2020 ENTAC
XVIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais
Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

ARQUITETURA ALGORÍTMICA: UM MÉTODO DE GERAÇÃO OTIMIZADA DE LAYOUTS[1]

BARBIM, D. (1); ALMEIDA, F. S. (2); VAZ, C. E. V. (3)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, danielabarbimg@gmail.com
(2) Universidade Federal de Santa Catarina, fernandosilvaalmeida@hotmail.com
(3) Universidade Federal de Santa Catarina, carlos.vaz@ufsc.br

RESUMO

O gerenciamento de projetos está diretamente associado à construção sustentável. De acordo com Mascaró (2014) a definição dos planos verticais é responsável por aproximadamente 45% do valor final de uma edificação. Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um algoritmo de otimização que propõe reduzir o número de eixos horizontais e verticais em plantas baixas residenciais, simplificando o número de alinhamentos de paredes, mas sem alterar a linguagem arquitetônica, apresentando uma alternativa de layout em relação ao projeto inicial. O método é dividido em 3 estágios: (1) seleção da planta: análise manual no software AutoCAD 2D; (2) análise e definição das regras: pré-requisitos, regras, restrições espaciais; e (3) determinação do algoritmo, implementação, geração e avaliação das soluções pelo arquiteto projetista. Com a aplicação do algoritmo, foi obtido uma redução de 37,5% de eixos verticais e 20% de eixos horizontais de paredes, comparado ao layout inicial.

Palavras-chave: *Layout, Algoritmo de Otimização, Planta Baixa, Sustentabilidade.*

ABSTRACT

The project management in Architecture, Engineering & Construction (AEC) is associated with sustainable construction. According to Mascaró (2014), the condition it determines vertical plans, it can liable in almost 45% of the construction global cost. Thus, the aim of this research is to develop an optimization algorithm. By that, we can synthesize the horizontal and vertical plans through the automated readjustment of the walls, but with no modification in the architectural language. We divide the method into 3 stages: (1) the floor plan selection: manual analysis in the AutoCAD 2D software; (2) the analysis and definition of the rules, such as the preconditions, rules itself and spatial constraints; and (3) to establish the algorithm, attended by its implementation and iteration and a subjective result analysis, carried out by the architect. With the algorithm iteration, we got a reduction in 37.5% of vertical axis and 20% of horizontal axis, when compared to the original layout. O algoritmo recebe de entrada a planta baixa original, executa as operações e retorna uma planta otimizada.

Keywords*: Layout, Optimization Algorithm, Floor plan, Sustainability.*

[1] BARBIM, D.; ALMEIDA, F. S.; ZAGO, J. G.; VAZ, C. E. V. Arquitetura algorítmica: um método de geração otimizada de layouts. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

O processo e planejamento de projeto na AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) são determinados por atividades que abrangem várias etapas, além de estarem diretamente vinculadas a profissionais de diferentes áreas, compreendendo desde a organização inicial do projeto até a execução final e manutenção da obra. O arquiteto é o profissional responsável pela fase inicial do projeto arquitetônico, entretanto, na maioria dos casos, a concepção conceitual é definida sem a participação de outros responsáveis profissionais, como engenheiros, mestres de obras e outros (FABRÍCIO, 2007).

Essa falta de comunicação acarreta em soluções desconectadas, gerando retrabalho e desperdício de materiais na construção (LYRIO FILHO, 2006). Conforme Monizza *et al*. (2018), o ajuste dessas tarefas no desenvolvimento do projeto é importante para a tomada de decisões a fim de diminuir falhas e priorizar um projeto bem-sucedido. Assim, projetos gerenciados durante todo o processo de desenvolvimento e execução tendem a apresentar uma redução de aproximadamente 5% do custo final do produto. Além disso, é possível aumentar de 70% para 80% a produtividade da elaboração/definição do projeto e, desse modo, diminuir cerca de 40% dos problemas relacionados à qualidade do projeto final (ROMANO, 2006).

Para tanto, é necessário que ocorra o gerenciamento dos projetos, que está diretamente associado à construção sustentável, o qual compreende conceitos relacionados a práticas, ações e metas para reduzir o consumo de materiais de construção, formadas por um gerenciamento eficiente de energia, água, baixo impacto ambiental, compatibilização de projetos complementares, coordenação do projeto, forma e conceito do edifício, dentre outros (SALGADO et al., 2012). De acordo com Mascaró (2014) os componentes de um edifício são formados por planos verticais (paredes, painéis, pilares, aberturas e outros) e horizontais (pisos, lajes, vigas etc.), os quais apresentam custos significativos no valor global de uma edificação residencial.

Os planos horizontais, constituem aproximadamente 25% do custo da obra, na qual cerca de 67% é formado pela estrutura do edifício, com poucas possibilidades de substituição de materiais e consequentemente, sem redução econômica para a execução de planos horizontais. Em contrapartida, os planos verticais representam aproximadamente 45% do valor final, mas, diferentemente dos planos horizontais, existem várias formas e materiais envolvidos em sua construção. Além disso, os planos verticais apresentam grandes variações, nos quais 50 a 67% desses valores são formados pelas paredes internas e 33 a 50% pelas paredes externas (MASCARÓ, 2014).

Dessa maneira, visto a importância do ajuste de tarefas no gerenciamento sustentável de projetos e no processo de projetação, principalmente dos planos verticais por apresentarem inúmeras alternativas de desenho e uso de materiais, o objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento de um algoritmo de otimização, para reduzir o número de eixos horizontais e verticais em plantas baixas residenciais, simplificando o número de alinhamentos de paredes, sem que a linguagem arquitetônica[2] da edificação estabelecida pelo arquiteto seja alterada,

[2] A linguagem arquitetônica é definida pela representação da ideia como expressão formal na arquitetura, que envolvem conceitos relacionados a conjuntos de componentes que traduzem as instituições humanas materializadas por meio de edificações (CHING, 2012).

apresentando uma alternativa de layout em relação ao projeto inicial. Uma vez que o layout de plantas baixas está sujeito a alterações durante o processo de projeto, a arquitetura algorítmica pode fornecer feedbacks imediatos e diretos sobre as mudanças de design, sendo assim o campo de otimização na AEC é amplamente difundido e aplicado (SU e YAN, 2015; LI, 2012).

2 MÉTODO

Nesta pesquisa se utiliza a forma mais simples de otimização: converter uma otimização de múltiplos objetivos em uma otimização de objetivo único, ou seja, obtém-se uma única resposta para o problema explorado. O algoritmo proposto traz a otimização por iterações. O termo iteração se refere a percorrer ou repetir um conjunto de etapas (JABI, 2013). O método de otimização proposto é conduzido pelas seguintes etapas: seleção de um modelo genérico de planta baixa; definição e hierarquização de regras; e geração de soluções por meio da implementação algorítmica e seleção de resultados.

2.1 Seleção da planta baixa: análise manual no software AutoCAD 2D

Na etapa 1, foi realizada a seleção de uma planta baixa de um apartamento residencial de padrão médio. Então, foi feita a eliminação de informações do desenho que são desnecessárias para o processamento do algoritmo, como os elementos gráficos do desenho (mobílias, portas, janelas, etc), e os elementos textuais (cotas, escala, nível, etc), deixando no desenho apenas a indicação de paredes e divisórias (como na Figura 1b). Na sequência, os eixos de paredes foram locados na planta baixa por meio de um software CAD 2D, bem como a análise da planta. Os projetos originais foram cedidos por uma empresa do ramo da construção civil.

2.2 Análise e definição das regras: pré-requisitos e restrições espaciais

Nesta etapa, são estabelecidas as regras gerais e restrições espaciais em virtude de demandas de projeto e normativas, apresentadas a seguir:

- Excluir eixos muito próximos: quando a distância entre eixos for inferior a 80 cm, estes devem ser eliminados e posteriormente unificado em um novo eixo no centro dos eixos suprimidos. No entanto, em situações em que um eixo é externo (localizado nas bordas da planta), nenhuma alteração é necessária;
- Deve-se manter todos os ambientes da planta original, não alterar ambientes de circulação vertical e horizontal (escadas, elevadores e corredores comuns);
- Deve-se garantir as dimensões mínimas dos ambientes de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Banheiro: 130 cm; cozinha: 170 cm; sala de estar/jantar: 260 cm; e, circulação: 80 cm; sendo que os demais espaços existentes em edifícios residenciais não foram apresentados pois suas larguras mínimas não são estabelecidas pela norma.
- Não ultrapassar os limites impostos pelo eixo externo mais extremo do edifício para que os recuos do terreno sejam respeitados;
- Uma hierarquia é estabelecida para a análise dos espaços: as áreas privadas e de longa permanência serão priorizadas;
- O mobiliário não foi considerado, e deve ser ajustado pelo projetista sob as exigências do projeto arquitetônico após a aplicação do algoritmo;

- Padronizar a espessura das paredes: 20 cm foi adotado como padrão, pois essa medida tem variação em projetos arquitetônicos, em razão da compatibilidade de algumas paredes com a espessura dos pilares. A espessura adotada também cria uma margem de segurança.

2.3 Determinação do algoritmo, implementação e iteração

A etapa 3 consiste na definição do algoritmo, respeitando as restrições estabelecidas no item 2.2, considerando que um algoritmo se resume a um conjunto finito de regras ou operações precisas, inequívocas e simples, que, quando seguidas, levam à execução de uma ação (TERZIDIS, 2009). Para implementar o algoritmo, foi criado sua versão pseudocódigo, chamada de Pseudocódigo 1, apresentado na sequência. Essa é a representação de como as operações serão realizadas em um ambiente computacional.

Pseudocódigo 1 *otimização da planta baixa*

1: ***Input:*** Planta baixa.
2: Desenhe uma linha central no eixo da parede.
3: Delinear a fixar os eixos extremos da edificação;
4: Exclua todos os eixos das paredes.
5: Desenhe os eixos vertical e horizontal sobre as linhas centrais.
6: ***While true***:
7: Criar uma lista com as distâncias entre os eixos horizontais adjacentes.
8: Ordenar a lista em ordem crescente.
9: ***While*** o primeiro elemento da lista for menor que 80cm:
10: ***If*** algum dos eixos é um eixo externo:
11: Deletar o primeiro elemento da lista.
12: ***Else***:
13: Criar um novo eixo intermediário entre os eixos relativos a primeira posição da lista.
14: Deletar o eixo central referente aos eixos originais da lista.
15: Criar uma lista com as distâncias entre os eixos horizontais adjacentes.
16: Ordenar a lista em ordem crescente.
17: Criar uma lista com as distâncias entre os eixos verticais adjacentes.
18: Ordenar a lista em ordem crescente.
19: ***While*** o primeiro elemento da lista for menor que 80cm:
20: ***If*** algum dos eixos é um eixo externo:
21: Deletar o primeiro elemento da lista.
22: ***Else***:
23: Criar um novo eixo intermediário entre os eixos relativos a primeira posição da lista.
24: Deletar o eixo central referente aos eixos originais da lista.
25: Criar uma lista com as distâncias entre os eixos horizontais adjacentes.
26: Ordenar a lista em ordem crescente.
27: Delimitar e identificar os cômodos pelos seus limites espaciais.
28: ***If*** a distância entre os eixos do banheiro é menor do que 130 cm or entre os eixos da cozinha é menor que 170 cm ou da sala de estar é menor que 260 cm:
29: Mover cada um dos eixos paralelos em na mesma direção mas em sentidos opostos por ((distância mínima) - (distância entre eixos))/2
30: ***Else***:
31: ***break***.
32: Restaurar as paredes com base nas linhas de centro.
33: Deletar os eixos.
34: ***Return*** nova planta baixa.

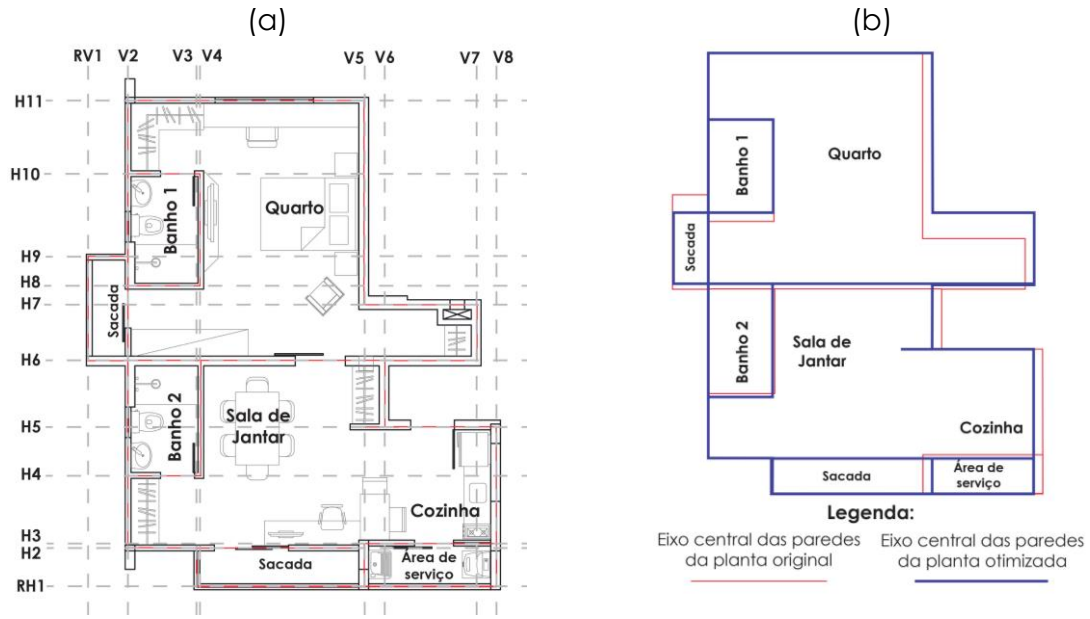
Inicialmente o algoritmo apresentado acima foi validado por meio da sua aplicação em uma planta-baixa de um apartamento residencial. O algoritmo recebe de entrada a planta baixa original, executa as operações e retorna uma planta otimizada. Sendo assim, dois softwares foram utilizados, o Cad 2D e o Excel, para a análise da planta baixa e marcação de seus eixos de parede, e para o registro de dados gerados pelas listas de distâncias dos eixos.

Por fim, o arquiteto projetista terá uma planta baixa otimizada como retorno do processo algorítmico, e, com base na planta baixa, é realizada uma análise subjetiva de acordo com as demandas de projeto. O algoritmo entregará sempre um único resultado obtido por meio de regras determinísticas, ou seja, o resultado será sempre o mesmo todas as vezes que o mesmo problema for analisado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a apresentação dos resultados gerados na aplicação do algoritmo de otimização proposto neste artigo, foi selecionada uma planta baixa de um apartamento constituído de 8 ambientes, sendo eles: duas sacadas, dois banheiros, sala de jantar, quarto, cozinha e área de serviço; como exemplificado na Figura 1a. O estudo de obtenção dos resultados iniciou com a representação no centro das paredes no software AutoCAD 2D, após foram deletadas as vedações, fixados e nomeados os eixos horizontais e verticais nas linhas desenhadas, que totalizaram 11 eixos horizontais e 8 eixos verticais.

Figura 1 – (a) Planta baixa inicial com os eixos; e (b) Sobreposição dos eixos das paredes da planta original com a planta otimizada



Fonte: Os autores (2020)

Na sequência foram geradas listas de distâncias entre os eixos horizontais, rearranjados em uma tabela no *software* Excel, e ordenados da menor para a maior distância. No primeiro processamento foram verificadas 3 distâncias menores que 80 cm (Tabela 01, item 1), dessa forma, foram eliminadas. A computação do primeiro intervalo entre os eixos H2 e H3 foi realizada, estes foram unificados no centro dos eixos suprimidos e formaram o eixo H2-H3, o mesmo processo ocorreu de forma idêntica para as demais distâncias (Tabela 01, itens 2 e 3), finalizando a verificação

dos eixos horizontais (Tabela 01, item 04).

Tabela 01 – Verificação e hierarquização – Eixos Horizontais <80 cm

1		2		3		4	
H2 -H3	**10**	**H7–H8**	**38**	**H7,8–H9**	**79**	RH1–H2,3	85
H7 – H8	**38**	**H8–H9**	**60**	RH1–H2,3	85	H4–H5	100
H8 – H9	**60**	RH1–H2,3	85	H4–H5	100	H5–H6	136
RH1 – H2	80	H4–H5	100	H6–H7	135	H2,3–H4	144,5
H4–H5	100	H6–H7	116	H5–H6	136	H10–RH11	151,5
H6–H7	116	H5–H6	136	H3–H4	144,5	H6–H7,8,9	174,5
H5–H6	136	H3–H4	144,5	H10–RH11	151,5	H7,8,9–H10	211,5
H3–H4	139,5	H10–RH11	151,5	H9–H10	172		
H10–RH11	151,5	H9–H10	172				
H9–H10	172						

Fonte: Os autores (2020)

O tratamento dos eixos verticais aconteceu de forma semelhante aos dos eixos horizontais. Na constatação das distâncias dos eixos verticais pode-se observar 3 intervalos inferiores a 80 cm (Tabela 02, item 2), entretanto, o intervalo V7-V8, era formado por um eixo que estava relacionado a borda da edificação (V8), assim, o processamento dessa distância aconteceu de outra maneira, apenas o eixo V7 foi movido para unificar-se ao eixo V8, formando o eixo V7,8.

Tabela 02 – Verificação e hierarquização – Verticais <80 cm

1		2		3		4	
V3–V4	**8**	**V7–V8**	**40**	**V5–V6**	**42**	RV1–V2	80
V7–V8	**40**	**V5–V6**	**42**	RV1–V2	80	V2–V3,4	146
V5–V6	**42**	RV1–V2	80	V2–V3,4	146	V5,6–V7,8	231
RV1–V2	80	V2–V3,4	146	V6–V7,8	210	V3,4–V5,6	361
V2–V3	142	V6–V7	190	V4–V5	340		
V6–V7	190	V4–V5	340				
V4–V5	336						

Fonte: Os autores (2020)

Com a finalização da etapa anterior, concentrou-se em investigar se os ambientes estavam dentro das larguras estabelecidas nas restrições. Apenas a sala de jantar não possuía a largura mínima determinada de 260 cm (Tabela 03), com isso, os eixos H4 e H6 que delimitavam o ambiente foram deslocados no sentindo externo a sala de jantar, obedecendo a equação descrita no algoritmo, nos quais: a distância restante para completar a largura mínima deve ser dividida por 2 e distribuída entre os eixos correspondentes ao ambiente. Com a ocorrência deste caso, todas as distâncias dos eixos horizontais e verticais tiveram que ser analisadas novamente, a fim de averiguar se nenhuma delas apresentavam distância menor que 80 cm.

Tabela 03 – Verificação Parcial dos ambientes

Ambientes	**Horizontal**			**Vertical**		
	Axis		**Distances (cm)**	**Axis**		**Distances (cm)**
Banheiro 1	H7,8,9	H10	211,5	V2	V3,4	146
Banheiro 2	H4	H6	236	V2	V3,4	146
Cozinha	H2,3	H5	244,5	V5,6	V7,8	231
Sala de Jantar	**H4**	**H6**	**236**	V3,4	V5,6	361

Fonte: Os autores (2020)

As tabelas 04 e 05, ilustram os resultados finais da computação das distâncias entre

os eixos, e as larguras mínimas exigidas, além de respeitarem as demais regras estabelecidas.

Tabela 04 – Verificação Final dos eixos Horizontais e Verticais

Eixos Horizontais <80 cm			**Eixos Verticais <80 cm**		
RH1	H2,3	85	RV1	V2	80
H4	H5	112	V2	V3,4	146
H2,3	H4	132,5	V5,6	V7,8	231
H5	H6	148	V3,4	V5,6	361
H10	RH11	151,5			
H6	H7,8,9	162,5			
H7,8,9	H10	211,5			

Fonte: Os autores (2020)

Tabela 05 – Verificação Final dos Ambientes

Ambientes	**Horizontal**			**Vertical**		
	Axis		**Distances (cm)**	**Axis**		**Distances (cm)**
Banheiro 1	H7,8,9	H10	211,5	V2	V3,4	146
Banheiro 2	H4	H6	260	V2	V3,4	146
Cozinha	H2,3	H5	244,5	V5,6	V7,8	231
Sala de Jantar	H4	H6	260	V3,4	V5,6	361

Fonte: Os autores (2020)

As modificações na planta otimizada são representadas na Figura 1b, as linhas azuis é a nova proposta resultante da computação do algoritmo, e em vermelho a antiga planta. Com o processamento final do algoritmo pode-se obter redução de 37,5% dos eixos verticais e 20% dos eixos horizontais, e uma diminuição de 1% do comprimento e perímetro da edificação, ver Tabela 06.

Tabela 06 – Quantitativos e reduções de eixos e paredes

	Projeto original	Após as modificações	Redução
Eixos verticais	8	5	37,5%
Eixos horizontais	10	8	20%
Perímetro externo (m)	40,62	41,04	-1,0%
Comp. total de paredes (m)	64,98	64,30	-1,0%

Fonte: Os autores (2020)

4 CONCLUSÃO

Por meio do experimento, conclui-se que a aplicação do algoritmo pode tornar as soluções de projeto mais eficientes por meio de reconfigurações constantes das variáveis ou dos elementos que as compõem. Obteve-se uma redução de 37,5% dos eixos verticais e 20% dos eixos horizontais, e uma diminuição de 1% no perímetro do edifício.

Este resultado implica em uma diminuição do consumo dos componentes e materiais de construção; simplificação na execução da obra; e, a redução de serviços de manutenção. Por este motivo, considera-se que há uma estreita relação entre o método proposto com o ciclo de sustentabilidade no setor AEC. Além disso, esta pesquisa pode contribuir para a automatização do processo de design, pois a principal vantagem do método é que ele é sistemático e objetivo.

Na próxima etapa dessa pesquisa será realizada a implementação do algoritmo em ambiente computacional, utilizando Python como linguagem de programação. O

algoritmo irá receber como entrada um arquivo com extensão DWG ou DXF, que contém a representação em 2D da planta inicial. Tais arquivos serão convertidos para SVG, de tal forma a facilitar a identificação dos pontos que formam a estrutura geométrica de edificação. Então, será realizada a identificação dos elementos formados pelo conjunto de pontos, o qual ainda é um desafio para no campo de pesquisa da arquitetura algorítmica.

Assim que consolidado a implementação computacional, o algoritmo será testado por alunos da graduação de Arquitetura e Urbanismo, por meio de atividades educacionais, que envolvem layouts e custo de obra durante o processo de projeto, bem como será ofertado oficinas com profissionais da área sobre o interesse da ferramenta no mercado.

Dentre as limitações do algoritmo proposto neste trabalho, pode-se destacar a não inclusão de regras sobre o padrão dos ambientes (baixo, médio e alto), o mobiliário e geometria curvas, porém, numa etapa subsequente da pesquisa será incluído o mobiliário como uma das regras no processo de otimização. Também é possível analisar, por exemplo a inclusão de planos curvos neste tipo no algoritmo de otimização proposto, bem como a análise da eficiência do próprio algoritmo, buscando identificar as falhas do processo e aprimorá-lo.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15757-1**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

CHING, Francis D.K. **Arquitetura**: forma, espaço e ordem. São Paulo: Martins Fontes Editora, 2012. 399 p.

FABRÍCIO, M. M. O arquiteto e o coordenador de projetos. Pós. **Revista do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Fauusp**, [s.l.], n. 22, p.26-34, 1 dez. 2007.

JABI, W. **Parametric design for architecture**. Laurence King Publishing, 2013.

LI, Li. The optimization of architectural shape based on Genetic Algorithm. **Frontiers of Architectural Research**, v. 1, n. 4, p. 392-399, 2012.

LYRIO, Arnaldo M. **Contribuição à modelagem de empreendimentos imobiliários: um enfoque operacional da fase de incepção.** 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

MASCARÓ, Juan L. **O custo das decisões arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2014. 192 p.

MONIZZA, G.P.; BENDETTI, C.; MATT, D.T. Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. **Automation In Construction**, [s.l.], v. 92, p.270-285, ago. 2018.

ROMANO, F. Modelo de referência para o gerenciamento do processo de projeto integrado de edificações. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 1, p. 23-47, 29 set. 2006.

SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. Produção de edificações sustentáveis: desafios e alternativas. **Ambiente Construído**, v. 12, n. 4, p. 81-99, 2012.

SU, Zhouzhou; YAN, Wei. A fast genetic algorithm for solving architectural design optimization problems. **Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing: AI EDAM**, v. 29, n. 4, p. 457, 2015.

TERZIDIS, K. Algorithmic Architecture. Oxford: **Architectural Press**, 2006.