ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Geração de *layout* arquitetônico aplicando algoritmo evolutivo

Architectural layout generation applying evolutionary algorithm

Lídia Mendes Reges
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | lidiamreges@gmail.com
Alexandre Márcio Toledo
Universidade Federal de Alagoas | Maceió | Brasil | alexandre.toledo@fau.ufal.br

Resumo

O computador tem sido utilizado como assistente de projeto com o objetivo de aprimorar o processo de projeto de arquitetura, podendo ser utilizado no planejamento do espaço. O *space planning*, estuda o processo de arranjo de ambientes no espaço, e suas variáveis conflitantes devem ser negociadas e as restrições satisfeitas. Por isso os algoritmos evolutivos, que compõem os sistemas generativos, contribuem para a obtenção de melhores soluções. Essa pesquisa explora a aplicação de algoritmos evolutivos na geração automatizada de *layouts* arquitetônicos de edifícios multifamiliares. É uma pesquisa exploratória com abordagem quantitativa, utilizando o software *Rhinoceros* e plugins *Grasshopper*, *Termite Nest* e *Wallacei*. Foram realizadas duas simulações para arranjar ambientes em um perímetro aplicando o algoritmo evolutivo e como resultados foram obtidos *layouts* otimizados e gráficos informativos para tomada de decisão. Conclui-se que a aplicação dos algoritmos evolutivos no planejamento do espaço gera soluções otimizadas que atendem às restrições pré-estabelecidas de maneira mais assertiva, sendo uma área com grande potencial a ser explorado.

Palavras-chave: *Space planning*. Algoritmos evolutivos. Processo de projeto. Arquitetura generativa.

Abstract

The computer has been used as a design assistant with the aim of improving the architectural design process, and can be used in space planning. Space planning studies the process of arranging rooms in space, and its conflicting variables must be negotiated and restrictions satisfied. Therefore, evolutionary algorithms, which make up generative systems, contribute to obtaining better solutions. This research explores the application of evolutionary algorithms in the automated generation of architectural layouts for multifamily buildings. It is an exploratory research with a quantitative approach, using the Rhinoceros software and Grasshopper, Termite Nest and Wallacei plugins. Two simulations were carried out to arrange environments in a perimeter applying the evolutionary algorithm and as a result, optimized layouts and informative graphics for decision making were obtained. It is concluded that the application of evolutionary algorithms in space planning generates optimized solutions that meet pre-established restrictions in a more assertive way, being an area with great potential to be explored.

Keywords: Space planning. Evolutionary algorithms. Design process. Generative architecture.

Como citar:
REGES, L.; TOLEDO, A. Geração de layout arquitetônico aplicando algoritmo evolutivo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

Com o decorrer dos anos e a criação do AutoCAD, os arquitetos passaram a utilizar ainda mais o computador como auxiliar na representação dos projetos a fim de agilizar tarefas repetitivas e gerenciar as várias camadas de desenhos, os quais anteriormente eram produzidos no papel [1]. Em 1980, com a demanda de dominar o aumento da complexidade dos projetos de arquitetura, o algoritmo conhecido como *Algorithm Aided Design* (AAD) passou a ser implementado no processo de projeto possibilitando a concepção de geometrias não convencionais e não lineares [1][2].

A geração de formas, a partir da utilização dos algoritmos evolutivos, é obtida mediante a codificação genética interna. Cada geometria é submetida a variações que são alcançadas pelo processo de reprodução, por meio do cruzamento de genes e mutações. Ao fim desse processo cada forma gerada é avaliada com base no seu desempenho dentro da simulação em relação às restrições previamente definidas. Além disso, eles têm maior facilidade em gerar soluções que possuam propriedades relacionadas com a diferenciação e heterogeneidade, que são características importantes nos modelos digitais [3].

Também são capazes de resolver problemas de grande complexidade e obtém as melhores soluções projetuais para determinadas restrições, os quais podem ser adotados no processo de projeto para geração de *layouts*. Da mesma forma, são vantajosos em relação ao método tradicional, que é baseado na tentativa e erro e subjetividade, visto que múltiplos agentes interferem nesse processo com diversas restrições e critérios que por muitas vezes se tornam conflitantes [4].

Os algoritmos evolutivos são compostos por mecanismos que têm como modelo o processo de evolução que ocorre na natureza para a adaptação ao ambiente em que se encontra [4]. Os indivíduos dentro da população inicial são selecionados e modificados, e após isso ocorre o processo de evolução para obter as soluções mais aptas. A conclusão do algoritmo acontece quando a população converge para uma solução viável para o dado problema, ou quando se estabelece um número predefinido de gerações [5][6].

A representação dos indivíduos, população de indivíduos, função objetivo, mecanismo de seleção, operadores de diversidade, tempo de duração e número de gerações, são os componentes dos algoritmos evolutivos. Os indivíduos são representados com base no modelo cromossômico e suas características são determinadas pelos conjuntos de genes que compõem os cromossomos [7][8].

A população inicial do algoritmo evolutivo é constituída por indivíduos escolhidos de forma aleatória de um conjunto de soluções no espaço genotípico previamente definidas, as quais são produzidas automaticamente pelo algoritmo. Ao utilizar o método do elitismo, melhores soluções de uma geração são mantidas para a próxima geração para passar por novos processos de cruzamento [4][9][10].

Os operadores de diversidade são os responsáveis pela garantia da diversidade genética nos indivíduos durante as gerações. Alteram os genes dos cromossomos dos indivíduos pais que irão produzir os indivíduos filhos até que a aplicação do algoritmo

evolutivo termine [5]. Também são os responsáveis pela busca dentro do campo de soluções com o intuito de investigar todas as possibilidades de melhores soluções que foram geradas. Os mais utilizados são a recombinação e a mutação. Também são essenciais para o fomento da diversidade genética necessária para a competição entre os indivíduos durante toda a aplicação do algoritmo.

Os operadores de avaliação e seleção verificam os indivíduos mais aptos e que satisfaçam os objetivos definidos e os seleciona para a próxima geração. A responsável pela avaliação dos indivíduos durante o processo é a função objetivo [4]. A função objetivo é construída a partir do problema que se deseja resolver pois deve abarcar em sua formulação as restrições e condições funcionais necessárias no indivíduo ideal. À medida que o processo evolutivo é aplicado, a cada geração são gerados novos indivíduos e recebem uma pontuação ao final da simulação de acordo com suas adequações a cada objetivo [6][7]. Além disso, é estabelecido um *ranking* de todos os indivíduos com base nessa pontuação.

Todo o processo evolucionário ocorre em um determinado espaço de tempo para que os operadores de diversidade, de seleção e avaliação possam ser aplicados. A duração pode ser determinada de acordo com um tempo máximo de processamento computacional, solução de todos os objetivos do problema e número máximo de gerações. É necessário que o processamento computacional seja suficiente para que a simulação ocorra da melhor maneira possível.

Com relação ao ramo do planejamento do espaço, seu objetivo principal é arranjar uma lista de ambientes com base nas distâncias e adjacências. Esse processo é subjetivo, por vezes há uma incerteza na forma da construção e no programa de necessidades acarretando na produção de soluções preliminares que serão modificadas posteriormente. Vale ressaltar que a sintaxe espacial não inclui a forma, trata-se de descrever os espaços e a conectividade entre eles [11]. As restrições topológicas, necessárias para o arranjo, são definidas a partir da hierarquia de relações de elementos espaciais como proximidades entre ambientes, adjacências e não adjacências [12].

A utilização de algoritmos evolutivos e otimização multiobjetivo ao planejar o espaço permite explorar requisitos complexos e por vezes contraditórios e ajuda a avaliar e selecionar as melhores respostas dentro do espaço de soluções [13]. Ainda assim, o arquiteto ainda é o principal agente no processo generativo, cabe então ao arquiteto definir as regras e os parâmetros que resultarão nas soluções formais.

Diante disso, o objetivo desse artigo é explorar o potencial da utilização do algoritmo evolutivo multiobjetivo na geração otimizada de *layout* de unidades residenciais. Por meio das simulações desenvolvidas com o intuito de também verificar a aplicação do algoritmo evolutivo no processo de projeto de arquitetura. Assim como o desenvolvimento de conteúdo teórico sobre planejamento espacial e processos generativos com enfoque em algoritmos evolutivos. Além de fornecer dados para futuras pesquisas de planejamento do espaço.

A principal contribuição deste trabalho foi verificar as potencialidades dos modelos generativos para o campo da arquitetura, através da aplicação de recursos computacionais para auxílio ao processo de projeto.

MÉTODO

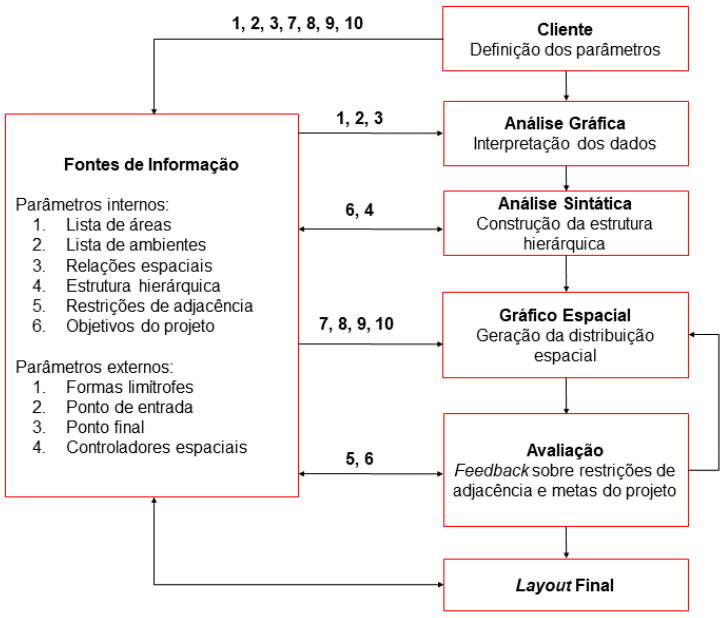
Essa pesquisa é aplicada em relação à sua natureza, com relação à sua abordagem se classifica como quantitativa, com abrangência de pesquisa exploratória. Além de descrever as características do fenômeno e estabelecimento de relações entre as variáveis [14]. Essa pesquisa se utiliza da simulação, pois tem como intuito a representação das características de um sistema por meio do uso de um programa de computador.

Os procedimentos metodológicos adotados foram: programação visual e simulação computacional. Na etapa de programação visual, foi utilizado o *software Rhinoceros 7* com *plugins Grasshopper 3D* e *Termite Nest* versão beta 4 (para a geração de *layout*) e realizada a sistematização do código com as definições formais com dados fixos e variáveis e as relações paramétricas.

O modo de representação do espaço utilizado no *plugin Termite Nest* é o método de agrupamento, em que é delimitado um perímetro externo e os ambientes são polígonos dentro dele que sofrem ajustes conforme regras pré-definidas.

O Excel 2019 foi utilizado apenas para construir o arquivo de valores separados por vírgulas (.csv), com os detalhes dos ambientes e suas interrelações para a geração dos gráficos do *plugin*. *Termite Nest* possui um fluxo de projeto que está dividido em quatro partes: definição e importação dos parâmetros com base nas informações, a interpretação dos dados, geração e análise dos *layouts* (Figura 1).

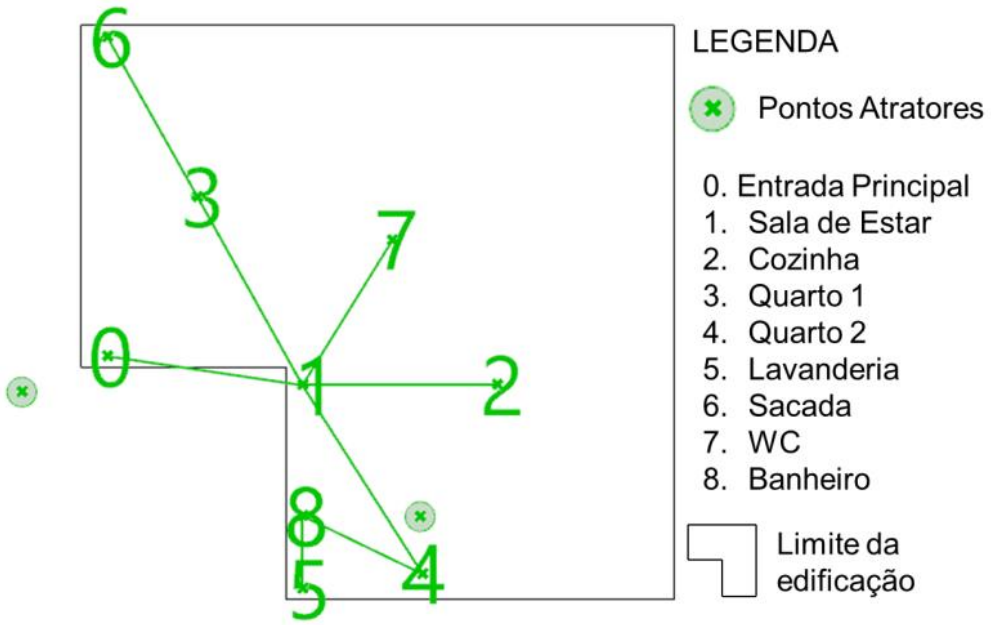
Figura 1: Fluxograma do processo de projeto utilizado pelo *Termite Nest*



Fonte: Adaptado de Tabari et. al. (2020).

Possível inicializar a construção do *layout* em um dado perímetro qualquer, desde que sua área seja maior do que a soma das áreas de todos os ambientes. Com a distribuição de todos os ambientes dentro do limite de acordo com suas respectivas adjacências e com a restrição dos pontos atratores (Figura 2). Por padrão são definidos dois pontos, mas o projetista pode acrescentar quantos desejar.

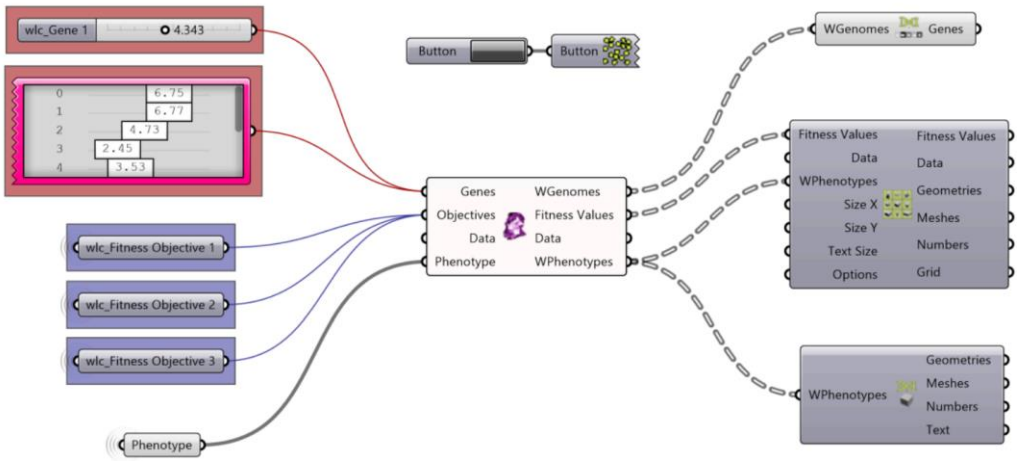
Figura 2: *Layout* inicial



Fonte: autores.

Após a aplicação dos componentes do *Termite Nest* é executado o algoritmo evolutivo dentro do *plugin Wallacei* versão 2.7 e posteriormente as soluções são exportadas e analisadas por meio dos gráficos gerados em sua própria interface. Se faz necessária, portanto, a correta ligação dos componentes da piscina de genes, fenótipo e os dados que se deseja gravar durante a simulação para cada indivíduo gerado às entradas corretas do componente *Wallacei X* (Figura 3).

Figura 3: Dados de entrada e saída do *Wallacei X*



Fonte: Makki et. al. (2019)

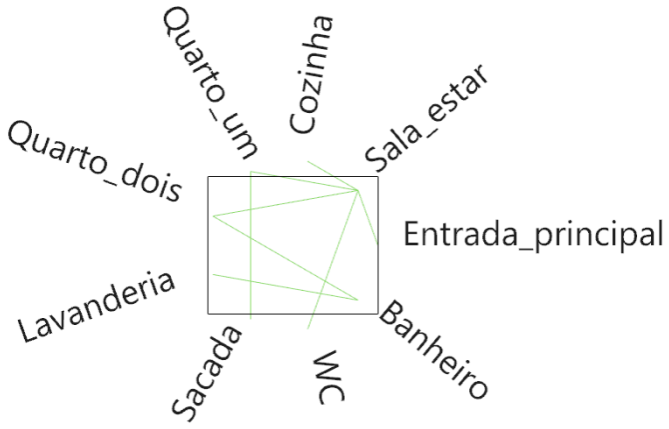
Para a análise de um problema de projeto multiobjetivo é requerida a representação gráfica dos resultados da população em relação aos objetivos de forma separada. Evidenciando a necessidade de avaliar os dados de cada objetivo de modo integrado e não de modo isolado. Compreendendo o modo como os objetivos impactam uns aos outros e possíveis padrões emergentes.

Para demonstrar a aplicação do algoritmo evolutivo no planejamento do espaço foram realizadas duas simulações do arranjo espacial de uma unidade habitacional.

SIMULAÇÃO 1

Nessa primeira simulação é implantado um apartamento dentro do perímetro limite, e realizada a distribuição de 9 ambientes com suas relações de adjacências estabelecidas (Figura 4).

Figura 4: Relações de adjacências dos ambientes



Fonte: autores.

Com a definição da meta da simulação, são postos os objetivos que consequentemente definirão as funções objetivo. Os fenótipos são os indivíduos gerados na simulação e a construção da piscina de genes são os dados que combinados comporão os indivíduos. Como demonstrado no quadro 1.

Quadro 1: Resumo dos principais tópicos da simulação 1

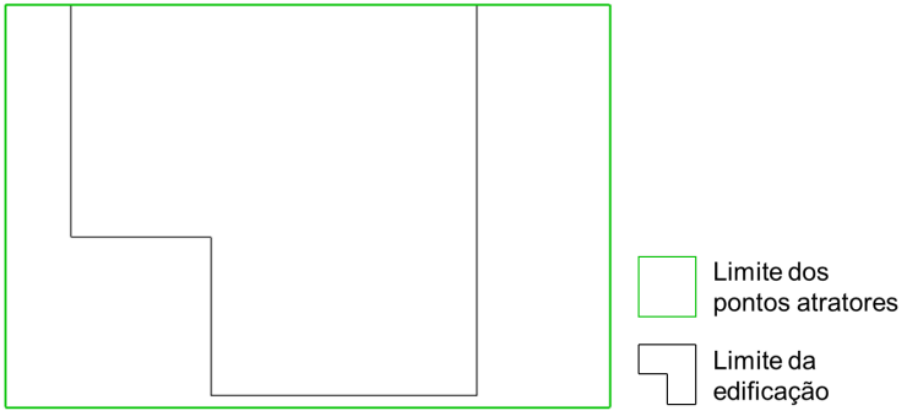
Meta	Gerar um *layout* de uma unidade habitacional residencial que atenda às restrições topológicas
Objetivos	Manter as áreas dos ambientes iniciais
	Maior ocupação do limite da edificação
Função objetivo	Minimizar a variação de área dos ambientes
	Minimizar áreas vazias dentro do perímetro
Fenótipo	Combinação dos ambientes em um *layout*
Piscina de genes	Pontos atratores
	Fator de crescimento dos ambientes

Fonte: autores.

Para a simulação foram determinadas 10 gerações com 5 indivíduos cada, com uma porcentagem de 90% de elitismo e probabilidade de mutação de 1/n em que 'n' é o

número de variáveis no problema de projeto, proporção que é pré-definida no algoritmo evolutivo. Os pontos atratores são dinâmicos variando sua posição dentro de um espaço delimitado (Figura 5). Sendo assim, cada solução terá uma posição diferente para cada ponto atrator e consequentemente uma configuração espacial diferente. Nessa simulação os ambientes atraídos foram a entrada principal e o quarto dois.

Figura 5: Área limite para movimentação dos pontos atratores

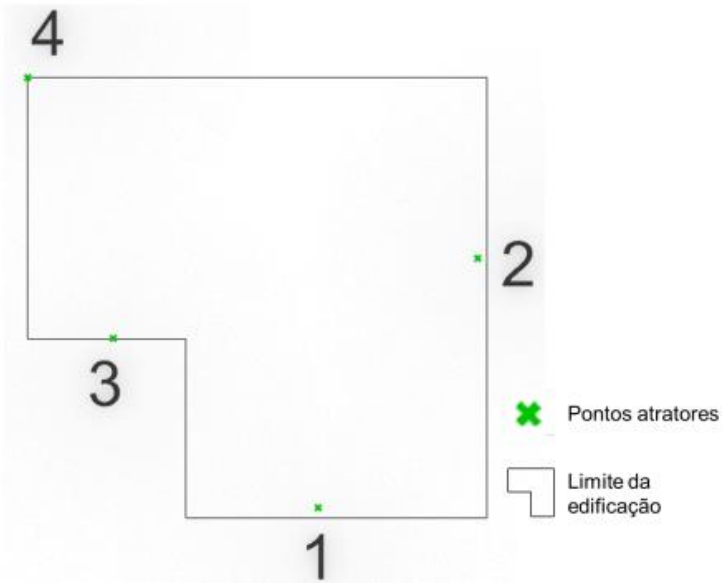


Fonte: autores.

SIMULAÇÃO 2

Na segunda simulação, as relações entre os ambientes são as mesmas da primeira simulação com a mudança em relação aos pontos atratores, os quais estão estáticos. Quatro pontos atrairão diferentes ambientes para diferentes partes do perímetro limite (Figura 6). Com a simulação será possível verificar de que forma o *layout* se comporta durante a execução do algoritmo.

Figura 6: Pontos atratores fixos



Fonte: autores.

A força com que os pontos atratores atraem os ambientes e o fator de crescimento dos ambientes são os genes que serão recombinados na piscina de genes, devido a

mudança citada. O ponto atrator 1 atrai a lavanderia, o ponto 2 atrai a entrada principal, o ponto 3 atrai a cozinha e o ponto 4 atrai o quarto 1.

Outra mudança feita no algoritmo foi o objetivo de minimizar a variação das áreas dos ambientes para minimização da desproporção das áreas. A partir da análise das soluções obtidas na simulação anterior, foi verificado que os ambientes aumentavam sem seguir a proporção dada no início do algoritmo. São distribuídos os 9 ambientes dentro do perímetro limite com os critérios e objetivos, como demonstrado no quadro 2.

Quadro 2: Resumos dos principais tópicos da simulação 2

Meta	Gerar um *layout* de uma unidade habitacional residencial que atenda às restrições topológicas
Objetivos	Manter as áreas dos ambientes iniciais
	Maior ocupação do limite da edificação
Função objetivo	Minimizar a desproporção das áreas
	Minimizar áreas vazias dentro do perímetro
Fenótipo	Combinação dos ambientes em um *layout*
Piscina de genes	Fator de atração dos pontos atratores
	Fator de crescimento dos ambientes

Fonte: autores.

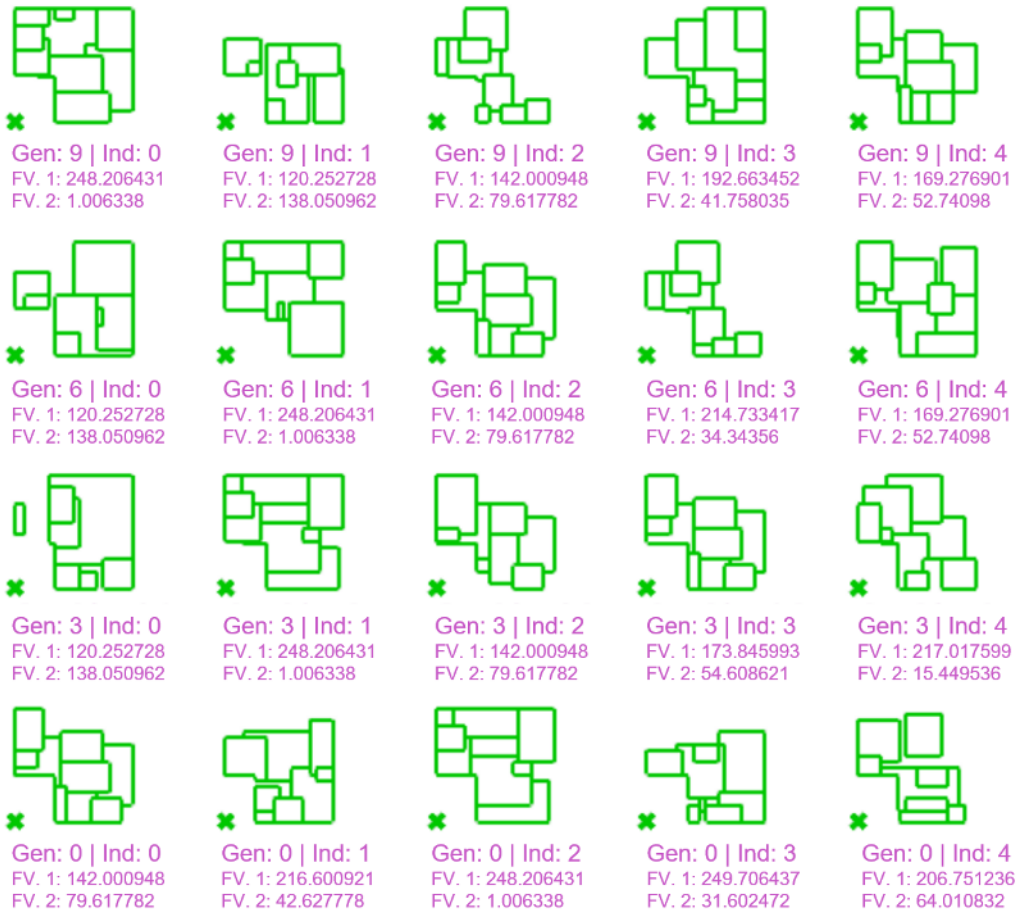
Serão gerados 7 indivíduos durante 10 gerações totalizando 70 soluções na população.

RESULTADOS

SIMULAÇÃO 1

A simulação teve como população final 50 indivíduos, dos quais foram exportados 20 para análise mais detalhada dos fenótipos e verificação dos valores obtidos nas funções objetivo (Figura 7). 20 indivíduos foram os escolhidos para exportação por estarem em gerações alternadas sendo suficiente para representar o comportamento de toda a população. Necessário ainda fazer a análise da população como um todo e não utilizar apenas a última geração. É possível visualizar as diferenças entre os fenótipos de uma geração para a outra e também a diferenciação na mesma geração.

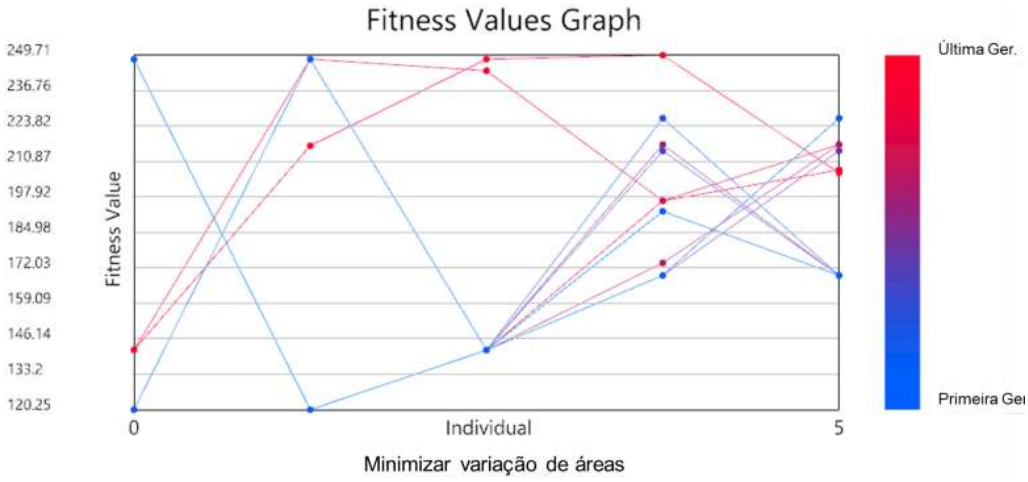
Figura 7: Soluções exportadas da simulação 1



Fonte: autores.

O valor médio de aptidão para o objetivo de minimizar a variação de áreas (Figura 8) aumenta gradativamente ao longo da simulação e nas últimas gerações tem uma leve queda.

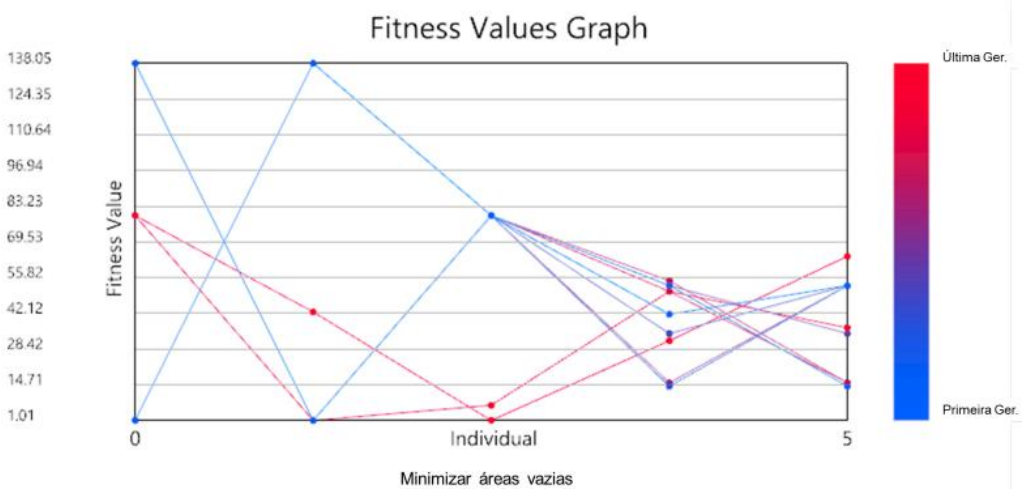
Figura 8: Gráfico da função objetivo de variação de áreas da simulação 1



Fonte: autores.

Em oposição ao objetivo de minimizar as áreas vazias no perímetro limite da edificação (Figura 9) que no começo da simulação tem uma pontuação alta e depois obtém valores melhores.

Figura 9: Gráfico da função objetivo de minimizar áreas vazias da simulação 1

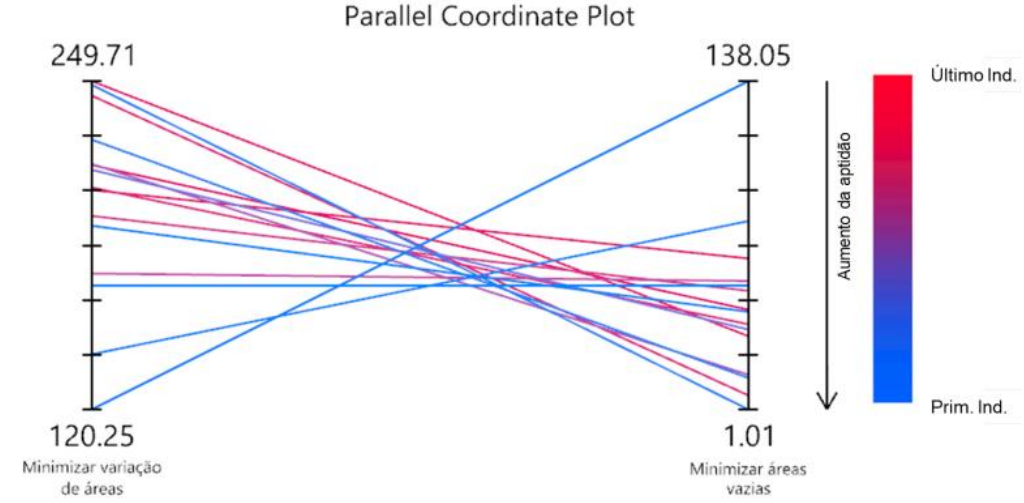


Fonte: autores.

Essa contraposição entre os objetivos se deve ao fato de serem objetivos opostos, à medida que a área vazia dentro do perímetro diminui consequentemente há maior variação na área dos ambientes e vice-versa.

A análise do gráfico de coordenadas paralelas (Figura 10) indica que os objetivos estabelecidos nesse problema de projeto são conflitantes, pois para ocupar a área total dentro do perímetro é necessário aumentar as áreas ocupadas pelos ambientes e para minimizar a variação da área inicial dos ambientes não há como ocupar toda a área do perímetro, explicando assim o padrão observado no gráfico. Assim como o gráfico também destaca o fato de que não existe uma solução ótima única, devido a inexistência de uma solução cuja curva esteja no eixo x.

Figura 10: Gráfico de coordenadas paralelas da simulação 1



Fonte: autores.

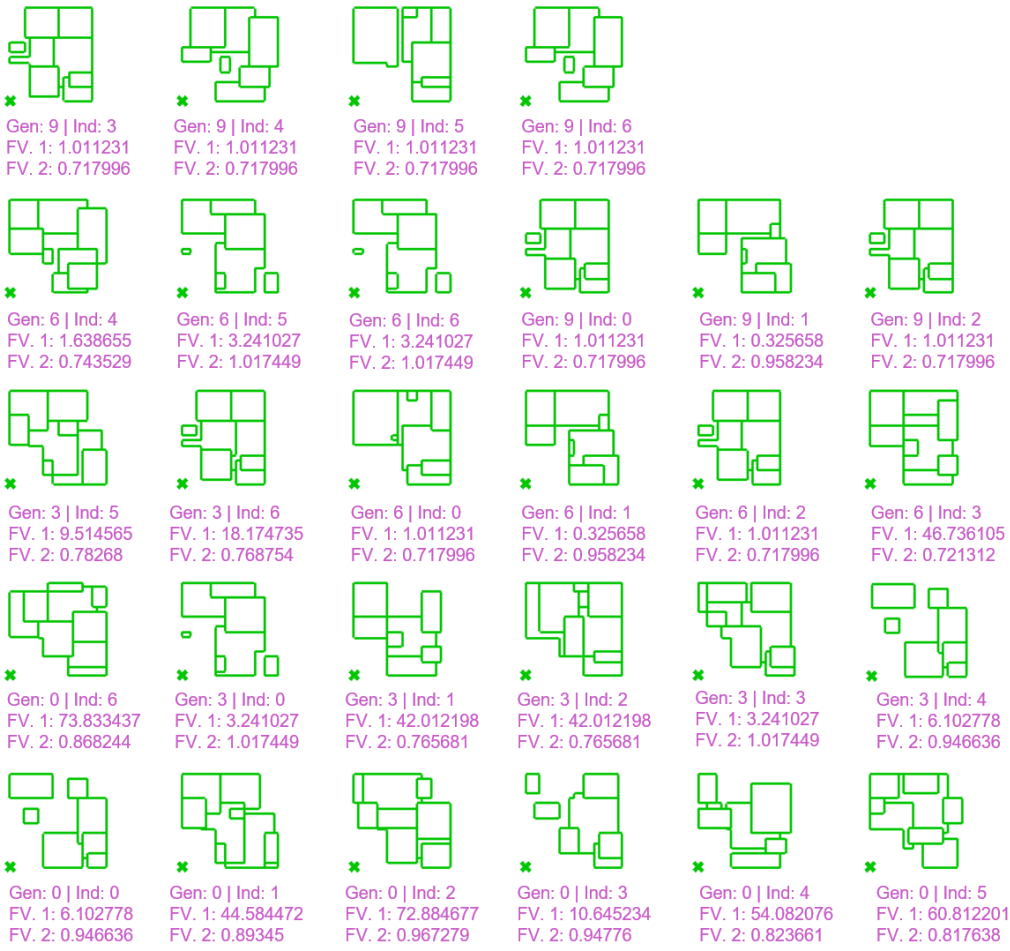
As melhores soluções para cada objetivo não estão localizadas na geração final. Para o primeiro objetivo a melhor solução foi o indivíduo 0 da geração 0 e para o segundo

objetivo foi o indivíduo 0 da geração 7, o que confirma a necessidade de análise completa de toda a população e não apenas da geração final da simulação.

SIMULAÇÃO 2

Foram exportadas as gerações 0, 3, 6 e 9, sendo 28 indivíduos para análise mais detalhada dos fenótipos e verificação dos valores obtidos nas funções objetivo. Na (Figura 11) a seguir, são demonstrados os *layouts* dos indivíduos e seus respectivos valores de aptidão quanto à função objetivo. É possível visualizar as diferenças entre os fenótipos das gerações da simulação anteriormente analisadas.

Figura 11: Soluções exportadas da simulação 2

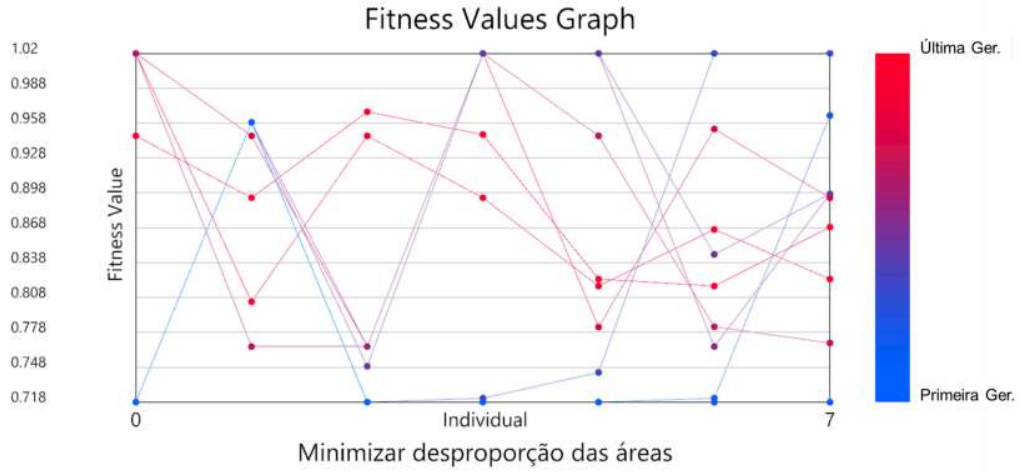


Fonte: autores.

Por meio dos fenótipos exportados é possível observar as mudanças que ocorreram. A maioria das soluções geradas utilizaram mais das bordas do perímetro limite obtendo mais ângulos retos, embora algumas soluções ainda apresentem ambientes não conectados. Vale ressaltar que a simulação apresentou um grau maior de convergência, notada pela semelhança entre diversos indivíduos da população, com pequenas mudanças no tamanho de alguns ambientes.

O valor médio de aptidão para o objetivo de minimizar a desproporção das áreas (Figura 12) no começo da simulação tem altos e baixos, após a metade da simulação há uma queda gradativa dos valores.

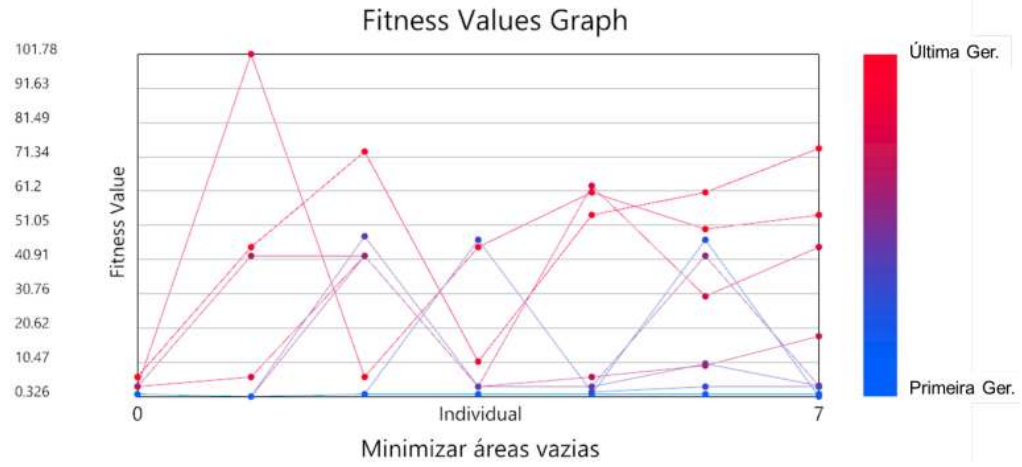
Figura 12: Gráfico da função objetivo de minimizar desproporção das áreas da simulação 2



Fonte: autores.

Em relação ao objetivo de minimizar as áreas vazias no perímetro limite da edificação (Figura 13) as primeiras gerações da simulação têm uma pontuação melhor e com a execução do algoritmo tem um aumento e obtém valores piores.

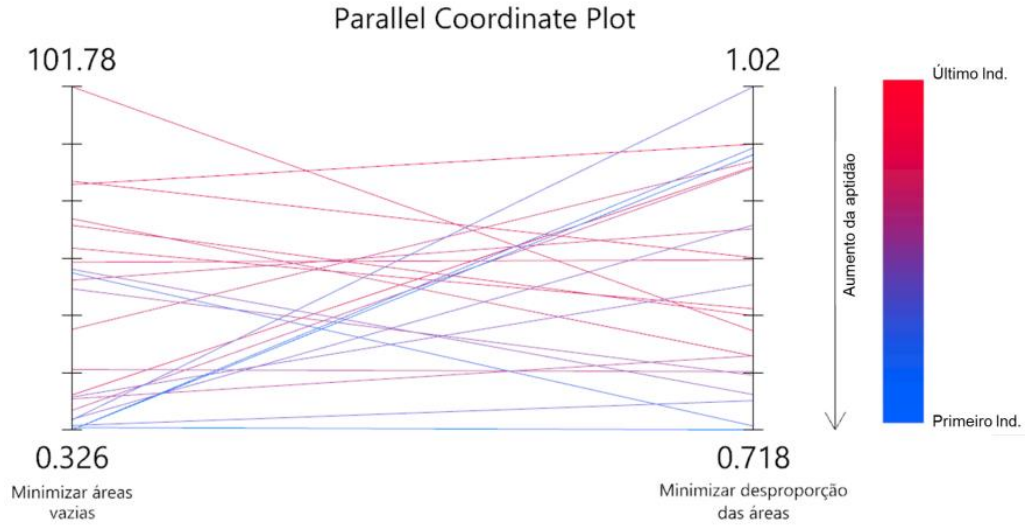
Figura 13: Gráfico da função objetivo de minimizar áreas vazias da simulação 2



Fonte: autores.

Nessa simulação, os valores de aptidão foram equilibrados como demonstra a figura 14. Mesmo com objetivos contrastantes, a simulação atingiu convergência nos *layouts*. Vale ressaltar que além da diversidade dentro da população não ter sido expandida, as configurações espaciais das soluções geradas não foram satisfatórias.

Figura 14: Gráfico de coordenadas paralelas da simulação 2



Fonte: autores.

CONCLUSÃO

Os projetos assistidos por computador vêm cada vez mais avançando e sendo mais utilizados por arquitetos e urbanistas devido às novas ferramentas de interface gráfica e ao aumento da capacidade de processamento dos computadores, do mesmo modo a utilização dos algoritmos no processo de projeto de arquitetura.

Foi desenvolvido um algoritmo para a aplicação dos *plugins Termite Nest* e *Wallacei,* além do desenvolvimento de simulações com o objetivo de verificar seu funcionamento de maneira prática.

A primeira simulação foi importante para verificação do funcionamento do algoritmo e foi possível visualizar a tentativa de equilíbrio entre os dois objetivos. Foram obtidas soluções com muitas reentrâncias e com ambientes desconexos, além de ambientes desproporcionais. Na segunda simulação, a variação de áreas de maneira desproporcional dos ambientes foi solucionada. E as soluções obtidas ocuparam mais as bordas do perímetro limite e apresentaram ambientes desconexos, embora a população tenha convergido ainda no início da simulação.

Após a execução das simulações, foi possível verificar que esse método de projeto tem potencial para auxiliar arquitetos e estudantes em suas decisões de projeto no dia a dia. Além disso, a pesquisa verificou que o método de geração automatizada de *layouts* em Arquitetura e Urbanismo tem um grande potencial ainda a ser explorado.

A principal contribuição deste trabalho foi verificar as potencialidades dos modelos generativos para o campo da arquitetura, por meio da aplicação de recursos computacionais para auxílio ao processo de projeto. Dessa forma, este artigo tem como diferencial a retomada da discussão sobre a aplicação de algoritmos evolutivos no processo de projeto em arquitetura e no planejamento do espaço, sendo este um algoritmo multiobjetivo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL) pelo apoio na realização dessa pesquisa.

REFERÊNCIAS

[1] TEDESCHI, A. **AAD: Algorithms Aided Design**. Parametric strategies using Grasshopper. Itália: Le Penseur, 2014.

[2] OMENA, Thiago Henrique; FERREIRA, Eber Nunes; REGES, Lídia Mendes; FIALHO, Anderson de Sousa. Crítica à razão projetiva: as mudanças no ensino de arquitetura e urbanismo frente aos novos processos digitalmente mediados. In: **Anais do 6º Seminário Ibero-americano Arquitetura e Documentação**. Anais. Belo Horizonte (MG) UFMG, 2020. Disponível em: . Acesso em: 12 abr. 2024.

[3] OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, Volume 27, Issue 3, 2006, Pag. 229-265

[4] MARTINO, J. A. **Algoritmos evolutivos como método para desenvolvimento de projetos de arquitetura**. Campinas, 2015. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2015.

[5] CALIXTO, Victor. **Geração Automatizada de Layouts com Uso de Algoritmos Evolutivos**: Aplicações em Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2016.

[6] MAKKI, Mohammed. **Urban Variation Through Evolutionary Development**: Evolutionary Processes in Design and the Impact of Multi-Objective Evolutionary Algorithms Generating Urban Form, 2019. Tese (Doutorado em Arquitetura) - The Open University.

[7] MARTINO, J. A. Algoritmos evolutivos: aplicações em uma estrutura para sombreamento. In: CELANI, M. G. C.; SEDREZ, M. (Organizadores). **Arquitetura contemporânea e automação**: prática e reflexão. São Paulo: Probooks, 2018. p. 85-98.

[8] BUSSOLOTTI, Victor Moura. **Algoritmos Evolutivos na Definição De Janelas Termicamente Eficientes**. Vitória, 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Artes. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2020.

[9] HOLLAND, Nathaniel. **Inform Form Perform**. 2011. Tese (Doutorado em Arquitetura) - University of Nebraska – Lincoln.

[10] SILVA, Filipe Lopes de Farias e. **O Processo de Projeto Digital Como Método de Investigação da Aplicação da Impressão 3D na Arquitetura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2018.

[11] MCMEEL, Dermott. Algorithms, Ai And Architecture: Notes On An Extinction. In: CAADRIA 2019. **Proceedings of the 24th CAADRIA Conference**. 2019. Volume 2. Wellington, Nova Zelândia. p. 61-70. Disponível em: < https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/caadria2019_107>. Acesso em: 6 abr. 2024.

[12] CALIXTO, Victor; CELANI, Gabriela. A literature review for space planning optimization using an evolutionary algorithm approach: 1992-2014. In: SIGRADI 2015. **Proceedings of the 19th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics**. vol. 2. 2015. Florianópolis, SC, Brasil. p. 662-671. Disponível em: . Acesso em: 13 abr. 2024.

[13] MA, Chun Yu; van AMEIJDE, Jeroen. Adaptable modular construction systems and multi-objective optimisation strategies for mass-customised housing: A new user-driven paradigm for high-rise living in Hong Kong. In: **International Journal of Architectural Computing**. 2022, Vol. 20(1), p. 96–113. Disponível em: . Acesso em: 15 abr 2023.

[14] SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed., UFSC, Florianópolis, 2005. 138p.