

CADERNOS
PROARQ 37 v.2

FERNANDA AUGUSTA GOMES BINDA, VICTOR MOURA BUSSOLOTI E EDNA APARECIDA NICO RODRIGUES

Algoritmos evolutivos gerando janelas eficientes

Evolutionary Algorithms Generating Efficient Windows

Fernanda Augusta Gomes Binda

Graduanda em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Ex-membro do Projeto de Extensão Archipolis Júnior (2018-2020). Ex-membro do Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP/UFES), durante período de iniciação científica (2019-2020) pelo PIIC/UFES, participando de pesquisa voltada para Eficiência Energética no Ambiente Construído.

Studying Architecture and Urbanism at Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Ex member of the Archipolis Júnior Extension Project (2018-2020). Ex member of the Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP/UFES), during a period of scientific initiation (2019-2020) by PIIC/UFES, cooperating in a research focused in Energy Efficiency in the Built Environment.

fermandagbinda00@gmail.com

Victor Moura Bussolotti

Doutorando em Arquitetura e Urbanismo pelo PPGAU/UFES desde Fevereiro de 2021. Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (2013), com período sanduíche no Politecnico di Milano (2011-2012). Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (2020). Atua no mercado profissional desde a sua formação, tendo atuado nos setores público e privado.

Doctoral student in Architecture and Urbanism at PPGAU/UFES since February 2021. Graduated in Architecture and Urbanism at the Universidade Federal do Espírito Santo (2013), with a sandwich period at the Politecnico di Milano (2011-2012). Master in Architecture and Urbanism from the Universidade Federal do Espírito Santo (2020). Have worked in the labor market since graduation, having worked in the public and private sectors.

victorbussolotti@hotmail.com

Edna Aparecida Nico Rodrigues

Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo (1991), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (2008) e doutorado em arquitetura e Urbanismo pela Universidad del Bío-Bío, Chile. Atualmente é professora da Universidade Federal do Espírito Santo. Tem experiência na área de Arquitetura

e Urbanismo, com ênfase em Eficiência energética nas edificações, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto de arquitetura, urbanismo, desempenho térmico, ventilação natural, tipologias de janelas, avaliação de desempenho térmico e arquitetura bioclimática.

Bachelor at Architecture and Urbanism from the Universidade Federal do Espírito Santo (1991), Masters in Civil Engineering from the Universidade Federal do Espírito Santo (2008) and doctorate degree in Architecture and Urbanism from the Universidad del Bío-Bío, Chile. Currently a professor at the Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Experience in Architecture and Urbanism, focusing on Energy Efficiency in Buildings, working mainly on the following topics: architectural design, urbanism, thermal performance, natural ventilation, window typologies, thermal performance assessment and bioclimatic architecture.

ednanr@terra.com.br

Resumo

O estudo sistemático pela eficientização energética dos componentes da edificação pode identificar melhorias nas diretrizes das normativas brasileiras, principalmente no que tange à especificação de janelas. Contudo, a utilização de ferramentas que auxiliem os projetistas na tomada de decisões projetuais, no que diz respeito à eficiência das edificações, aliada à limitação das legislações vigentes, corrobora para um processo de projeto que pode indicar as melhores soluções, principalmente para as esquadrias. A pesquisa objetivou realizar uma análise comparativa entre as janelas dispostas na NBR 15.575 (2013), no RTQ-R (2012) e no Código de Obras de Vitória (ES), por meio de uma ferramenta baseada em algoritmos evolutivos, considerando as normas internacionais de conforto térmico. Buscou-se avaliar o desempenho das janelas nas edificações a partir de parâmetros mínimos impostos por normativas e legislações nacionais, que apresentam limitações, dado que não se adequam, em muitos casos, às particularidades dos edifícios e das condições climáticas. Definiu-se o software Rhinoceros 6 e seu plug-in Grasshopper para a modelagem do ambiente de estudo e utilizou-se de plug-ins dentro do Grasshopper: o Honeybee e o Ladybug para as análises climáticas e o plug-in Galapagos para gerar janela otimizada por meio de computação evolutiva. No segundo momento, definiu-se o objeto de estudo e a construção do sistema generativo com a parametrização das janelas, utilizando algoritmos evolutivos para geração de janelas eficientes. Os resultados demonstraram que a utilização de ferramenta possibilitou a análise comparativa dos percentuais de otimização das horas para o conforto térmico de acordo com os parâmetros estabelecidos, evidenciando que a proposição de janelas adequadas pode contribuir positivamente para a eficiência energética da edificação. Os resultados também identificaram as incoerências descritas nas legislações utilizadas.

Palavras-chave: Janela; Algoritmo Evolutivo; Conforto Térmico.

Abstract

The systematic study for the energy efficiency of building components can identify improvements in the guidelines of Brazilian regulations, especially with regard to the specification of windows. However, the use of tools that assist designers in making design decisions, with regard to the efficiency of buildings, coupled with the limitation of current legislation, corroborates a design process that can indicate the best solutions, especially for windows. The research aimed to carry out a comparative analysis between the windows arranged in NBR 15.575 (2013), in RTQ-R (2012) and in the Construction Code of Vitória (ES), through a tool based on evolutionary algorithms, considering international standards for thermal comfort. We sought to evaluate the performance of windows in buildings based on minimum parameters imposed by national regulations and laws, which have limitations, given that they are not adapted, in many cases, to the particularities of buildings and climatic conditions. The Rhinoceros 6 software and its Grasshopper plug-in were defined for modeling the study environment and were used plug-ins within Grasshopper: Honeybee and Ladybug for climate analysis and the Galapagos plug-in to generate an optimized window through evolutionary computing. In the second moment, the object of study and the construction of the generative system were defined with the parameterization of the windows. Evolutionary algorithms were used to generate efficient windows. The results showed that the use of the tool indicated, in a comparative way, the percentage of optimization of hours of thermal comfort for the established parameters, showing that the proposition of adequate windows can positively contribute to the energy efficiency of the building and identified the inconsistencies described in the legislation used as a reference.

Keywords: Window; Evolutionary algorithms; Thermal comfort.

Resumen

El estudio sistemático para la eficiencia energética de los componentes del edificio puede identificar mejoras en los lineamientos de la normativa brasileña, especialmente en lo que respecta a la especificación de ventanas. Sin embargo, el uso de herramientas que ayuden a los diseñadores a tomar decisiones de diseño, en cuanto a la eficiencia de los edificios, combinado con la limitación de la legislación vigente, contribuye a un proceso de diseño que puede indicar las mejores soluciones, especialmente para las ventanas. La investigación tuvo como objetivo realizar un análisis comparativo entre las ventanas previstas en la NBR 15.575 (2013), la RTQ-R (2012) y el Código de Obras de Vitória (ES), a través de una herramienta basada en algoritmos evolutivos, considerando estándares internacionales de comodidad. Se buscó evaluar el desempeño de los marcos en edificios a partir de parámetros mínimos impuestos por la normativa y legislación nacional, que tienen limitaciones, ya que no se adecuan, en muchos casos, a las particularidades de las edificaciones y condiciones climáticas. El software Rhinoceros 6 y su plug-in Grasshopper se definieron para modelar el entorno de estudio, y se definieron plug-ins dentro de Grasshopper: Honeybee y Ladybug para el análisis climático y el plug-in Galápagos para generar una ventana optimizada a través del cálculo evolutivo. En el segundo momento se definió el objeto de estudio y la construcción del sistema generativo con la parametrización de las ventanas. Se utilizaron algoritmos evolutivos para generar ventanas eficientes. Los resultados mostraron que el uso de la herramienta indicó, comparativamente, el porcentaje de optimización de las horas de confort térmico para los parámetros establecidos, mostrando que la proposición de ventanas adecuadas puede contribuir positivamente a la eficiencia energética del edificio e identificaron las inconsistencias descritas en las legislaciones utilizadas como referencia.

Palabras clave: Ventana; Algoritmo evolutivo; Comodidad térmica.

Introdução

De acordo com a *Global Alliance For Buildings and Construction* (2019) o setor de construção civil responde por 36% do uso final de energia em todo o mundo e 28% do total de emissões de CO₂ relacionadas à energia. Ainda segundo a organização, as emissões indiretas (ou seja, da geração de energia para eletricidade e geração de calor) representam a maior parcela das emissões de CO₂ relacionadas à energia no setor de edifícios, representando cerca de 68% do total de emissões em 2019. Com o crescimento da população, bem como o poder de compra nas economias emergentes e nos países em desenvolvimento, a demanda de energia nos edifícios poderá aumentar em 50% até 2060. Adotar diretrizes que consideram as relações entre o clima e os seres humanos é importante na definição de ambientes adequados às sensações dos usuários (NICO-RODRIGUES et al., 2015). Nesse contexto são necessários maiores investimentos em eficiência e estratégias de projeto passivas para limitar a demanda e reduzir a intensidade energética (GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION, 2019).

No Brasil, indústrias, residências e serviços correspondem a 46,5% do consumo total de energia do país, apresentando uma taxa de crescimento anual de 2,1%, nas emissões de CO₂ (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019). Seguindo a análise dos dados do Ministério de Minas e Energia (2019), a iluminação artificial é responsável por 14% do consumo energético residencial, enquanto os sistemas de condicionamento de ar representam 20%, em relação ao percentual de 46,5% apresentado acima. Soma-se a isso a inadequação das edificações ao clima, ocasionando o uso elevado de condicionamento artificial (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2013).

Nesse contexto, visando um melhor desempenho energético das edificações brasileiras, algumas normativas foram adotadas para a construção civil. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, iniciado em 1985, inaugurou as normas referentes às questões de melhoria da eficiência energética nos edifícios. Em 2001, foi aprovada a Lei nº 10.295 (BRASIL, 2001) relacionada à temática da Eficiência Energética, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Em conformidade com essa Lei, em 2009 foi publicada a primeira versão do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos - RTQ-C (INMETRO, 2013), e documentos complementares, um relatório com os requisitos necessários para classificação do nível de Eficiência Energética dos edifícios comerciais.

Para o setor residencial, a aprovação do Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares - RTQ-R - (INMETRO, 2012) foi aprovado em 2010, sendo um regulamento que especifica requisitos técnicos e métodos para a classificação de edificações residenciais quanto à eficiência energética.

Outras normativas foram desenvolvidas buscando complementar a questão da eficiência energética na construção civil. Entre elas, a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013), na quarta edição estabeleceu requisitos e critérios de desempenho aplicáveis às edificações habitacionais, definindo as condições de habitabilidade para o alcance do conforto ambiental. Em 2020 foram efetuadas revisões na normativa relacionadas aos procedimentos para a avaliação do desempenho das edificações (ABNT, 2020). Ademais, a NBR 15.220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) determinou diretrizes construtivas para a obtenção de desempenho adequado para a especificidade de cada Zona Bioclimática brasileira.

Além dessas normas, visando garantir as condições mínimas de segurança, conforto, higiene e salubridade das edificações e obras em geral, tem-se os Códigos de Edificações Municipais. Essas legislações disciplinam os procedimentos administrativos e as regras, gerais e específicas, a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução, manutenção e utilização das obras, edificações e equipamentos, sem prejuízo do disposto nas legislações municipal, estadual e federal pertinentes (VITÓRIA, 1998), determinando, inclusive, as dimensões mínimas de aberturas das obras municipais.

Em um contexto mundial, existem normativas estrangeiras que contribuem na avaliação do conforto térmico para as condições climáticas do Brasil. Betancourt (2013), Machado (2019), e Nico-Rodrigues (2015), consideram três padrões internacionais como os mais utilizados no âmbito do conforto térmico: a ISO 7730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), de esfera internacional, a ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) que, apesar de referir-se ao padrão norte americano é comumente utilizada por pesquisadores brasileiros, e a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007), que não se adequa ao clima brasileiro por ser própria para o continente europeu.

Contudo, apesar das normativas nacionais e internacionais estarem em vigor há décadas, a construção civil ainda consome mais de um terço do uso total de energia do Brasil (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2019). Ressalta-se que é importante pensar soluções que auxiliem os projetistas e as legislações na proposição de soluções mais assertivas para as particularidades do clima, garantindo o conforto do usuário e eficiência energética da edificação.

Para XU et al. (2015) o elemento arquitetônico mais significativo que pode contribuir para a redução do consumo de energia do edifício por meio da ventilação natural são as janelas. Assim sendo, considerando o atual contexto de crise energética e ambiental, é fundamental que os projetistas se atentem às definições de esquadrias que maximizem a eficiência energética dos edifícios. Para Betancourt (2013) o uso recorrente de sistemas ativos consumidores de energia para climatização são consequência de janelas que não desempenham suas funções adequadamente, de acordo com as características climáticas do local. Seguindo essa análise, apesar das normatizações, o alto consumo de energia nas edificações pode indicar, entre outros fatores, que o elemento janela não possui desempenho desejável a fim de garantir maior eficiência energética.

O dimensionamento da janela e seu sistema de abertura exercem papel primordial na experiência lumínica, além de influenciar diretamente na quantidade de ar, promovendo a sua renovação e proporcionando conforto térmico. Amaral et al. (2016), destacam que outro elemento importante em um projeto de esquadrias é a espessura e a quantidade de folhas de vidro, sendo um elemento interferente nas condições térmicas do ambiente, influenciando na troca de calor entre a parte externa e interna da edificação, podendo auxiliar na manutenção do desempenho ambiental adequado.

Quanto ao posicionamento, El Daly (2014) destaca que o sistema de fenestração é de grande importância, uma vez que, além de se relacionar com o aspecto estético da fachada, é crucial para a melhoria da qualidade do ar no interior dos ambientes. Misojecki et al. (2018) demonstraram que uma janela posicionada nos locais mais eficientes pode reduzir as perdas em função da transmitância de calor em mais de 50% em termos de energia.

Diante do exposto, nota-se a importância de pensar ferramentas que auxiliem as normativas a proporem sistemas de aberturas que proporcionem desempenho ambiental desejável aos ambientes. No caso do elemento janela, em que há diferentes

aspectos a serem definidos, como percentuais de abertura para iluminação e ventilação natural, encontram-se impasses dificilmente manipuláveis por métodos tradicionais. Nesses casos complexos, podem ser utilizadas técnicas que incluem algoritmos evolutivos que possibilitam gerar diferentes soluções para o problema.

Os algoritmos evolutivos funcionam pela manutenção de uma população de estruturas que vão evoluir de maneira similar à das espécies, proposta por Darwin. Nessas estruturas, aplicam-se os chamados operadores genéticos, que podem ser por recombinação, mutação ou seleção. Cada indivíduo será avaliado pela quantificação de sua qualidade como solução do problema proposto e, com base no resultado da avaliação, os operadores genéticos serão aplicados para simular a sobrevivência do mais apto (LINDEN, 2008).

Esses algoritmos podem ser aplicados em sistemas generativos, uma ferramenta de obtenção de soluções a determinados problemas com a característica de gerar diversas alternativas por meio da utilização de um processo lógico, formado por um conjunto de regras e parâmetros, concebidos com o uso de ferramentas analógicas ou digitais (FISCHER E HERR, 2001). A concepção do mecanismo de um sistema generativo descende de um conjunto de regramentos aplicados a distintas ordens e combinações ou por modelos geométricos paramétricos (SEDREZ, 2016). Assim sendo, o método de projeto generativo permite que, durante o processo projetual, o projetista não interaja com os materiais e produtos diretamente, mas por meio do sistema generativo, que pode produzir uma série de soluções potenciais (OXMAN, 2018).

Os algoritmos evolutivos exploram diferentes possibilidades, dentro do espaço de soluções possíveis para um projeto, por meio de recombinações genéticas e mutações, permitindo que se faça uma busca mais diversificada de soluções, para se obter a melhor solução global (MARTINO, 2015). Os algoritmos são indicados para resolver problemas complexos, que envolvam diferentes variáveis conflitantes e que precisam ser atendidas simultaneamente e satisfatoriamente (LINDEN, 2008).

Na determinação de janelas eficientes há a busca pelos melhores parâmetros que otimizem a sua eficiência, considerando variáveis como: formato, dimensões, localização, quantidade, sistemas de abertura, material, entre outras, em que a utilização de algoritmo evolutivo seja uma das ferramentas indicadas para alcançar a otimização pretendida, quando se compila todas as variáveis necessárias para a obtenção do melhor resultado.

Dessa forma, é possível afirmar que usar ferramentas generativas evolutivas no processo projetual, permite uma avaliação dos resultados nas etapas iniciais, possibilitando escolher entre uma variedade de soluções eficientes (BETANCOURT; ALVARADO; VILLARREAL, 2012). Estas ferramentas contribuem para o processo criativo ao gerar alternativas para solucionar um problema, maximizando a possibilidade de obtenção de projetos de qualidade (MARTINO, 2015).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi comparar o desempenho térmico de janelas requeridas pela NBR 15.575 (2013), o RTQ-R (2012) e o Código de Obras de Vitória (ES), por meio de algoritmos evolutivos.

Metodologia

A pesquisa foi estabelecida a partir de três etapas principais: caracterização do ambiente de estudo; análise do conforto térmico; e configuração do modelo no *software* de parametrização.

Caracterização do ambiente de estudo

A tipologia arquitetônica adotada para as simulações foi um ambiente de longa permanência, em uma residência multifamiliar hipotética baseada no padrão de edifício residencial estabelecido pelo Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares - RTQ-R (INMETRO, 2012), conforme experimentos realizados por Nico-Rodrigues (2015), Lamberts, Dutra e Pereira (2013), D'ell Santo, Alvarez e Nico-Rodrigues (2013), e Machado (2019). O ambiente selecionado tem as dimensões de 5,20m x 2,75m e 2,70m de pé direito. Para que fossem feitas simulações para as quatro orientações principais: Norte, Leste, Sul e Oeste, a orientação do cômodo foi parametrizada, de modo que se inseriu uma pilha no sistema que permite alterar sua orientação.

O cômodo selecionado possui apenas uma parede voltada para o exterior, na qual está localizada a abertura. Isso se justifica como uma tentativa de se reduzir as interferências no desempenho térmico do ambiente quanto à incidência da radiação solar nas paredes. As janelas adotadas para as simulações no ambiente seguiram as dimensões mínimas requeridas pelo Código de Obras, pelo RTQ-R e pela NBR 15575, descritas no Quadro 1.

QUADRO 1 – Dimensão das janelas requeridas pelas normas.

Fonte: Autores 2020

NORMA	DIMENSÃO MÍNIMA PARA ILUMINAÇÃO	DIMENSÃO MÍNIMA PARA VENTILAÇÃO
CÓDIGO DE OBRAS VITÓRIA - ES	12,5% da área do piso	6,25% da área do piso
RTQ-R	12,5% da área do piso	10% da área do piso
NBR 15.575	8% da área do piso	8% da área do piso

Os modelos iniciais, segundo as dimensões das normativas, não apresentaram variações no sistema de envidraçamento, nos dispositivos sombreadores, nos sistemas de abertura e no percentual operável da janela, variáveis que foram adotadas para simular a otimização com os algoritmos. Para determinação das propriedades térmicas dos elementos construtivos, relacionados à envoltória, foram adotados materiais usualmente utilizados na construção civil na cidade de Vitória, ES e calculados de acordo com a NBR 15.220-2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a). Os valores obtidos após os cálculos estão apresentados no Quadro 2.

QUADRO 2 – Transmitância térmica dos revestimentos.

Fonte: Autores 2020

MATERIAL	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA
Laje	1,34 W/m ² .K
Parede	2,54 W/m ² .K
Cobertura	2,56 W/m ² .K
Vidro Simples	5,69 W/m ² .K
Vidro Duplo	3,11 W/m ² .K
Vidro Triplo	2,14 W/m ² .K

Considerou-se a tipologia arquitetônica inserida na cidade de Vitória, localizada na Zona Bioclimática 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b), com clima caracterizado como tropical de monções, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2014). A temperatura média de Vitória está entre 26,7 °C em fevereiro e 21,6 °C em julho, tendo as máximas de 31,6°C e mínimas de 18,8°C nos mesmos meses (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET, 2018).

Análise do Conforto Térmico

A análise do conforto térmico no ambiente foi por meio de parâmetros estabelecidos pelas normas internacionais da ASHRAE 55 (2013) e da ISO 7730 (2005) aplicadas em ambientes térmicos moderados. Utilizou-se índices PPD (percentual previsto de insatisfação) que prevê a quantidade de pessoas em desconforto térmico dentro de um ambiente, e PMV (voto médio previsto), que estima a adequação de fatores como atividade física, vestuário e parâmetros ambientais, para prever a sensação térmica do usuário e descrever as condições do ambiente para se alcançar o conforto térmico (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005).

Analisou-se também o conforto adaptativo, que é um modelo desenvolvido para corrigir o superdimensionamento das horas de desconforto estimadas pelo PMV em edifícios sem ar-condicionado. No modelo adaptativo, o indivíduo age de acordo com sua preferência térmica para alcançar o conforto, abrindo ou fechando a janela e variando o tipo de vestimenta, por exemplo. Esta adaptação pode determinar mais horas de conforto nos edifícios, cuja temperatura, permanece próxima à média mensal em situações acima de 10°C e abaixo de 33,5°C (ROUDSARI, 2019).

Configuração do modelo no software de parametrização

O *software* utilizado para estruturação do sistema generativo e modelagem do cômodo e das janelas parametricamente foi o *Rhinoceros 6*, *software* de modelagem que possui o *plug-in Grasshopper*. O *Rhinoceros 6* utiliza três outros *plug-ins*: o *Ladybug*, o *HoneyBee* e o *Galapagos*. O *Ladybug* trabalha com dados climáticos e insere-os no *Grasshopper* e o *Honeybee* utiliza os mecanismos de simulação do *Radiance*, *Daysim*, e *EnergyPlus*. O *Galapagos* aplica algoritmos evolutivos em sistemas parametrizados, utilizando os princípios da teoria da evolução e insere-os no sistema em estudo, proporcionando um campo de soluções otimizadas para os problemas a serem resolvidos.

As variáveis selecionadas para a parametrização foram: dimensões da abertura (largura, altura e peitoril da janela), posicionamento na parede em relação ao cômodo e à fachada, quantidade de janelas, transmitância térmica do vidro (valor U), número de folhas que compõe a abertura, sistema de abertura da janela, dispositivo sombreador e os parâmetros de ocupação do usuário (rotina, horários de ocupação e horário de abertura e fechamento da janela).

Na definição do comportamento do usuário, os parâmetros humanos e ganhos térmicos por equipamentos seguiram os utilizados por Nico-Rodrigues (2015), assim como os horários de ocupação, de utilização, as características das vestimentas e do metabolismo (Quadro 3).

OCUPAÇÃO	USO
Usuário	08h00 - 13h00 = 0% ocupado 13h00 - 22h00 = 50% ocupado 22h00 - 08h00 = 100% ocupado
PARÂMETROS HUMANOS	
Vestimenta	0,3 clo
Metabolismo para atividade de leitura	115 W/pessoa
Padrão de ocupação	2 pessoas
GANHOS TÉRMICOS DOS EQUIPAMENTOS	
Iluminação artificial - 17h00 - 22h00	5 W/m ²
Computadores - 13h00 - 22h00 = 1 comp.	3,90 W/m ²
ABERTURA DAS JANELAS	HORÁRIO
Aberta	08h00 - 21h00
Fechada	21h00 - 08h00

QUADRO 3 – Ocupação, parâmetros humanos, ganhos térmicos e abertura das janelas.

Fonte: Autores 2020 a partir de Nico-Rodrigues 2015.

A construção do sistema do ambiente em estudo foi dividida em 3 partes, como mostra a Figura [1]. A parte 1, em amarelo, é composta pelos dados de entrada, as informações de operatividade do sistema. Esses *inputs* configuram as dimensões e orientação do cômodo e dimensões e posicionamento da janela na fachada.

Na parte 2, em azul, configurou-se o desenvolvimento do sistema. As informações dos dados de entrada seguem por um processo que objetivou gerar os resultados da simulação de conforto térmico. Inicialmente identificou-se as faces do paralelepípedo que viria a ser o ambiente de estudo, cujas dimensões foram definidas pelos *inputs*, e separou-as por tipo (piso, parede e teto). Em seguida, as faces (o ambiente em estudo) foram transformadas em superfícies no *plug-in Honeybee*, que trabalha com o desempenho, recebendo as propriedades térmicas definidas no Quadro 2. Após, as superfícies foram conectadas em uma zona do *Honeybee*. A zona é formada para que o *Grasshopper* entenda que o objeto da simulação é um único ambiente fechado, não climatizado, com todas as características térmicas pré inseridas.

Após as configurações, foi inserida a janela no modelo. Para isso, a superfície referente à área da janela foi separada da zona e as propriedades paramétricas referentes à janela atribuídas a essa nova superfície. Com o resultado da parametrização efetuada nos dados de entrada do sistema, foi possível variar o número de janelas que atenderiam ao ambiente e a distância entre elas. Em seguida, criou-se o elemento janela dentro do *HoneyBee* e inseriram-se as propriedades de seus materiais, dispositivo sombreador parametrizado e reagrupou-se essa superfície ao resto do modelo, formando uma única zona não climatizada. Após os procedimentos mencionados, foram inseridos os dados do Quadro 3 e conectou-se o sistema à pilha que executa a simulação e gera os dados para análise.

A parte 3 do sistema (cor branca) corresponde à obtenção dos resultados da simulação. Nessa etapa foram utilizadas pilhas que calcularam os valores de PMV e os resultados de conforto adaptativo. Para aplicar os algoritmos evolutivos a esse sistema parametrizado, fez-se uso da pilha denominada Galapagos, a fim de encontrar a melhor combinação de atributos da janela para o ambiente. No modelo, foram conectadas as pilhas que corresponderam às variáveis de elementos da janela parametrizados no Galapagos - os genomas da simulação.

As simulações de otimização do Galapagos foram feitas em quatro etapas: 1º dimensões, quantidade e posicionamento das janelas; 2º tipo de vidro; 3º características e presença de dispositivo sombreador e; 4º percentual de janela operável. Dessa forma, o número de gerações necessárias para que a pilha conseguisse estagnar e encerrar a simulação foi otimizado.



FIGURA 1 – Sistema do ambiente em estudo.

Fonte: Autores 2020.

Com o sistema construído, inseriram-se nos *inputs* os dados dos parâmetros mínimos de janelas requeridas pelas normas brasileiras NBR 15 575, RTQ-R e Código de Obras de Vitória, conforme as porcentagens de área do piso do ambiente demonstradas no Quadro 1. As características dessas janelas, que seguem sintetizadas no Quadro 4, foram: suas dimensões (largura e altura), locação da janela verticalmente na parede (altura do peitoril), locação da janela horizontalmente na parede (distância do início

da janela à lateral inicial da parede), número de janelas, distância entre elas (caso haja mais de uma), tipo de vidro da esquadria, percentual de abertura, presença ou não de brise e, caso haja brise, se ele é horizontal ou vertical (H ou V), sua angulação e o número de paletas.

CARACTERÍSTICAS DAS JANELAS	CÓDIGO DE OBRAS	NBR 15.575	RTQ-R
LARGURA (m)	1.8	1.15	1.8
ALTURA (m)	1	1	1
PEITORIL (m)	1.1	1.1	1.1
LATERAL INICIAL (m)	0.5	0.8	0.5
Nº DE JANELAS	1	1	1
DIST. ENTRE (m)	-	-	-
TIPO DE VIDRO	Simplex	Simplex	Simplex
TEM BRISE?	Não	Não	Não
TAMANHO (m)	-	-	-
BRISE HORIZONTAL ou VERTICAL	-	-	-
ÂNGULO	-	-	-
Nº DE PALETAS	-	-	-
% DE ABERTURA	50	100	80

QUADRO 4 – Características das janelas das legislações.

Fonte: Autores 2020.

Apesar da NBR 15575 e do RTQ-R recomendarem a utilização de elementos sombreadores e de orientarem acerca de sua forma de utilização, não consta como obrigatoriedade nessas normativas, tampouco no Código de Obras municipal, a inserção desses elementos nas edificações. Ademais, considerando o contexto em que o ambiente de estudo está inserido, foi constatado por Nico-Rodrigues (2015) que as tipologias de janelas mais utilizadas na cidade de Vitória – ES não possuem sombreadores em suas áreas envidraçadas. Por isso, não foram considerados sombreadores nas janelas que contemplavam os requisitos mínimos das normativas.

Resultados

A análise comparativa entre as normativas e as janelas propostas pelas simulações do Galapagos foi realizada em três segmentos: primeiro, comparativo entre os resultados do modelo com as janelas propostas pelas simulações do Galapagos (legislação *versus* proposta do Galapagos) e as de janelas requeridas pelas normas; segundo, a análise do modelo de conforto adaptativo, e; terceiro, as análises do voto médio previsto, comparando as janelas das normativas às do Galapagos.

Legislação versus proposta do Galapagos

Os resultados dos genomas propostos pelo Galapagos para as 4 fachadas do ambiente, em comparação com os modelos propostos pelas legislações – retirados do Quadro 4 -, estão no Quadro 5.

	CÓDIGO DE OBRAS	NBR 15.575	RTQ-R	GALAP. SUL	GALAP. LESTE	GALAP. NORTE	GALAP. OESTE
LARG. (m)	1.8	1.15	1.8	2.5	2.5	2.5	2.4
ALTURA (m)	1	1	1	1.7	1.7	1.9	1.7
PEITORIL (m)	1.1	1.1	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9
LATERAL INICIAL (m)	0.5	0.8	0.5	0.2	0.2	0.2	0.3
Nº DE JANELAS	1	1	1	1	1	1	1
DIST. ENTRE (m)	-	-	-	-	-	-	-
TIPO DE VIDRO	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Simples	Duplo
TEM BRISE?	Não	Não	Não	Sim	Sim	Sim	Sim
TAMANHO (m)	-	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
BRISE HORIZONTAL ou VERTICAL	-	-	-	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal
ÂNGULO	-	-	-	90	75	60	75
Nº DE PALETAS	-	-	-	9	10	10	10
% DE ABERTURA	50	100	80	100	100	100	100

QUADRO 5 – Comparativo entre as janelas das legislações e as do Galapagos em relação aos 13 genomas.

Fonte: Autores 2020.

Observando-se o Quadro 5, vê-se que todas as janelas propostas pelo Galapagos aumentaram suas dimensões (largura x altura x peitoril) em relação às legislações e que cada fachada teve suas próprias demandas de esquadria. Tal resultado ilustra uma carência das legislações ao proporem os parâmetros de janelas tendo as mesmas características para todas as orientações, sem diferenciação. O número de janelas manteve-se o mesmo em todos os casos, tendo apenas 1 esquadria na fachada, ao invés de fragmentá-la em esquadrias menores. Na [Figura 2] vê-se um comparativo entre as janelas das legislações e as propostas pelo Galapagos para cada fachada.

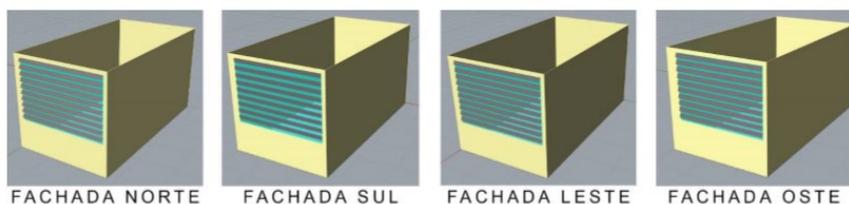
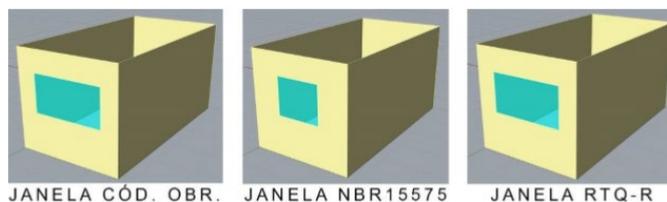


FIGURA 2 – (a) Janelas baseadas nas normas e (b) Janelas obtidas pelo Galapagos..

Fonte: Autores 2020.

Todas as janelas propostas pelo Galapagos foram consideradas com sombreadores, enquanto que, nas simulações das legislações, não foram consideradas, uma vez que não há essa obrigatoriedade nas normativas. As palhetas apresentam todas 10cm de largura – medida máxima permitida no sistema –, são horizontais, e o aparelho sombreador contém entre 10 – o máximo permitido – e 9 palhetas. A inclinação das palhetas variou de 60° a 90°. Todas as janelas propostas apresentaram 100% de sua área ventilável, indicando que servem em sua totalidade para ventilação e para iluminação.

No que diz respeito à quantidade de folhas de vidro, vê-se que apenas o modelo de janela proposto pelo Galapagos para a fachada Oeste, como pode ser observado no Quadro 5, não possui vidro simples. Esse fato evidenciou que a metodologia de simulação em quatro etapas (1ª dimensões, quantidade e posicionamento das janelas;

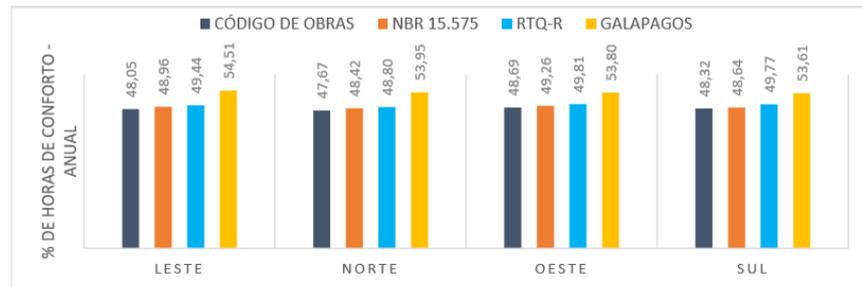
2º tipo de vidro; 3º características e presença de dispositivo sombreador e; 4º percentual de janela operável), possui limitações, uma vez que ao simular, inicialmente, a dimensão e o posicionamento da janela, o resultado foi uma esquadria otimizada para o próprio tipo de vidro. É possível que, se a simulação fosse inicialmente a combinação da quantidade de folhas de vidro e, depois, a dimensão da janela, o programa demonstrasse outro resultado.

Conforto Adaptativo

Os resultados dos genomas propostos pelo Galapagos para as 4 fachadas do ambiente, em comparação com os resultados de conforto adaptativo (percentual de horas confortáveis no ano) de acordo com a ASHRAE 55 foram comparados entre as janelas das legislações e demonstradas no Gráfico 1. Os resultados obtidos pelo Galapagos otimizaram o desempenho térmico proporcionado pelas janelas para todas as orientações. O melhor percentual de horas de conforto foi para a fachada Leste, que representou uma melhora nas horas de conforto de 13,44% em relação ao pior cenário (os percentuais mencionados pelo código de obras = 48,05%).

GRÁFICO 1 – Conforto Adaptativo anual segundo a ASHRAE 55.

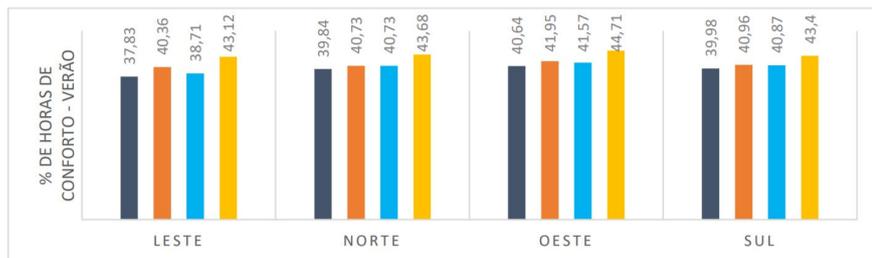
Fonte: Autores 2020.



Observou-se que o período com os piores resultados compreendeu a estação do verão, quando comparados com as outras estações do ano (Gráfico 2). O melhor percentual foi registrado na fachada Leste, com o Galapagos registrando um percentual de melhoria de quase 14% em horas de conforto ao se comparar os 37,83% de tempo confortável com a janela do Código de Obras.

GRÁFICO 2 – Conforto Adaptativo no verão segundo a ASHRAE 55.

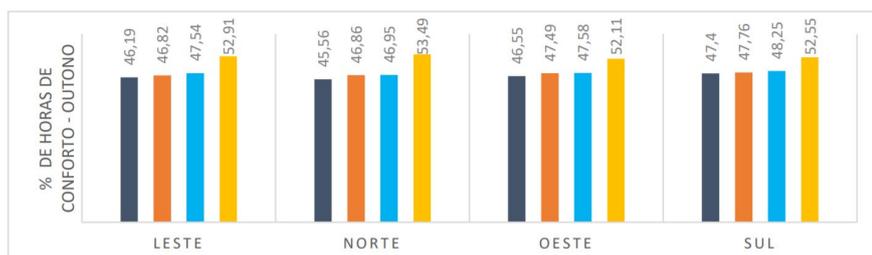
Fonte: Autores 2020.



O outono foi a estação de maior melhora proporcionalmente no conforto térmico dentre todas as estações. Ela ocorreu na fachada Norte, a qual tinha valor mínimo de 45,56% para o Código de Obras e o máximo de 53,49% no Galapagos (Gráfico 3), representando uma melhora proporcional de 17,4%.

GRÁFICO 3 – Conforto Adaptativo no outono segundo a ASHRAE 55.

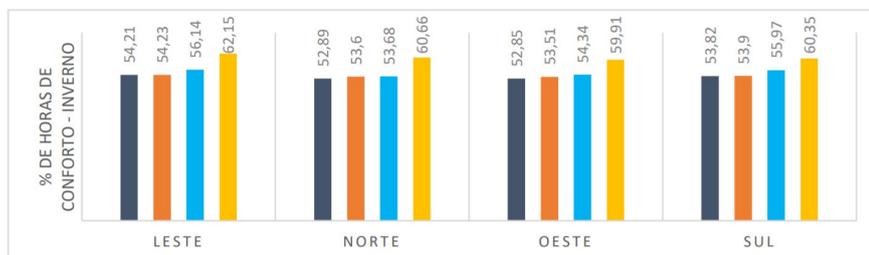
Fonte: Autores 2020.



No inverno os resultados de desempenho foram significativos para todas as orientações. Nessa estação, o Galapagos gerou uma solução que, na fachada Leste, chegou a 62,15% de tempo confortável e resultados próximos a 60% nas demais orientações, conforme Gráfico 4.

GRÁFICO 4 – Conforto Adaptativo no inverno segundo a ASHRAE 55.

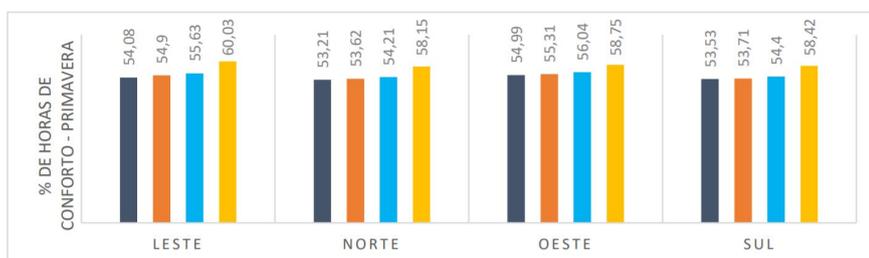
Fonte: Autores 2020.



Na primavera, obteve-se o segundo melhor desempenho, sendo seus resultados de porcentagem de horas de conforto iguais ou próximos a 60% (Gráfico 5).

GRÁFICO 5 – Conforto Adaptativo no primavera segundo a ASHRAE 55.

Fonte: Autores 2020.



Vê-se que, dentre as legislações e em todas as estações do ano, o Código de Edificações Municipais (1998) obteve as menores porcentagens de horas confortáveis. Isso se deu pelo fato de a legislação exigir que apenas metade da área da janela voltada para iluminação seja usada como ventilação. Dentre as três normativas, o melhor resultado foi alcançado pelo RTQ-R, por possuir área de janela com índices iguais aos do Código de Obras de Vitória, porém com percentual maior para ventilação.

Voto Médio Previsto (PMV)

Os resultados percentuais de horas confortáveis no ano pela análise do Voto Médio Previsto, segundo os conceitos da ASHRAE 55, também foram obtidos. Comparou-se as janelas definidas em cada legislação e a definida pelo Galapagos. Observa-se, no Gráfico 6, que as porcentagens de horas de conforto anuais foram menores que as porcentagens encontradas no modelo de conforto adaptativo (Gráfico 1). Tal fato evidencia que o PMV possui a tendência de superestimar o desconforto quando aplicado em simulações de ambientes sem condicionamento artificial, objeto de estudo desta pesquisa.

No Gráfico 6, observou-se que, dentre as normativas, os melhores resultados foram obtidos pelo RTQ-R, seguidos pela NBR 15.575 e pelo Código de Obras, da mesma forma que ocorreu no conforto adaptativo. O maior valor proporcionado foi para a fachada Sul, 21,75% no RTQ-R, enquanto o pior resultado foi na fachada Norte, 20,15% pelo Código de Obras.

Os resultados obtidos pela pilha Galapagos na análise PMV otimizaram as horas de conforto no cômodo em todas as orientações. A fachada Leste obteve o melhor percentual de horas de conforto, representando uma melhora de 16% em tempo confortável ao se comparar o percentual de tempo confortável gerado pelo Galapagos

de 24,08% com o Código de Obras, que foi o pior cenário nessa orientação, com 20,64% do tempo.

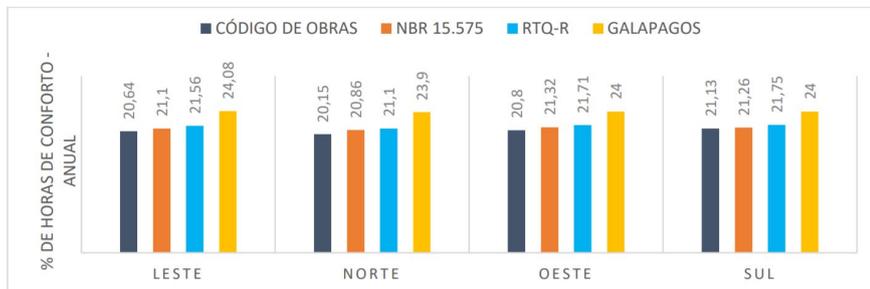


GRÁFICO 6 – PMV anual segundo a ASHRAE 55.

Fonte: Autores 2020.

Com os resultados do percentual de horas de conforto em cada estação pela análise PMV, notou-se que a estação do verão (Gráfico 7), quando comparado às demais estações do ano, apresentou os piores percentuais de tempo confortável. A maior otimização que o Galapagos proporcionou nessa estação foi na fachada Leste, na qual o pior cenário era o do Código de Obras com 18,21% de horas confortáveis e o Galapagos alcançou um percentual de 18,96%, representando um aumento de 4,11% de horas confortáveis. Pode-se notar, por meio da análise dos Gráficos 8, 9 e 10, que esse percentual de otimização é bem inferior ao das demais estações. Isso ocorreu porque o objetivo dos algoritmos era um aumento na porcentagem de horas de conforto anuais e, para isso, o sistema encontrou como solução mais efetiva a maximização do conforto nas demais estações do ano. Assim, obteve-se um resultado com mais horas de conforto térmico ao final dos 365 dias.

Caso fosse simulada uma janela específica para amenizar as condições de desconforto causadas na estação do verão – época de maior desconforto térmico –, acredita-se que o resultado seria diferente, possivelmente com mais horas de desconforto térmico para as outras estações.

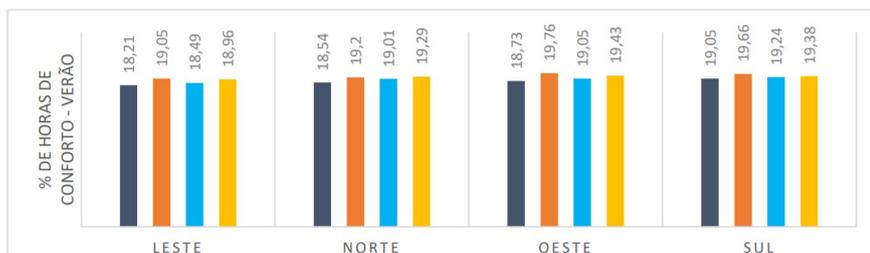


GRÁFICO 7 – PMV no verão segundo a ASHRAE 55

Fonte: Autores 2020.

Assim sendo, ao analisar os resultados para o outono (Gráfico 8), e para o inverno (Gráfico 9), observou-se aumento significativo de tempo de conforto. No inverno, o sistema otimizou até 25,36% na fachada Norte, e no outono a maior otimização foi de 21,67% e na mesma fachada.

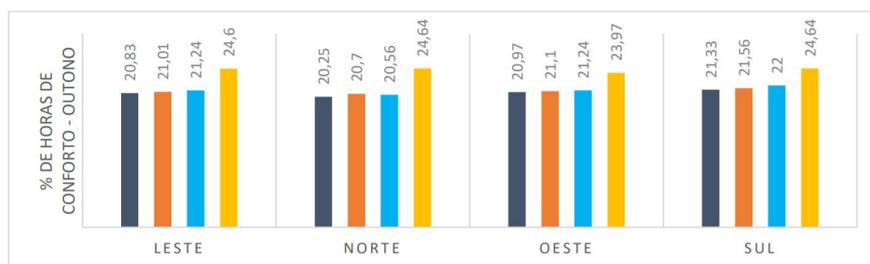
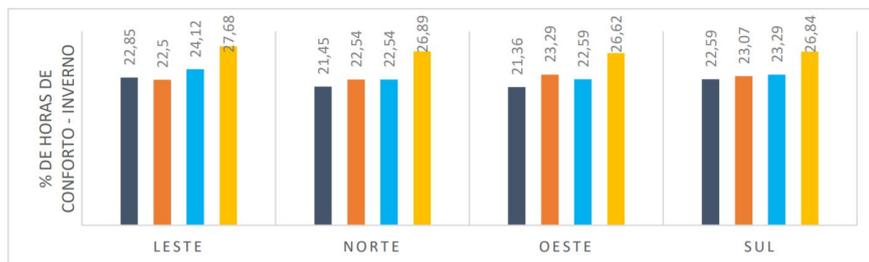


GRÁFICO 8 – PMV no outono segundo a ASHRAE 55

Fonte: Autores 2020.

GRÁFICO 9 – PMV no inverno
segundo a ASHRAE 55

Fonte: Autores 2020.



O maior aumento no percentual de conforto da primavera (Gráfico 10), foi na fachada Norte. O modelo gerado pelo Galapagos otimizou a porcentagem de horas confortáveis de 21,98% (na abertura determinada pelo Código de Obras) para 25,14%, representando um aumento de 14,38% de horas de conforto.

GRÁFICO 10 – PMV na primavera
segundo a ASHRAE 55

Fonte: Autores 2020.



Dessa forma, observou-se que o Galapagos melhorou o desempenho das esquadrias ao aumentar a área das janelas, mantendo-as com área de abertura de 100% e inserindo dispositivos sombreadores de acordo com a orientação da fachada. A otimização para o desempenho térmico das janelas em todas as situações demonstrou, portanto, a capacidade de melhoria de desempenho térmico das janelas por meio de algoritmos evolutivos.

Considerações Finais

A escolha de janelas termicamente eficientes reduz o desconforto térmico no interior dos ambientes, contribuindo para a redução do consumo energético por climatização artificial. Em decorrência desta ação, a escolha adequada desses elementos no projeto de arquitetura reduz a emissão de CO₂ ocasionada pelo uso dos aparelhos de climatização, constituindo, portanto, uma das ações necessárias para minimizar as mudanças climáticas.

As simulações feitas no sistema concebido pela metodologia proposta alcançaram os objetivos iniciais ao demonstrarem que a combinação de variáveis definidas, ou não, pelas legislações estudadas, propuseram modelos de janelas que podem ser termicamente mais eficientes do que os modelos sugeridos pelas legislações vigentes. Contudo, o modelo gerado pelo Galapagos teve algumas limitações.

Os algoritmos evolutivos, ao fazerem mutações e **crossovers** podem desconsiderar alguns resultados com potencial de otimizar ainda mais os valores de saída das simulações. Assim sendo, apesar de terem trazido melhorias no conforto térmico, não significa que tenham alcançado os melhores valores globais de desempenho.

Além disso, por se tratar de apenas um ambiente e, portanto, uma zona no **plugin Honeybee**, os resultados de otimização da janela foram obtidos em menos de 24h, um tempo viável para o dia a dia de um escritório de arquitetura. Contudo, no que tange

a projetos maiores, com mais zonas no *Honeybee*, a obtenção do resultado de como devem ser as janelas pode levar mais tempo, interrompendo o processo criativo dos arquitetos e inviabilizando o uso da ferramenta.

Uma das limitações é o fato de que a simulação foi feita especificamente para o ambiente de estudo do trabalho, com suas características climáticas, de ocupação e de comportamento dos usuários. Mudanças nesses itens vão gerar diferentes dados de saída, resultando em modelos diferentes de janela. Afirmado-se, portanto, que as tipologias obtidas nesse estudo são recomendadas para o contexto analisado, não sendo, necessariamente capazes de otimizar o desempenho de edificações submetidas a outros contextos.

Como sugestões para avanço e complementação da pesquisa, cita-se novas formas de se montar o sistema, permitindo a redução no tempo gasto para se simular edifícios com mais zonas e, portanto, viabilizando a sua aplicação. A aplicação do sistema em outras cidades do Brasil pode gerar um perfil de esquadrias e dispositivos sombreadores capazes de otimizar o desempenho da edificação, sendo particularmente útil como diretriz para as legislações vigentes.

Referências

ALVARES, C. A. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.

AMARAL, A. R. et al. **A thermal performance parametric study of window type, orientation, size and shadowing effect**. *Sustainable Cities and Society*, v. 26, p. 456–465, 1 out. 2016.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: [s.n.].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Proposta de revisão da NBR 15575. “Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE). 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro ABNT, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro, 2003b: [s.n.].

BETANCOURT, M. C.; ALVARADO, R. G.; VILLARREAL, L. M. Q. Optimización geométrica de vanos residenciales para el trópico con aplicación de algoritmos genéticos y diseño paramétrico. *Sistemas & Telemática*, v. 10, n. 22, p. 231–238, 2012.

BETANCOURT, M. C. V. **Diseño Generativo de Vanos para el Confort en Viviendas del Tropic**. [s.l.] Universidad del Bio-Bio, 2013.

BRASIL. Lei 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 18 de outubro. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10295-17-outubro-2001-408176publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 13 de mar. 2020.

BRASIL. **PROCEL info**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: 20 fev. 2020.

D'ELL SANTO, Amabelli; ALVAREZ, Cristina; NICO-RODRIGUES, Edna. **Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575**. CADERNOS DO PROARQ (UFRJ), v. 1, p. 114-136, 2013.

EL DALY, H. M. T. Automated fenestration allocation as complying with LEED rating system. **Alexandria Engineering Journal**, v. 53, n. 4, p. 883-890, 2014.

FISCHER, T.; HERR, C. **Teaching generative design**. Liverpool: University Of Liverpool, 2001.

GLOBAL ALLIANCE FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION. Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. **Global Status Report for Building and Construction 2019**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://globalabc.org/sites/default/files/2020-03/GSR2019.pdf>>.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. 2013. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/Port372-2010_RTQ_Def_Edificacoes-C_rev01.pdf>. Acesso em: 8 de mai. de 2020

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**, 2012. Disponível em: <<http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>. Acesso em: 8 de mai. de 2020

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Gráficos climatológicas (1931 - 1960 e 1961 - 1990)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>>. Acesso em: 8 mar. 2020

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7730 - **Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva: [s.n.].

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

LINDEN, R. **Algoritmos Genéticos Teoria e Implementação**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

MARTINO, J. **Algoritmos Evolutivos como Método para Desenvolvimento de Projetos de Arquitetura**. [s.l.] UNICAMP, Campinas, 2015.

MACHADO, J. D. M. **Avaliação de Desempenho Térmico em Edificações Multifamiliares Considerando as Mudanças Climáticas Futuras**. [s.l.] Universidade Federal do Espírito Santo, 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2019**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>>.

MISIOPECKI, C. et al. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position. **Energy and Buildings**, v. 158, p. 1079–1086, 2018.

NICO-RODRIGUES, E. A.; ALVAREZ, C. E. de; SANTO, A. D.; PIDERIT, M. B. Quando a janela define a condição de desempenho térmico em ambientes ventilados naturalmente: caso específico das edificações multifamiliares em Vitória, ES. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. 15, n. 2, p. 7-23, abr./jun. 2015.

NICO-RODRIGUES, E. A. **Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente**. [s.l.] Universidade del Bio-Bio, Chile, 2015.

OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, p. 99–120, 2008.

ROUDSARI, M. **Ladybug Primer**. Disponível em: <<https://mostapharoudsari.gitbooks.io/ladybug-primer/content/text/components/.html>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

SEDREZ, M. **Arquitetura e complexidade: a geometria fractal como o sistema generativo**. 2015. 284 p. Tese (Doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

VITÓRIA (MUNICÍPIO). **Código de Edificações do Município de Vitória - Lei N° 4821**. Vitória, 1998.

XU, J.; KIM, J.; HONG, H.; KOO, J.; A systematic approach for energy efficient building design factors optimization. **Energy and Buildings**, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814010731?via%3Dihub>>

RESPONSABILIDADE INDIVIDUAL E DIREITOS AUTORAIS

A responsabilidade da correção normativa e gramatical do texto é de inteira responsabilidade do autor. As opiniões pessoais emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade, tendo cabido aos pareceristas julgar o mérito das temáticas abordadas. Todos os artigos possuem imagens cujos direitos de publicidade e veiculação estão sob responsabilidade de gerência do autor, salvaguardado o direito de veiculação de imagens públicas com mais de 70 anos de divulgação, isentas de reivindicação de direitos de acordo com art. 44 da Lei do Direito Autoral/1998: “O prazo de proteção aos direitos patrimoniais sobre obras audiovisuais e fotográficas será de setenta anos, a contar de 1° de janeiro do ano subsequente ao de sua divulgação”.

O CADERNOS PROARQ (ISSN 2675-0392) é um periódico científico sem fins lucrativos que tem o objetivo de contribuir com a construção do conhecimento nas áreas de Arquitetura e Urbanismo e afins, constituindo-se uma fonte de pesquisa acadêmica. Por não serem vendidos e permanecerem disponíveis de forma *online* a todos os pesquisadores interessados, os artigos devem ser sempre referenciados adequadamente, de modo a não infringir com a Lei de Direitos Autorais.

Submetido em 06/07/2020

Aprovado em 28/05/2021