramenta utilizada por ambos os ateliers, durante o projeto constatámos que a geração das soluções neste software BIM era demasiado lenta, não permitindo assim o feedback imediato e a dinâmica de design necessários. Em situações como esta, o RosettaBIM é bastante útil pois permite a portabilidade necessária entre ferramentas, tirando assim o melhor proveito de cada uma delas. Assim, numa fase mais inicial, como a gama de variação das propostas era bastante ampla, os modelos produzidos foram visualizados em AutoCAD, pois este permitiu uma performance superior. Numa fase mais avançada do processo, em que a modelação geométrica das fachadas já estava praticamente definida, o programa desenvolvido que estava a gerar os resultados no AutoCAD, passou agora a produzir modelos idênticos no Revit apenas sendo necessário acrescentar a informação das famílias BIM a utilizar.



Figura 8: Imagens finais do projeto proposto. À Direita: Fachada virada para a rua da Junqueira (Norte). À Esquerda: Fachada virada para o pátio interior.

O facto de utilizarmos uma abordagem algorítmica potenciou o poder criativo dos arquitetos envolvidos no projeto, em particular:

1. Permitiu explorar de forma controlada uma vasta gama de soluções num curto espaço de tempo, o que seria difícil e moroso utilizando o processo manual;
2. Facilitou a integração de alterações nas soluções sucessivamente desenvolvidas, permitindo assim uma interatividade quase imediata entre os arquitetos e os modelos.
3. Possibilitou a geração e visualização de soluções para além das idealizadas pelos arquitetos, tornando-se por isso uma ferramenta de apoio à conceção.
4. Abriu a possibilidade de se elaborarem ensaios de desempenho da construção.

Por outro lado, como o programa foi desenvolvido no RosettaBIM, este permitiu tirar proveito da velocidade e flexibilidade do AutoCAD numa fase inicial, cruzando-a com a informação construtiva necessária para o modelo BIM em Revit numa fase de finalização. Deste modo, através da combinação das aplicações CAD e BIM conseguiu-se beneficiar duma abordagem algorítmica e, simultaneamente, aplicar a mesma no paradigma BIM.

Referências

- [1] R. Hudson, “Strategies for parametric design in architecture (PhD Thesis),” University of Bath, Department of Architecture and Civil Engineering, 2010.
- [2] P. Russel e D. Elger, “The Meaning of BIM,” Antwerpen (Belgium) , 2008.
- [3] J. C. Lino, M. Azenha e P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” em Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012 , FEUP, Porto, 2012.
- [4] M. R. Asl, M. Bergin, A. Menter e W. Yan, “BIM-based Parametric Building Energy

- Performance Multi-Objective Optimization,” Newcastle upon Tyne, England, UK, 2014.
- [5] S. Feist, G. Barreto, B. Ferreira e A. Leitao, “Portable Generative Design for Building Information Modelling,” em CAADRIA 2016, Melbourne, Australia, 2016.
- [6] H. Humppi e T. Österlund, “Algorithm-Aided BIM,” University of Oulu, Oulu, Finland, 2016.
- [7] A. F. Bukhari, “A Hierarchical Evolutionary Algorithmic Design (HEAD) System for Generating and Evolving Buildings Design”, Queensland University of Technology, 2011.
- [8] B. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Designing and Manufacturing*. Spon Press, 2003.
- [9] K. Terzidis, *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*: Spon Press, 2003.
- [10] A. Leitão, “Teaching Computer Science for Architecture,” em Future Traditions: 1st eCAADe Regional International Workshop, FAUP, Porto, Portugal, 2013.
- [11] Autodesk, “The Dynamo Primer,” 2015. [Online]. <http://www.dynamoprimer.com/>.
- [12] L. Architects, “Superb Lyrebird,” 2014. [Online]. <https://lmnarchitects.com/tech-studio/bim/superb-lyrebird/>.
- [13] D. Rutten, “Grasshopper 3D,” Robert McNeel & Associates, 2007. [Online]. <http://www.grasshopper3d.com/>.
- [14] B. Systems, “Bentley,” 2007. [Online]. Available: www.bentley.com/en/products
- [15] B. Systems, “Bentley,” [Online]. Available: www.bentley.com/en/products/brands/microstation
- [16] B. Ferreira e A. Leitão, “Generative Design for Building Information Modeling,” em 33rd eCAADe Conference, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 2015.
- [17] J. Lopes e A. Leitão, “Portable Generative Design for CAD Applications.,” em ACADIA 11: Integration Through Computation, Banff, Alberta, 2011.