

## OTIMIZAÇÃO LUMÍNICA E SANITÁRIA DE ESPAÇOS DE ENSINO BASEADA EM ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO

*LUMINIC AND SANITARY OPTIMIZATION OF EDUCATIONAL SPACES BASED ON MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION ALGORITHM*

*OPTIMIZACIÓN LUMÍNICA Y SANITARIA DE ESPACIOS EDUCATIVOS BASADOS EN ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO*

Natália Nakamura Barros<sup>1</sup>, Érika Mayumi Shibata<sup>1</sup>

### RESUMO:

A pandemia da Covid-19 trouxe uma série de reflexões acerca das condições sanitárias dos ambientes de permanência prolongada. Escolas, escritórios, hospitais etc., tiveram que se readequar a fim não só de evitar a proliferação do vírus e de novas doenças, mas também de trazer um maior conforto e bem-estar ao usuário da edificação. O principal objetivo deste artigo é apresentar o potencial uso do algoritmo de otimização multi-objetivo para otimização do layout de espaços institucionais de ensino, considerando a incidência solar interna e o distanciamento social preconizado pela OMS. O método utilizado foi desenvolvimento experimental em seis etapas: (i) pesquisa bibliográfica; (ii) definição dos ambientes e parâmetros a serem analisados; (iii) desenvolvimento dos modelos; (iv) simulação computacional; (v) otimização multi-objetivo; e (vi) análise dos resultados. A modelagem dos ambientes e carteiras foi realizada no software Rhinoceros através do plug-in Grasshopper, as simulações de incidência solar interna foram realizadas com o Honeybee, e o algoritmo de otimização multi-objetivo foi aplicado com o Wallacei. Este estudo pode oferecer uma nova metodologia de desenvolvimento e estudo de projetos de forma mais diligente não apenas para projetos convencionais mas também em episódios de crises que implicam em respostas rápidas e seguras por parte dos projetistas.

**PALAVRAS-CHAVE:** otimização de layout; instituições de ensino; distanciamento social; conforto lumínico.

<sup>1</sup>Centro Universitário Facens

**Fonte de Financiamento:**  
Centro Universitário Facens.

**Conflito de Interesse:**  
Não há.

**Ética em Pesquisa:**  
Não há necessidade.

**Submetido em:**  
19/04/2022  
**Aceito em:**  
09/11/2022

How to cite this article:

BARROS, N.N.; SHIBATA, E.M. Otimização lumínica e sanitária de espaços de ensino baseada em algoritmo de otimização multi-objetivo. *Gestão & Tecnologia de Projetos*. São Carlos, v17, n4, 2022.

<https://doi.org/10.11606/gtp.v17i4.196798>



## **ABSTRACT:**

*The Covid-19 pandemic has brought a series of reflections on the sanitary conditions of the environments for long-term uses. Schools, offices, hospitals, etc. had to readjust to avoid the virus proliferation and new diseases and bring more comfort and well-being to the building users. The main purpose of this paper is to present the potential use of a multi-objective algorithm to optimize educational institutional layout spaces taking into consideration the internal solar incidence and the social distancing recommended by the WHO. The method was experimental development in six stages; (i) literature review research; (ii) defining the ambients and params to be analyzed; (iii) model development; (iv) computational simulation; (v) multi-objective optimization; e (vi) result analysis, The spaces and desks modeling were made on the software Rhinoceros through plug-in Grasshopper, the internal solar incidence calculations were made with Honeybee and the optimization multi-objective algorithm was applied through Wallacei. As a result, we could rapidly verify the best layout considering social distancing between desks and minimization of solar incidence on desks. This paper can offer a new method for study and development of future projects that are more diligent not only for common regular basis projects but also for those in a crisis situation where a rapid and safe response is required from the designer.*

**KEYWORDS:** *form optimization; educational institutions; social distancing; luminic confort.*

## **RESUMEN:**

La pandemia del Covid-19 ha traído una serie de reflexiones sobre las condiciones sanitarias de los ambientes para usos prolongados. Escuelas, oficinas, hospitales, etc. tuvieron que reajustarse para evitar la proliferación de virus y nuevas enfermedades y traer más comodidad y bienestar a los usuarios del edificio. El propósito principal de este artículo es presentar el uso potencial de un algoritmo multiobjetivo para optimizar los espacios de diseño institucional educativo teniendo en cuenta la incidencia solar interna y el distanciamiento social recomendado por la OMS. El método fue de desarrollo experimental en seis etapas; (i) investigación de revisión de literatura; (ii) definir los ambientes y parámetros a analizar; (iii) desarrollo de modelos; (iv) simulación computacional; (v) optimización multiobjetivo; y (vi) análisis de resultados. El modelado de espacios y escritorios se realizó en el software Rhinoceros a través del plug-in Grasshopper, los cálculos de incidencia solar interna se realizaron con Honeybee y se aplicó el algoritmo multiobjetivo de optimización a través de Wallacei. Este estudio puede ofrecer una nueva metodología para desarrollar y estudiar proyectos de manera más diligente no sólo para proyectos convencionales sino también en episodios de crisis que impliquen respuestas rápidas y seguras por parte de los diseñadores.

**PALABRAS CLAVE:** optimización de espacios; instituciones educacionales; Distanciamiento social; Confort lumínico

## INTRODUÇÃO

Em março de 2020, foi declarada a pandemia da Covid-19 pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e com elas, diversas medidas protetivas contra o vírus. Diversos estados brasileiros realizaram o isolamento social em atos como fechamento de órgãos públicos, comércio não essencial e instituições de ensino. Com isto, foram elucidados questionamentos em torno das atuais condições sanitárias dos espaços de permanência prolongada. Escolas, escritórios, hospitais, etc., necessitaram realizar medidas a fim de evitar o avanço da proliferação da Covid-19 e demais prováveis doenças contagiosas. Todas essas mudanças que impactaram a vida das pessoas, estimularam o uso massivo de tecnologia. As reuniões, aulas, consultas médicas, praticamente tudo passou a ser intermediado por tecnologia, de modo a alterar a relação indivíduo-espaço e permitir outras formas de vivências dos espaços, uma vez que é possível estar em qualquer lugar apenas com uma tela de distância (GIORDANI; RUSCHEL, 2021).

As revoluções tecnológicas influenciaram também no ensino das escolas, de modo a permitir o acompanhamento de aulas de forma remota. Entretanto, apesar da tecnologia permitir o ensino à distância, um número considerável de brasileiros não possui acesso a uma rede de internet de qualidade, o que ressalta a necessidade das aulas presenciais. Dentro deste contexto é imprescindível refletir sobre a qualidade do sistema de ensino tradicional e o papel importantíssimo do espaço físico e como ele é capaz de afetar a condição de aprendizado dos indivíduos (FURLANI; CARDOSO, 2021).

Desde que foi instaurada a pandemia, várias instituições, públicas, privadas e governamentais ao redor do mundo realizaram estudos para lidar com a retomada das atividades presenciais. Como por exemplo, Amizo e Tostes (2020) fizeram um levantamento bibliográfico para adequação, gestão e controle dos espaços universitários pós-Covid-19 para o retorno das atividades presenciais. Foi constituído um repositório com diversas fontes, como autoridades públicas, publicações científicas, universidades, instituições privadas e imprensa, que abordassem informações acerca do planejamento da retomada presencial de forma segura, especialmente no que concerne ao espaço físico de instituições de ensino superior. No estudo foi possível concluir que existe um grande esforço internacional para trazer essas soluções para o enfrentamento da crise da Covid-19. Verificou-se que o distanciamento social é uma prática recomendada por todas as instituições, além da vacina, que ainda é muito efetiva para se evitar o contágio e disseminação do vírus (AMIZO; TOSTES, 2020).

Neste contexto, o Ministério da Educação lançou o 'Protocolo de Biossegurança para Retorno das Atividades nas Instituições Federais de Ensino', no qual recomendou-se o distanciamento mínimo de 1,5 m entre mesas e carteiras (MEC, 2020). A necessidade de recursos e infraestrutura nas escolas e universidades, como a presença de salas de aula grandes o suficiente para respeitar o espaçamento das carteiras, a possibilidade de expandir esse espaço, de reduzir ou de alternar o uso das dependências da instituição também foi levantada pela OMS (WORLD HEALTH ORGANIZATION [WHO], 2020).

O conforto ambiental é uma disciplina da arquitetura que visa a promover o bem-estar às pessoas e, para isto, dependem de fatores físicos - como temperatura, umidade, iluminação e ventilação - e não físicos - como a condição emocional do usuário e a sua relação com aquele espaço - a fim de gerar espaços humanizados, ou seja, espaços homeotérmicos em que o usuário se interesse, se conecte, a ponto de permanecer (FROTA; SCHIFFER, 2001; LAMBERTS et al., 2014; SCHMID, 2005). A implementação de todas estas variáveis quantitativas e qualitativas em projeto exige uma gama de conhecimentos e simulações computacionais. O uso da otimização da forma através da inclusão de algoritmos multi-objetivos pode auxiliar no processo projetual (OXMAN, 2007). A otimização multi-objetivo considera duas ou mais funções objetivo a serem otimizadas (maximizar ou minimizar). Além disso, possui restrições

que devem ser satisfeitas para que uma solução seja factível para o problema (TICONA e DELBEM, 2008). O arquiteto é capaz de incluir os aspectos físicos, estruturais, condições de circulação, temperatura, acústica, iluminação e ventilação, e os não físicos, como a habilidade de abranger os aspectos sociais, culturais e comportamentais dentro do contexto e da sociedade em que está inserido, de modo a colaborar para a geração da forma e a sua materialização (KOLAREVIC, 2001).

Gruske (2006) faz uma comparação entre duas diferentes abordagens ao processo de projeto: o meio tradicional, o qual ele afirma que é um processo árduo pois é necessário empregar mais tempo e trabalho manual; e o segundo meio, no qual o autor propõe o uso de algoritmo multi-objetivo para otimização de tempo e da tomada de decisões no projeto arquitetônico. Este algoritmo baseia-se no princípio da evolução natural para otimizar e/ou aprimorar múltiplos problemas a serem solucionados em um processo automatizado e sistematizado, gerando soluções que englobam todos os problemas e encontrando alternativas de forma rápida e eficaz. Houllier e Hammami (2004) ressaltaram o uso de algoritmo multi-objetivo como uma ferramenta essencial para o apoio no processo de tomada de decisões em projetos.

Zhang et. al (2017) utilizaram a otimização multi-objetivo para encontrar soluções ótimas e solucionar as adversidades geradas durante o inverno e o verão em uma escola, relacionadas ao consumo de energia e iluminação natural. Estes parâmetros foram utilizados para gerar diversas possibilidades de layouts de corredores em escolas. A otimização do desempenho foi aplicada com uso do software Rhinoceros com o plug-in Grasshopper. Os autores concluíram que essa ferramenta seria muito útil ao prover novas perspectivas e um resultado eficiente e efetivo (ZHANG et al., 2017).

Em outros estudos, Qingsong e Fukuda (2015) utilizaram parâmetros similares em busca da otimização do layout de um edifício de escritórios, e Shi e Yang (2013) buscaram a maximização de iluminação natural através do design de janelas. Ambos utilizaram o algoritmo de otimização e verificaram a eficiência do uso desta para prover aos designers e arquitetos, a possibilidade de obtenção de resultados de forma rápida e prática. Esta ferramenta pode ser aplicada nos estágios iniciais do projeto e oferecer uma tomada de decisão mais assertiva. O uso de algoritmo multiobjetivo pode aprimorar a eficiência energética e o conforto térmico de uma edificação, promovendo saúde e bem-estar ao usuário (QINGSONG E FUKUDA, 2016; SHAN, 2013; SHI e YANG, 2013; YU et al., 2014; ZHANG et al., 2017).

O principal objetivo deste artigo é apresentar o potencial uso do algoritmo de otimização multi-objetivo para otimização de layout de espaços institucionais de ensino, considerando a incidência solar interna e o distanciamento social preconizado pelo MEC.

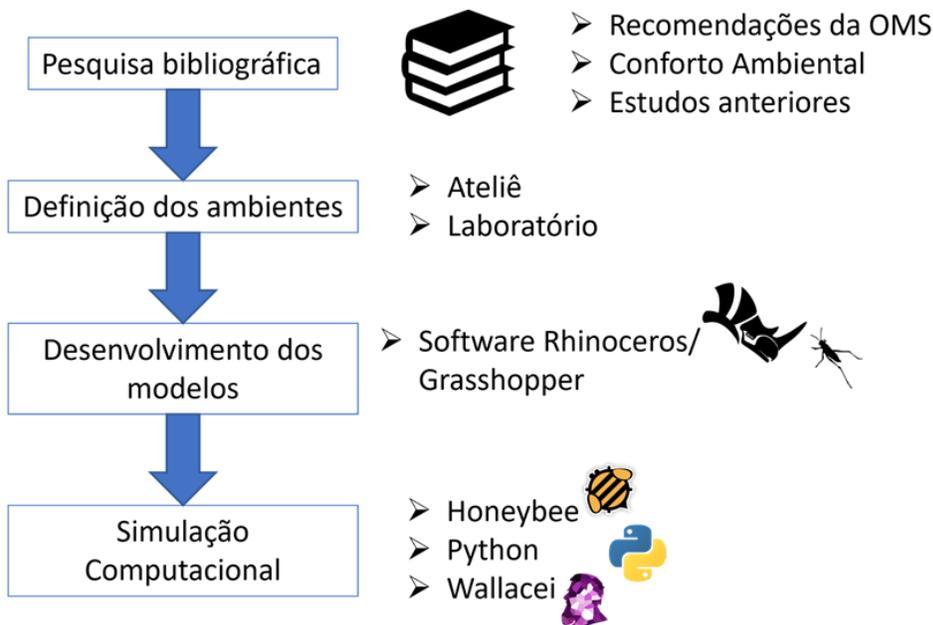
## MÉTODO

Esta pesquisa utilizou o desenvolvimento experimental, que busca desenvolver novos materiais ou melhorias de novos sistemas e serviços (GIL, 2002). A metodologia consiste em revisão bibliográfica e desenvolvimento experimental. Com os resultados obtidos, foi realizada uma análise quantitativa e qualitativa. O planejamento do estudo em três etapas pode ser observado na Figura 1.

A modelagem dos espaços e carteiras foi realizada dentro do software Rhinoceros, plug-in Grasshopper, a simulação de iluminação foi realizada com a ferramenta HoneyBee, o distanciamento social foi programado a partir do código Python e o algoritmo de otimização multi-objetivo foi implementado com uso da ferramenta Wallacei. Todas estas ferramentas encontram-se integradas no software Rhinoceros.

## PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica foi realizada através da leitura de materiais ligados ao tema, foram eles livros e publicações de revistas, jornais e congressos, sendo elas já apresentadas na introdução (MARCONI; LAKATOS, 2010).



**Figura 1.**  
Delineamento de pesquisa

**Fonte:**  
Elaborado pelas autoras.

## DEFINIÇÃO DOS AMBIENTES E DESENVOLVIMENTO DOS MODELOS

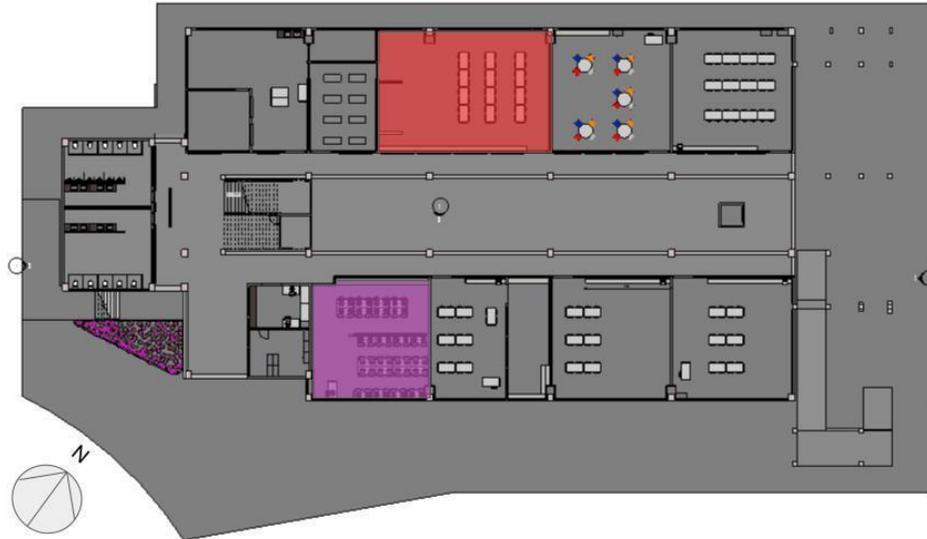
Os ambientes a serem estudados foram definidos conforme o uso, foram priorizados ambientes de permanência prolongada, com formato e dimensões retangulares, tais como: salas de aula e laboratórios. Foram então selecionados o ateliê e o laboratório de informática, localizados no pavimento térreo de uma edificação institucional de ensino superior. A representação dos ambientes pode ser observada na planta da Figura 2.

As medidas dos ambientes do Ateliê e Laboratório de informática são respectivamente 10 x 10,29 x 5m e 14,5 x 10,34 x 5m (comprimento x largura x altura). As aberturas externas do Ateliê orientam-se a Noroeste, com dimensões de 8,5 x 2,4 m, possui também aberturas na parede oposta que direcionam-se ao pátio interno da edificação. O Laboratório de Informática, por sua vez, possui as aberturas externas orientadas ao Sudeste, com área total de 285,6 m<sup>2</sup> e aberturas internas na parede oposta. O vidro de todas as aberturas é do tipo simples. O layout dos ambientes era composto por mesas e cadeiras dispostas lado a lado, em que é possível acomodar 48 alunos sentados, conforme apresentado na figura 3.

A modelagem dos ambientes foi realizada no Software Rhinoceros através do plug-in Grasshopper, este software permite que seu usuário realize simulações de desempenho, de forma a guiar o projeto de otimização, controlado por algoritmos. Com o plug-in Grasshopper foi desenhada a geometria, tanto do modelo das salas quanto das carteiras, assim logo após foi possível aplicar simulações de conforto aliadas à otimização.

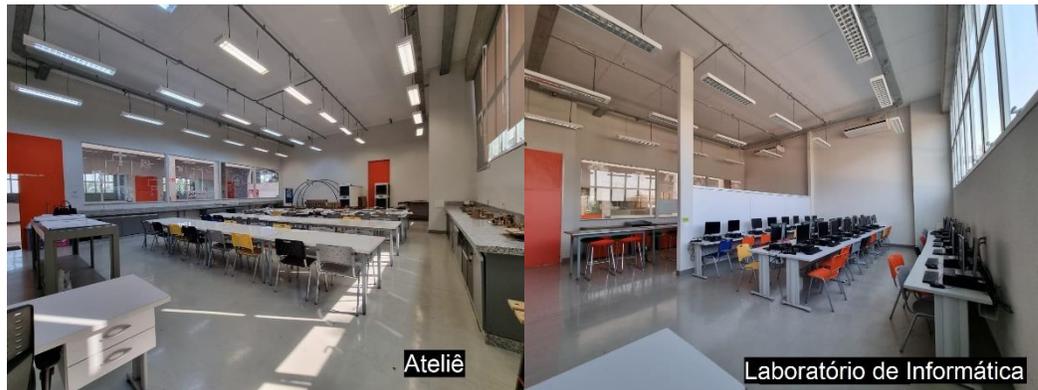
**Figura 2.** Planta baixa do pavimento térreo da edificação. Em destaque Ateliê em vermelho e laboratório de informática em roxo.

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.



**Figura 3.** Fotos do Ateliê e do Laboratório de Informática.

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.



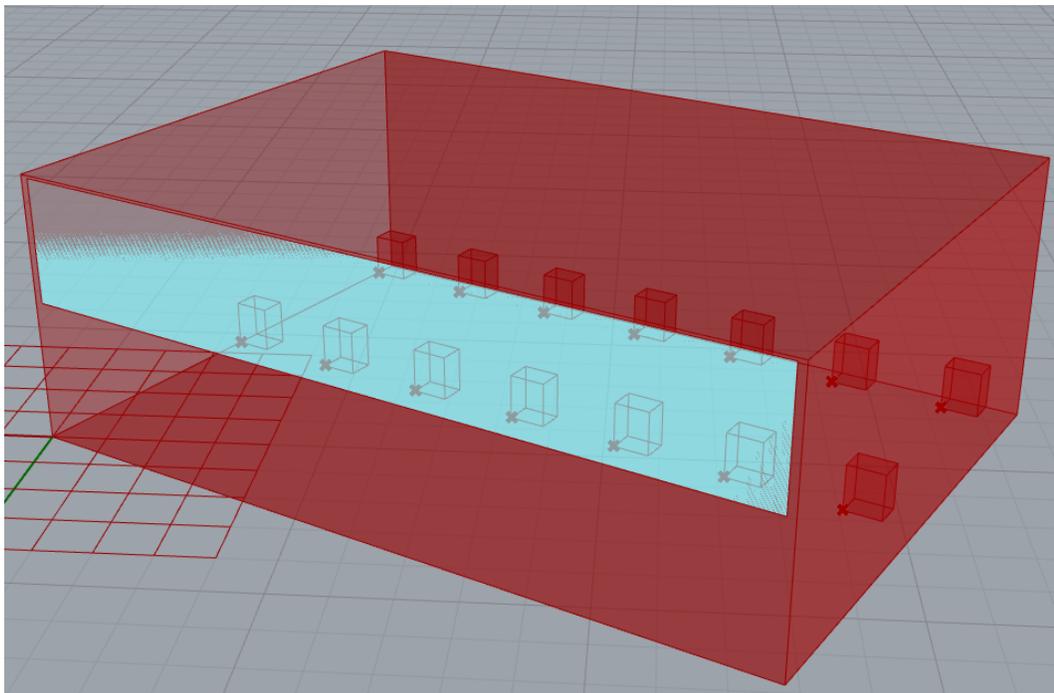
## SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Dentro do software Rhinoceros e do plug-in Grasshopper é possível utilizar outros plug-ins. Neste estudo, foram utilizados o Honeybee, para simulação de iluminação com uso dos dados climáticos de Sorocaba, e o Wallacei para otimização com uso de algoritmo multi-objetivo. O primeiro suporta simulações de iluminação através do Radiance e simulação termodinâmica usando o OpenStudio e EnergyPlus. O segundo é baseado na teoria evolutiva, em que através da combinação de genes (ou variáveis), é possível obter um indivíduo (ou uma solução) com todas as qualidades (ou objetivos) buscadas (PETROV e WALKER, 2020). No presente estudo, o objetivo foi maximizar o número de carteiras dentro da sala, respeitando o distanciamento social, aliada à mínima incidência solar nas carteiras.

## RESULTADOS

Em um primeiro momento, os ambientes Ateliê e laboratório de informática foram desenhados com uso do plug-in Grasshopper do Rhinoceros através de geometrias simples. As múltiplas carteiras foram inseridas em um grid retangular, onde a quina de cada carteira se posiciona em cada nó desse grid. Foi adotado um grid, de dimensão mínima: o tamanho da carteira mais o distanciamento social - 2,2 m - e, dimensão máxima: o comprimento da sala menos o tamanho

da carteira - 9,3m para o laboratório e 13,8 m no ateliê. Para o cálculo das dimensões do grid, considerou-se a medida da carteira de 0,7m e o distanciamento social recomendado pelo MEC de 1,5m. O modelo elaborado no software Rhinoceros/Grasshopper está representado na Figura 4.



**Figura 4.** Modelo elaborado no software Rhinoceros/Grasshopper

**Fonte:**  
Elaborado pelas autoras

Ao aumentar a distância entre as carteiras, as mesmas acabavam por exceder os limites dos ambientes. Desse modo, utilizou-se a linguagem de programação Python (comando GPython Script), em que através dos comandos if/elif foi possível aumentar a distância entre as carteiras, sem que elas ultrapassassem as dimensões do ambiente.

No código apresentado na Figura 5, a variável 'a' representa tanto o número de fileiras, quanto de colunas dentro do ambiente. Por exemplo, o modelo apresentado na Figura 3 possui 4 fileiras e 4 colunas, portanto  $a = 4$ , totalizando 16 carteiras. Já a distância entre as carteiras foi representada pela variável 'x', de modo que, se esta distância situar-se entre 2,2 a 2,3m, deve-se manter 4 fileiras e 4 colunas de carteiras dentro do ambiente, ou seja,  $a = 4$ . Caso a distância varie, deve-se considerar outros valores do número de carteiras, conforme o código demonstrado na Figura 5.

Após a modelagem dos ambientes com as carteiras, realizou-se a simulação lumínica de ambos os ambientes, através do plug-in Honeybee. Para essa simulação ser realizada, utilizou o arquivo climático da cidade de Sorocaba, Brasil, obtido de um mapa epw disponível no Ladybug Tools, a desenvolvedora do Honeybee. Foi utilizado o código denominado Parametric Daylight Analysis desenvolvido por Mostapha Roudsari. Como inputs, utilizou-se a geometria dos ambientes - ateliê e laboratório -, geometria das janelas, arquivo climático e ajuste da posição do Sol. E como resultado, obteve-se a visualização de uma malha em que cada cor representa o número de horas em que há a presença solar dentro daquele espaço. De modo que a cor vermelha representa mais de 700 horas de incidência solar, a cor azul representa menos de 100 horas de incidência e, a cor amarela apresenta entre 200 e 300 horas de incidência solar no local analisado.

**Figura 5.** Comando if/else no GPython Script para condicionar a distância entre as carteiras aos limites geométricos dos ambientes

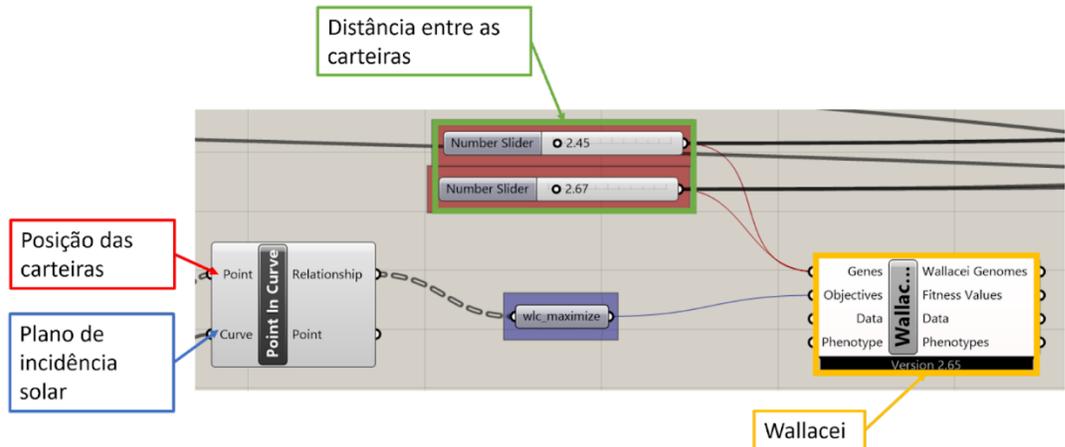
Fonte: Elaborado pelas autoras

<pre> 10 11 import rhinoscriptsyntax as rs 12 13 if 2.2 &lt;= x &lt;= 2.3: 14     ....a = 4 15 elif 2.4 &lt;= x &lt;= 3.1: 16     ....a = 3 17 elif 3.2 &lt;= x &lt;= 4.6: 18     ....a = 2 19 elif 4.6 &lt;= x &lt;= 9.3: 20     ....a = 1                 </pre>	<pre> 10 11 import rhinoscriptsyntax as rs 12 13 if 2.2 &lt;= x &lt;= 2.3: 14     ....a = 6 15 elif 2.4 &lt;= x &lt;= 3.1: 16     ....a = 4 17 elif 3.2 &lt;= x &lt;= 4.6: 18     ....a = 3 19 elif 4.6 &lt;= x &lt;= 6.9: 20     ....a = 2 21 elif 6.9 &lt;= x &lt;= 13.8: 22     ....a = 1 23                 </pre>
--	--

O objetivo do algoritmo de otimização multi-objetivo foi maximizar o número de carteiras dentro do ambiente, respeitando o distanciamento social e evitando a área de incidência solar. No plug-in Wallacei, os genes foram as distâncias transversais e longitudinais entre as carteiras. Já no objetivo, inseriu-se a maximização de pontos - posição das carteiras - fora da curva, que representa os limites do plano de incidência solar. Os genes são, portanto, os parâmetros que irão variar durante a simulação, já o objetivo demonstra a meta a qual o algoritmo deve alcançar. A Figura 6 representa o código que foi utilizado, com os genes e objetivos.

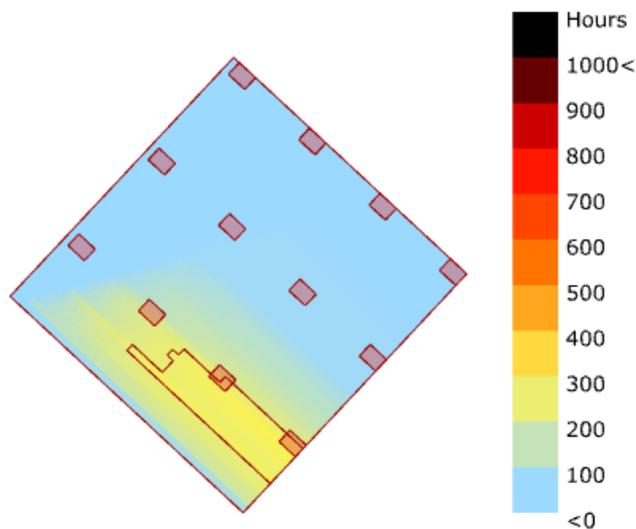
**Figura 6.** Código do Wallacei

Fonte: Elaborado pelas autoras.



O resultado da simulação de ambos os ambientes pode ser observado nas Figuras 7 e 8, que apresentam o layout das carteiras do laboratório de informática e do ateliê com a análise solar, respectivamente. A partir da simulação de iluminação, pôde-se verificar a influência da orientação da edificação na entrada da luz solar. O Ateliê, que possui suas aberturas externas voltadas ao Noroeste, atingiu valores altos de horas de incidência solar (aprox. 800 horas). Já no Laboratório de informática, as horas de incidência solar próximo à abertura foram menores (aprox. 300 horas), uma vez que a mesma se orienta a Sudeste.

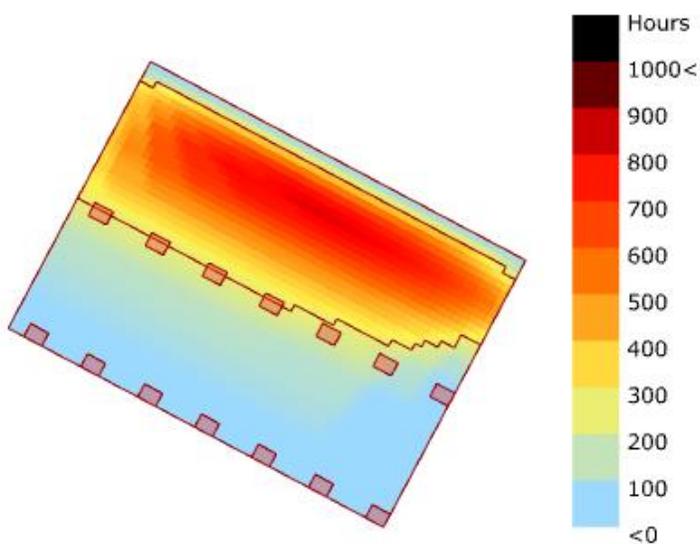
A partir da análise dos resultados, pode-se concluir que o algoritmo atingiu o seu objetivo, uma vez que, nas áreas de tons mais quentes, que representam maior número de horas de incidência solar, houve mínima presença das carteiras. Além disso, o distanciamento social foi mantido, garantindo saúde e conforto lumínico aos usuários dos ambientes. Entretanto, o número de carteiras diminuiu consideravelmente, no laboratório de informática era possível acomodar 48 pessoas, passou a acomodar apenas 12 pessoas. Enquanto o ateliê, que acomodava 50 pessoas, passou a acomodar apenas 14 pessoas.



SunlightHours Analysis

**Figura 7.** Resultado da otimização do laboratório de informática

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.



SunlightHours Analysis

**Figura 8.** Resultado da otimização do Ateliê

**Fonte:** Elaborado pelas autoras.

## CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que o algoritmo de otimização multi-objetivo pode ser utilizado para auxiliar a tomada de decisão do arquiteto, através da otimização do layout de espaços institucionais de ensino. O algoritmo encontrou, de forma rápida, o layout que melhor atende aos objetivos considerados, de distanciamento mínimo entre as carteiras, em conjunto com a menor incidência solar. Este estudo, portanto, confirma conhecimento anterior em nova contextualização.

Esta pesquisa foi desenvolvida com uso do software Rhinoceros, plug-in Grasshopper, que, além de possibilitar a modelagem dos ambientes, também possibilitou a implementação de simulações e do algoritmo multi-objetivo, com o uso do HoneyBee e Wallacei. Deste modo, todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa estavam presentes em um mesmo software, evitando possíveis problemas de interoperabilidade.

A análise de diferentes configurações de layout é um processo trabalhoso, demanda tempo e retrabalho. As ferramentas de modelagem generativa e de otimização da forma, podem ser muito úteis para auxiliar os arquitetos a uma melhor tomada de decisão, de forma rápida. A otimização paramétrica em estágios iniciais de projeto pode melhorar a sua qualidade e prover soluções práticas e estratégicas de diferentes tipos de layout.

Apesar da configuração do layout ter ficado limitada apenas aos eixos cartesianos e em espaços típicos de edificações escolares com formato e dimensões padronizados, o estudo conseguiu cumprir seu objetivo fornecendo um espaço luminicamente confortável e seguro para a Covid-19, provendo o bem-estar e a saúde das pessoas.

Como limitações do estudo, não foram consideradas as características dos materiais da edificação, equipamentos, como computadores, número de pessoas, etc. Ainda que se tenha alcançado o objetivo proposto, esta ferramenta necessita de adequações a fim de que possa ser utilizada em ambientes reais, nas quais o número de variáveis é consideravelmente maior. Em futuras pesquisas, espera-se utilizar um maior número de variáveis para a análise, como materiais da edificação, equipamentos, pessoas, horas de uso etc., bem como implementar outras simulações, como a térmica e a de ventilação. Outros tipos de edificações também podem ser analisados, como residenciais e comerciais.

### ***Agradecimentos***

Ao Centro Universitário Facens, pelo apoio recebido.

### ***Referências Bibliográficas***

AMIZO, Isadora Banducci; TOSTES, Lia. Levantamento bibliográfico para adequação dos espaços universitários pós-Covid-19. In: VI Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 30 dez. 2020. **Anais...** Brasília: UnB, 30 dez. 2020. Disponível em: <<https://conferencias.unb.br/index.php/ENANPARQ/ViENANPARQ/paper/view/23162>>. Acesso em: 11 mar. 2022.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**: arquitetura, urbanismo. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

FURLANI, Sinara; CARDOSO, Grace Tibério. Rethinking Post-Covid-19 School Design in Brazil: Adaptation Strategies for Public Schools PEE-12 FNDE. **Strategic Design Research Journal**, v. 14, n. 1, p. 339–350, 9 abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.4013/sdrj.2021.141.28>

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2002. E-book

GIORDANI, Luanna Lima; RUSCHEL, Andressa Carolina. A arquitetura como ferramenta para a qualidade de vida: mudanças espaciais no cenário da pandemia (Covid-19). **Revista Thêma et Scientia**, v. 11, n. 2E, p. 249–280, 3 dez. 2021.

GRUNSKÉ, Lars. Identifying “good” architectural design alternatives with multi-objective optimization strategies. ICSE '06, 28 maio 2006, New York, NY, USA. **Anais...** New York, NY, USA:

Association for Computing Machinery, 28 maio 2006. p. 849–852. DOI:

<https://doi.org/10.1145/1134285.1134431>

HAMMAMI, Omar; HOULLIER, Marc. Rationalizing approaches to multi-objective optimization in systems architecture design. IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE, mar. 2014, Ottawa, Canada. **Proceedings...** Ottawa, ON, Canada: 2014 IEEE International Systems Conference Proceedings, 2014, p. 407–410. DOI: 10.1109/SysCon.2014.6819289.

KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali. **Performative Architecture: beyond instrumentality**. New York: Spon Press, 2005.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. [3.ed.] Rio de Janeiro, 2014.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010. E-book.

MEC, Ministério da Educação. **Protocolo de biossegurança para retorno das atividades nas Instituições Federais de Ensino**. Brasília: MEC, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/guiasescolares/protocolo-if>. Acesso em 01/09/2022 às 16:48.

OXMAN, R. A Performance-based Model in Digital Design: PERFORMATIVE—Design Beyond Aesthetic. **Architectural Engineering and Design Management**, v.3 ed. 3, p. 169-180, 1 jan. 2007.

PETROV, Martin; WALKER, James. Optioneering Methods for Optimization, Methods of exploring primary and secondary performance criteria in urban design. In: ECAADE 38, 1 set. 2020, Berlin. **Anais...** Berlin: eCAADe, 1 set. 2020. p. 29–36.

QINGSONG, Ma; FUKUDA, Hiroatsu. Parametric Office Building for Daylight and Energy Analysis in the Early Design Stages. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Urban Planning and shan*. **Architectural Design for Sustainable Development (UPADSD)**. v. 216, p. 818–828, 6 jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.079>

SCHMID, Aloísio. L. **A Idéia de Conforto: reflexões sobre o ambiente**. 1. ed. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SHAN, Rudai. Integrating Genetic Algorithm with Rhinoceros and Grasshopper in Whole Building Energy Simulation. In: Grand Renewable Energy 2014, 27 jul. 2014, Tóquio. **Proceedings...** Tóquio: Japan Council for Renewable Energy, 27 jul. 2014.

SHI, Xing; YANG, Wenjie. Performance-Driven Architectural Design and Optimization Technique from a Perspective of Architects. **Automation in Construction**, v. 32, p. 125–135, 1 jul. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.015>

TICONA, W. G. C.; DELBEM, A. C. B. **Algoritmos evolutivos para otimização multi-objetivo**. Agosto de 2008. 38 f. Notas de Aula.

WORLD HEALTH ORGANIZATION [WHO]. **Considerations for school-related public health measures in the context of COVID-19**. Genebra: World Health Organization, 2020.

YU, Wei et al. Application of Multi-Objective Genetic Algorithm to Optimize Energy Efficiency and Thermal Comfort in Building Design. **Energy and Buildings**, v. 88, p. 135–143, 1 fev. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.063>

ZHANG, Anxiao et al. Optimization of Thermal and Daylight Performance of School Buildings Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm in the Cold Climate of China. **Energy and Buildings**, v. 139, p. 371–384, 15 mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.048>

**Natalia Barros**  
[natalianakamura\\_arg@gmail.com](mailto:natalianakamura_arg@gmail.com)

**Erika Shibata**  
[erika.mayumi.me@gmail.com](mailto:erika.mayumi.me@gmail.com)