

# METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DE CONFORTO POR MEIO DE JANELAS PARAMETRIZADAS

## METHODOLOGY FOR ASSESSING COMFORT FROM PARAMETERIZED WINDOWS

**Victor Moura Bussolotti<sup>1</sup>, Edna Aparecida Nico Rodrigues<sup>2</sup>  
e Jarryer Andrade de Martino<sup>3</sup>**

### Resumo

O elevado consumo de energia dos edifícios contribui para as mudanças climáticas, gerando a necessidade de obtenção de conforto no interior das edificações por meio das janelas que, ao permitirem a entrada de iluminação natural e de ventilação nos ambientes, reduzem o consumo energético quando corretamente dimensionadas. No entanto, o uso de modelos inadequados de esquadrias tem diminuído a eficácia desse elemento arquitetônico. Como existem legislações que buscam orientar os projetistas quanto às dimensões mínimas necessárias para as esquadrias, objetiva-se avaliar comparativamente a quantidade de horas de conforto térmico proporcionadas pelas janelas requeridas na NBR 15.575 (2013), no RTQ-R (2012) e no Código de Obras, utilizando-se da modelagem paramétrica em *softwares* de análise ambiental. A metodologia consistiu na definição do local de estudo, na configuração e modelagem do sistema e na definição da metodologia de avaliação. Os resultados foram comparados segundo os modelos de conforto adaptativo e do PMV.

Palavras-chave: janela, conforto térmico, modelagem paramétrica.

### Abstract

*The high energy consumption of buildings contributes to climate change, generating the need to obtain comfort inside the buildings through windows that, by allowing the entry of natural lighting and ventilation into the rooms, reduce energy consumption when correctly dimensioned. However, the use of inappropriate models of windows has reduced the effectiveness of this architectural element. As there are laws that seek to guide designers as to the minimum dimensions required for windows, the goal is to comparatively evaluate the amount of hours of thermal comfort provided by the windows required in NBR 15.575 (2013), RTQ-R (2012) and the Code of Construction, using parametric modeling in environmental analysis software. The methodology consisted of defining the study site, configuring and modeling the system and defining the evaluation methodology. The results were compared according to the adaptive comfort and PMV models.*

*Keywords: window, thermal comfort, parametric modeling.*

<sup>1</sup> Doutorando em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Espírito Santo desde 2021. Mestre em Arquitetura e Urbanismo (2020), e graduação em Arquitetura e Urbanismo (2013) pela mesma universidade, com período sanduíche no Politécnico di Milano (2011-2012).

<sup>2</sup> Professora da Universidade Federal do Espírito Santo. Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidad del Bío-Bío, Chile (2015). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (2008), possui graduação em Arquitetura e Urbanismo (1991) pela mesma universidade.

<sup>3</sup> Professor da Universidade Federal do Espírito Santos. Doutor pelo Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Construção da UNICAMP (2015). Mestre pelo programa de Pós-Graduação em Desenho Industrial - linha de pesquisa Planejamento de Produto - UNESP (2007), especialista em Design de Multimídia pela Universidade AnhembiMorumbi (2000), graduado em Arquitetura e Urbanismo pelo Centro Universitário Moura Lacerda (1998).

### Introdução

Man e Jones (2003) identificaram a presença de anomalias no clima do planeta desde o final do século XX, com um elevado nível de calor, evidenciando a existência de um aquecimento global. A Organização das Nações Unidas (2019) aponta o ano de 2019 como um dos anos mais quentes registrados, onde cenários climáticos extremos estão atingindo populações ao redor de todo o mundo. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2020, ano base de 2019 (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020), as residências representam 10,3% do consumo total de energia no Brasil, tendo um aumento de 0,8% no consumo total em relação ao ano de 2018. As emissões de CO<sub>2</sub> associadas às atividades antrópicas, por sua vez, apresentam uma taxa média de crescimento anual de 2%.

Em contexto mundial, os edifícios são responsáveis por mais de um terço do consumo global de energia final e por quase 40% das emissões diretas e indiretas totais de CO<sub>2</sub>. A demanda de energia para os edifícios existentes e para a construção de novos edifícios continua a aumentar, impulsionada pela melhoria do acesso à energia nos países em desenvolvimento, pelo aumento no uso de dispositivos que consomem energia (tais como aquecedores e condicionadores de ar) e pelo rápido crescimento na construção civil (IEA, 2020).

Ainda segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2020), as emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas ao consumo de energia de edifícios aumentaram nos últimos anos e, dentre os fatores que contribuíram para esse aumento, estão a crescente demanda de energia para aquecimento e resfriamento, associada ao aumento do número de condicionadores de ar. A falta de investimentos em edifícios que utilizem estratégias sustentáveis para levar conforto térmico aos seus usuários evidencia o problema.

O elemento arquitetônico com maior potencial de redução do consumo associado ao resfriamento e ao aquecimento das construções é a janela (XU et al., 2015). Isso ocorre pois, além de permitir a ventilação natural que gera troca de ar, este elemento regula aspectos como iluminação, umidade, conforto visual, ruídos, dentre outros (BITTENCOURT; CÂNDIDO, 2006). A janela é, portanto, um elemento que se utiliza de estratégias passivas, gerando melhores condições de conforto ambiental. Observa-se, porém, pouca preocupação com relação ao projeto das janelas em decorrência da ineficiência das tipologias de esquadrias existentes no mercado, da ausência de conhecimento dos projetistas sobre o assunto e da carência de ferramentas capazes de auxiliar na escolha de modelos de janelas ideais, que estejam integradas ao processo projetual (NICO-RODRIGUES, 2015).

Nesse contexto, algumas legislações e normativas técnicas buscam fornecer os requisitos para que se obtenham edificações eficientes. No Brasil, destaca-se o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais Unifamiliares e Multifamiliares - RTQ-R - (INMETRO, 2012), de abrangência nacional e que especifica os requisitos para a classificação das edificações residenciais quanto à sua eficiência energética. Além do RTQ-R, a norma NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) "title": "NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.", "type": "article", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=13f1f022-3af5-400b-a6da-e2eabfda2f4b"}], "mendeley": {"formatte dCitation": "(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013 define as condições de habitabilidade para que os usuários alcancem o conforto térmico no interior das edificações ao determinar diretrizes construtivas específicas para cada Zona Bioclimática brasileira.

Em contextos locais, os municípios dispõem de seus Códigos de Edificações - ou Códigos de Obras - que orientam quanto às regras que devem ser obedecidas nas edificações durante suas fases de projeto, execução de obra, manutenção e utilização. Tanto o RTQ-R quanto a NBR 15.575 e os Códigos de Obras municipais passam por revisões, corrigindo as eventuais falhas e atualizando seus dados para se adequar aos avanços da construção civil. As legislações mencionadas apresentam dimensões mínimas exigidas das aberturas e a relação de área para ventilação e para iluminação necessária. Tais dimensões constituem-se em parâmetros das janelas, que podem ser modeladas para a realização de simulações de desempenho térmico e energético.

Em um projeto, o uso de parâmetros incrementa o número de possíveis variações de seu formato, de modo que a definição de formas baseadas em relações e parâmetros espaciais gera um sistema em que, ao se alterar o valor de cada parâmetro, é possível explorar as variações da forma (CELANI, 2003). Segundo Woodbury (2010), a modelagem paramétrica, propõe uma mudança de metodologia de projeto, em que há uma relação coordenada entre as partes. A modelagem paramétrica possibilita estabelecer as relações pelas quais se conectam as peças do projeto e o desenvolve a partir delas, editando as informações. Além disso, a modelagem de um elemento, ou sistema, com diferentes parâmetros permite a realização de avaliações comparativas entre os seus diversos aspectos formais.

Na modelagem paramétrica, o projetista estabelece as relações pelas quais as peças do projeto se conectam e o constrói a partir dessas relações, podendo editá-las, observando e selecionando os resultados produzidos. Isso aumenta a capacidade de explorar ideias e reduz o retrabalho (WOODBURY, 2010).

Pode-se, dessa forma, pautar o projeto a partir do desempenho das janelas em sistemas que avaliem aspectos climáticos como iluminação, ventilação e climatização; aspectos humanos, como interação com a janela, horários de abertura e fechamento da esquadria e padrões de ocupação do ambiente; e os próprios aspectos físicos da janela.

Assim, para se avaliar o conforto ambiental no interior dos ambientes, globalmente, algumas normativas podem ser aplicadas. Três padrões internacionais são os mais utilizados segundo Betancourt (2013), Machado (2019) e Nico-Rodrigues (2015): a ISO 7730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2005), cuja aplicação é internacional; a ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013), padrão feito para o clima norte americano, mas que é utilizado por pesquisadores brasileiros, podendo ser aplicado em simulações para o clima local; e a EN 15251 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2007) feita para o clima europeu, não se aplicando ao contexto brasileiro.

Portanto, objetiva-se avaliar comparativamente a quantidade de horas de conforto térmico proporcionadas pelas janelas requeridas pelos índices e diretrizes estabelecidos na NBR 15.575 (2013), no RTQ-R (2012) e no Código de Obras Municipal, utilizando-se da modelagem paramétrica em *softwares* de análise ambiental.

## Metodologia

A metodologia empregada no experimento consistiu na definição e caracterização do objeto de estudo e de seu local de aplicação, seguida pela configuração e modelagem

do sistema para a parametrização das esquadrias e pela definição da metodologia de avaliação dos resultados.

### Definição e caracterização do objeto e seu local de aplicação

Na primeira etapa, foi realizada a caracterização do objeto de estudo, tratando dos aspectos físicos da janela e do edifício em que ela se insere, além de caracterizar o usuário, definindo suas atividades e padrões de ocupação. Foram definidos, também, os dados climáticos.

As simulações foram realizadas para a cidade de Vitória, ES, cujo clima é caracterizado como tropical de monções, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger (ALVARES et al., 2013) e localizado na Zona Bioclimática 8 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a).

As variáveis parametrizadas das janelas para a construção do modelo foram as suas dimensões de largura, altura e peitoril; o seu sistema de abertura, definido pela relação entre a área operável da janela e o percentual de abertura permitido; e as características do usuário, com sua rotina, horários de ocupação e horário de abertura e fechamento da janela.

O desempenho das janelas foi avaliado considerando um edifício residencial multifamiliar cujas características se assemelham às das edificações comuns no território brasileiro. Com isso, selecionou-se um modelo baseado no padrão estabelecido pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética - Edificações Residenciais - RTQ-R (INMETRO, 2012). Outros estudos já realizaram simulações com esse modelo, como Sorgato, M. J.; Marinoski; Melo; Lamberts (2012); Nico-Rodrigues (2015) e Machado (2019).

O modelo de edifício selecionado é composto por um térreo em pilotis e por cinco pavimentos tipo, com cobertura em telhado embutido com platibanda. Cada pavimento tipo possui quatro apartamentos, com dois dormitórios, sala de estar, cozinha, área de serviço e banheiro, totalizando cerca de 70m<sup>2</sup> cada um. Os apartamentos possuem fachadas voltadas para duas orientações, conforme pode ser observado no modelo 3D e na planta apresentados na Figura 1.

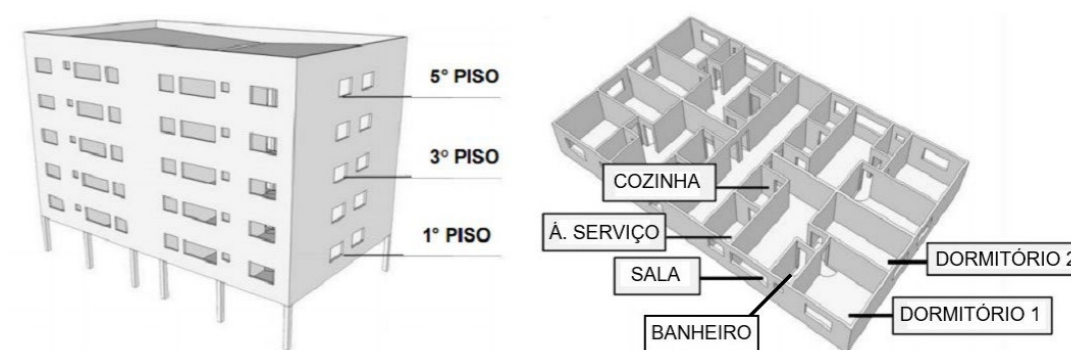


Figura 1: a) Modelo 3D do edifício utilizado. b) Planta baixa do edifício utilizado. Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues 2015.

Selecionou-se o Dormitório 2 (Figura 2, em destaque azul) para a realização das simulações, acompanhando experimento realizado por Nico-Rodrigues (2015). Tal escolha justifica-se por ser um ambiente de longa permanência com apenas uma parede exposta à radiação solar, o que constitui uma tentativa de se reduzir as interferências no desempenho térmico do local, quando o objeto de estudo é a janela. Isso ocorre, pois, paredes e coberturas com menor interferência na temperatura



Figura 2: Dormitório 2 selecionado. Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, 2015.



Foram feitas simulações para o 1º, 3º e 5º pavimentos, considerando as quatro orientações principais (Norte, Sul, Leste e Oeste). Escolher diferentes pavimentos justifica-se pelas diferentes condições de vento, insolação e cargas térmicas provenientes do restante da construção. O primeiro andar tem perdas pela proximidade com o solo, o terceiro recebe as cargas dos pavimentos acima e abaixo e o quinto andar recebe o calor da cobertura.

Para a construção do modelo digital, foram definidos os materiais das paredes, lajes, cobertura e vidro comumente utilizados na construção civil local. Com isso, foi realizado o cálculo das transmitâncias térmicas dos materiais, segundo método da Norma de Desempenho das Edificações (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003b).

Foi especificado laje de concreto com contrapiso e piso cerâmico, além de forro de gesso nos apartamentos; paredes de tijolos cerâmicos vazados de 9cm de espessura, com reboco e pintura dos dois lados; cobertura de telha de fibrocimento com estrutura de madeira para suporte; e vidro das janelas com 6mm de espessura, incolor, que é o modelo mais utilizado no mercado da construção civil capixaba, segundo informação dos próprios fabricantes. Com isso, o Quadro 1 apresenta os resultados obtidos após os cálculos das transmitâncias térmicas de cada um dos materiais empregados no modelo do edifício.

Material	Transmitância Térmica (W/m².K)
Laje	1,34
Parede	2,54
Cobertura	2,56
Vidro	5,69

Na definição dos padrões de utilização das janelas e ocupação dos cômodos, utilizou-se como base o experimento realizado por Nico-Rodrigues (2015). Os parâmetros adotados encontram-se expressos no Quadro 2.

Quadro 1: Transmitância térmica dos revestimentos. Fonte: dos autores, 2020.

Parâmetros de ocupação	Horários
Usuário	08hs – 13hs = 0% ocupado 13hs – 22hs = 50% ocupado 22hs – 08hs = 100% ocupado
Parâmetros humanos	Valores
Vestimenta	Roupas leves = 0,30 clo
Metabolismo para pessoa sentada, lendo	115 W/pessoa
Quantidade de ocupantes	2 pessoas
Ganhos térmicos de equipamentos	Cargas
Iluminação artificial	5 W/m²
Computador	3,90 W/m²
Abertura das janelas	Horário
Janela aberta	08hs – 21hs
Janela fechada	21hs – 08hs

Quadro 2: Parâmetros de ocupação, parâmetros humanos, ganhos térmicos de equipamentos e abertura das janelas. Fonte: Adaptado de Nico-Rodrigues, (2015).

#### Configuração e modelagem do sistema

Nesta etapa, definiu-se o *software* computacional Rhino 6 for Windows (ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES, 2019), utilizado para a parametrização das janelas e modelagem do edifício que conta com o *plug-in* Grasshopper, considerado uma linguagem de programação, com o objetivo de gerar modelos paramétricos. Foram usados também os *plug-ins* de análise ambiental Ladybug e Honeybee.

O primeiro permite importar e analisar dados climáticos e realizar análises de conforto. O segundo conecta o Grasshopper com mecanismos de simulação, tais como o EnergyPlus, Radiance e OpenStudio, gerando resultados de consumo energético, conforto térmico e iluminação. Tais *plug-ins* apresentam seus mecanismos de simulação configurados segundo as diretrizes da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) que, portanto, é o padrão utilizado nas simulações. O edifício foi modelado utilizando os algoritmos do Grasshopper de modo que as janelas apresentem parâmetros variáveis (Figura 3).

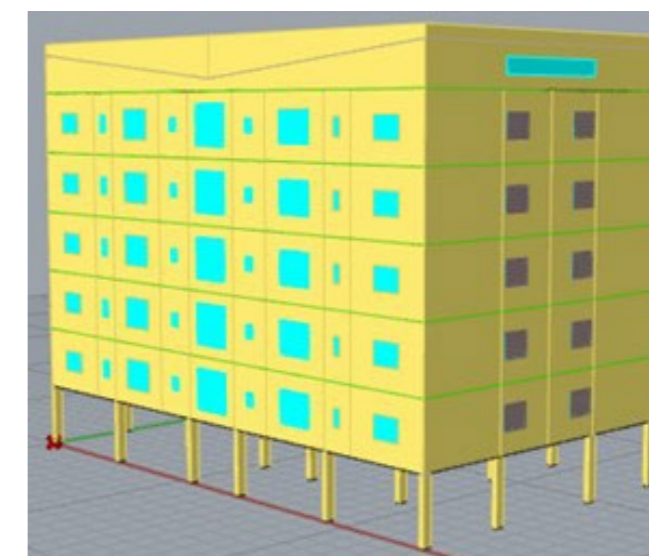
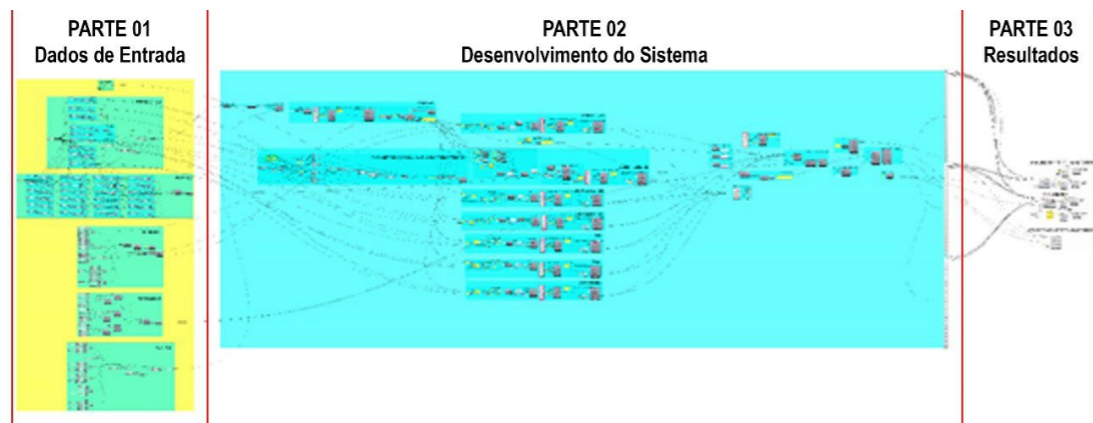


Figura 3: Modelagem do edifício. Fonte: dos autores, 2020.

Figura 4: Sistema do edifício. Fonte: dos autores, 2020.



Os dados de entrada do sistema identificam a orientação do edifício e contém a modelagem de todos os ambientes do apartamento, multiplicados nos 5 pavimentos tipo, mais o pilotis e a cobertura. Durante o desenvolvimento do sistema, cada ambiente foi transformado em uma zona do Honeybee, para que houvesse a simulação das cargas térmicas, com aplicação das características do usuário e os dados climáticos. Todas as informações foram conectadas na pilha de simulação do OpenStudio. Já a parte dos resultados contém as pilhas responsáveis por exportar para o computador os dados obtidos para realizar sua análise e comparação.

O modelo foi configurado a partir de decisões adotadas para a caracterização do objeto, ou seja, janelas mais eficientes em função do tipo de abertura e dimensão. Para isso, as normativas utilizadas como base para dimensionamento das esquadrias foram: o Código de Obras da cidade de Vitória (VITÓRIA, 1998), o RTQ-R (INMETRO, 2012) e a NBR 15.575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) "title": "NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.", "type": "article", "uris": [{"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=13f1f022-3af5-400b-a6da-e2eabfda2f4b"}, {"http://www.mendeley.com/documents/?uuid=9e40158e-13ff-41e3-838f-f3bb5882f79c"}], "mendeley": {"formattedCitation": "(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013. As relações de percentuais de áreas mínimas para iluminação e para ventilação do ambiente de acordo com os parâmetros definidos na legislação estão demonstrados no Quadro 3.

Legislação	Percentual Mínimo de Iluminação	Área mínima de Iluminação	Percentual Mínimo de Ventilação	Área mínima de Ventilação
Cód. Obras	1/8 área do piso	1,78m <sup>2</sup>	1/16 área do piso	0,89m <sup>2</sup>
RTQ-R	12,5% área do piso	1,78m <sup>2</sup>	10% área do piso	1,43m <sup>2</sup>
NBR 15.575	8% área do piso	1,14m <sup>2</sup>	8% área do piso	1,14m <sup>2</sup>

Quadro 3: Dimensões mínimas de abertura do ambiente, segundo as legislações estaduais. Fonte: dos autores, 2020.

Após os procedimentos anteriores, as janelas foram dimensionadas a partir das medidas internas do ambiente, tendo seus valores sido arredondados para números múltiplos de 5cm, para simplificar o modelo e o tempo de processamento das simulações, demonstrados no Quadro 4. Foi configurado no sistema o percentual de área operável da janela, que significa a área destinada para ventilação.

	Largura (m)	Altura (m)	Peitoril (m)	%de área para ventilação
Cód. Obras	1.8	1	1.1	50
NBR	1.15	1	1.1	100
RTQ-R	1.8	1	1.1	80

Quadro 4: Características das janelas das legislações. Fonte: dos autores, 2020.

Na Figura 5, tem-se a representação em 3D do código gerado para o modelo do edifício com as janelas mínimas requeridas em cada normativa.

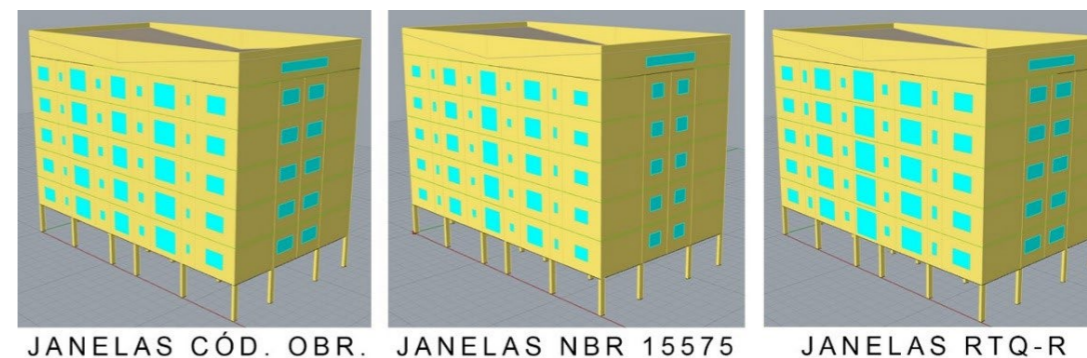


Figura 5: Janelas configuradas a partir das normativas para o edifício. Fonte: dos autores, 2020.

### Metodologia de avaliação

A sensação térmica de um indivíduo é influenciada pela atividade física, vestuário e pelos parâmetros ambientais, e pode ser calculada pelo modelo de Voto Médio Previsto (PMV). No entanto, observou-se que o modelo PMV tende a superestimar os índices de desconforto quando aplicado em simulações de edifícios naturalmente ventilados, razão pela qual foi desenvolvido o modelo do Conforto Adaptativo, onde admite-se que os indivíduos tendem a adaptar-se às temperaturas médias mensais do ambiente (ROUDSARI, 2019).

Para a avaliação dos resultados foram definidos que os dados de saída seriam analisados tanto segundo o Conforto Adaptativo quanto segundo o Voto Médio Previsto (PMV), que são os dois modelos de análise ambiental existentes no padrão da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013). Para análises de Conforto Adaptativo, foi utilizada a pilha que é alimentada com as temperaturas de bulbo seco da zona analisada, com as temperaturas radiantes médias das superfícies do modelo e com a temperatura externa, obtida pelos arquivos climáticos em formato EPW, disponíveis no site do programa EnergyPlus. São gerados dados de saída com valores que vão de 0 a 1, indicando condições de confortável ou não.

No caso do Voto Médio Previsto, a pilha determina a porcentagem de pessoas insatisfeitas, a temperatura padrão efetiva para um conjunto de condições climáticas; o comportamento e o vestuário do ocupante. Os dados de entrada foram: a temperatura de bulbo seco da zona analisada; a temperatura radiante média das superfícies do edifício; a umidade relativa obtida pelos arquivos climáticos em formato EPW, disponíveis pelo site do programa EnergyPlus; o nível em clo (resistência térmica da vestimenta) dos usuários; e a taxa metabólica da atividade realizada.



Optou-se por extrair de ambas as pilhas os percentuais de tempo em que os usuários se sentem confortáveis no ambiente durante o intervalo de um ano e, também, para cada estação isoladamente (Primavera, Verão, Outono e Inverno).

## Resultados

Os resultados foram organizados em duas partes: análise do modelo de Conforto Adaptativo; e do modelo de Voto Médio Previsto. Ambos foram representados por meio de gráficos. Foram realizadas análises comparativas entre os resultados obtidos.

### Conforto Adaptativo

Os resultados de percentual de tempo de conforto, segundo o referencial normativo da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) para Conforto Adaptativo, obtidos no interior dos ambientes, a partir das janelas propostas pelas normativas e legislações estudadas, foram comparados entre os diferentes pavimentos e fachadas e para o período anual e por estação.

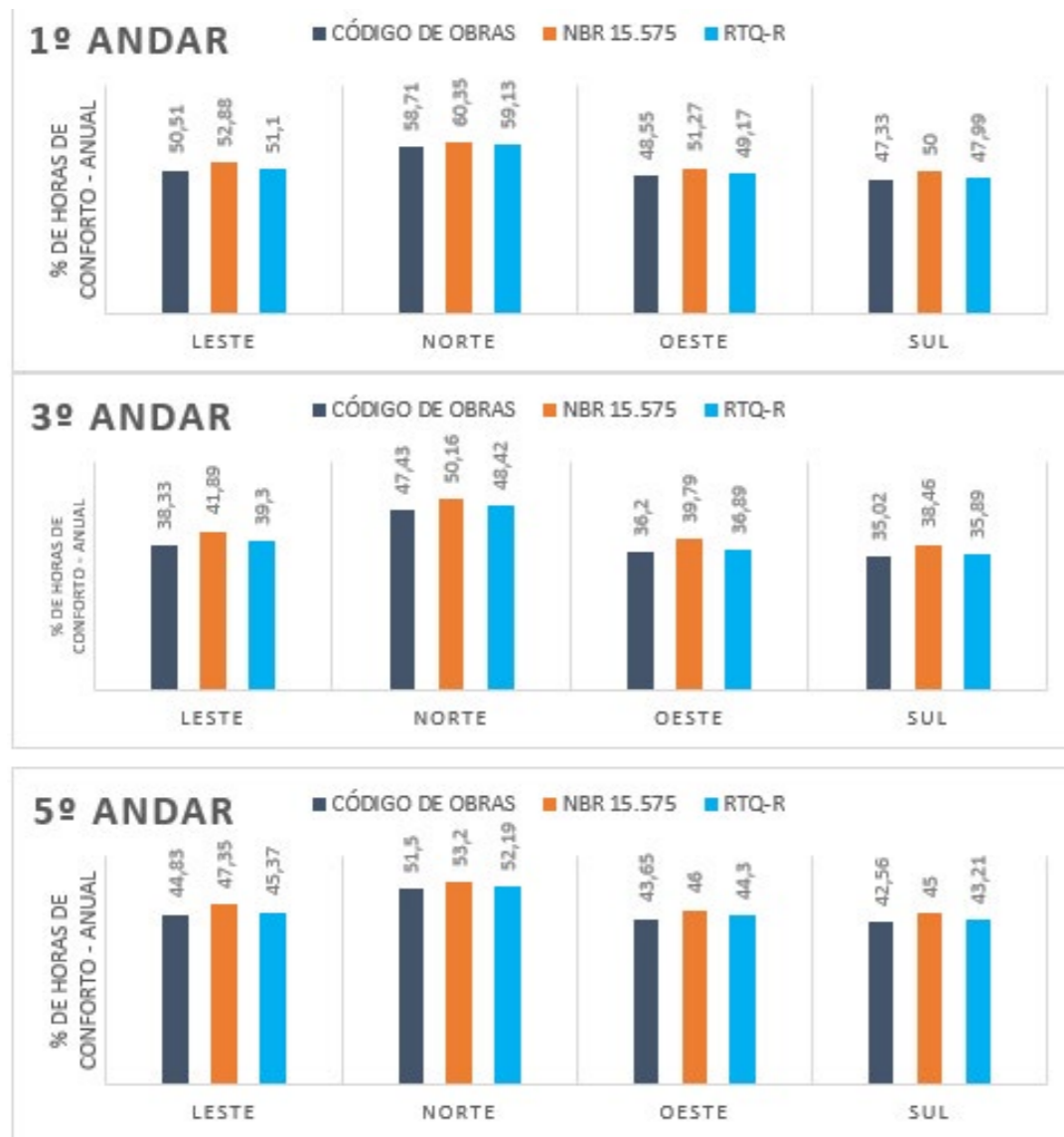


Figura 6: Conforto adaptativo anual no edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.

Os dados obtidos apontaram o primeiro andar como o mais confortável termicamente. Isso pode ocorrer devido ao uso de pilotis que possibilita ventilação contínua na base do pavimento. Observa-se que o pior desempenho foi obtido no terceiro andar, que recebe as cargas térmicas provenientes dos pavimentos de cima e de baixo (Figura 6).

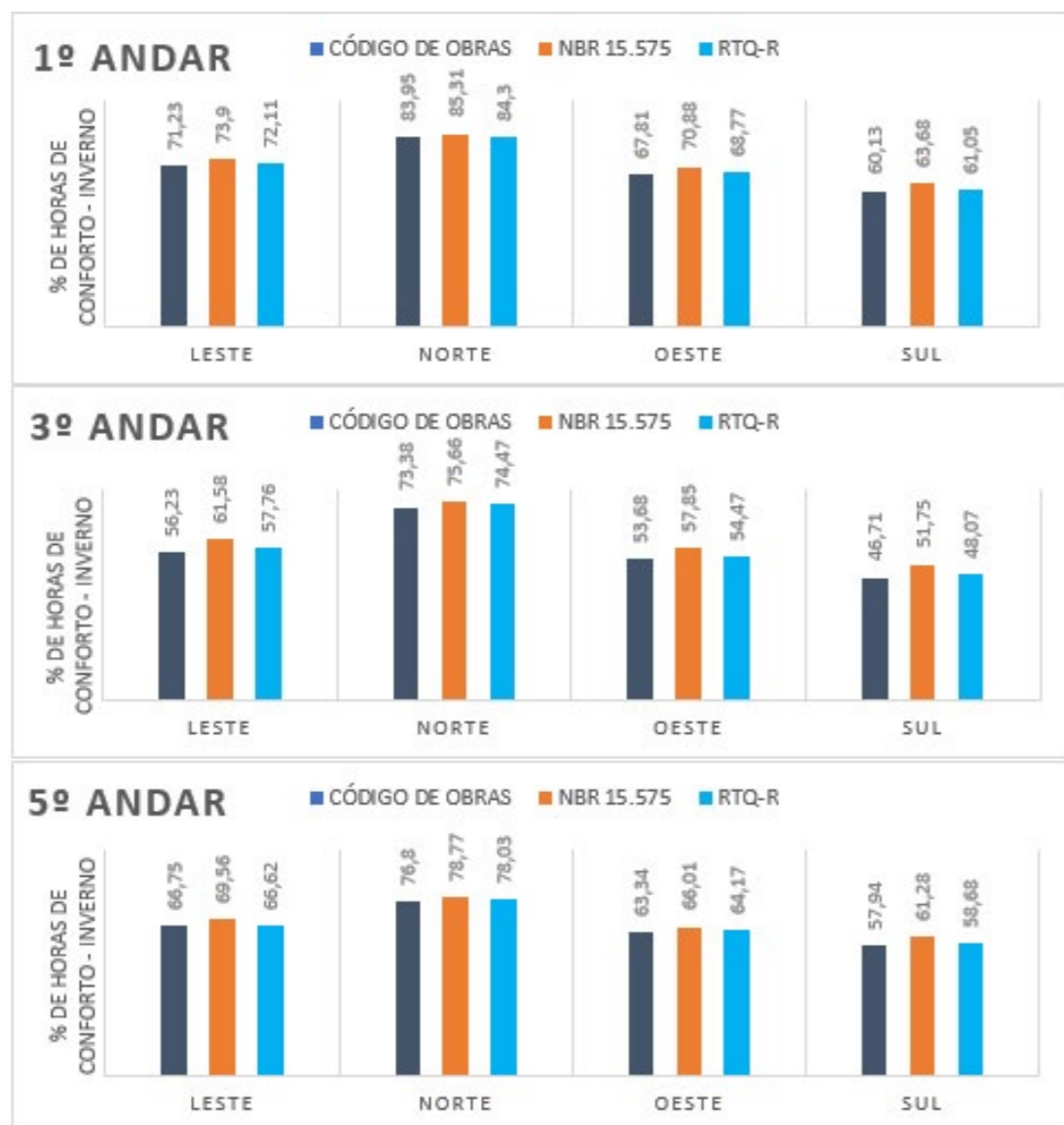
Dentre as legislações, a NBR 15.575 demonstrou os melhores resultados, por apresentar 100% da janela operável e, portanto, maior área de ventilação, mostrando-se mais eficiente. O Código de Obras, que orienta o uso de janelas com metade de suas áreas destinadas a ventilação, teve os resultados mais insatisfatórios.

Dentre as fachadas, as janelas voltadas para a orientação Norte tiveram os melhores desempenhos, com 60,35% de conforto térmico no primeiro andar com a janela dimensionada segundo a NBR 15.575, o melhor cenário da análise anual. A fachada Sul teve os piores resultados, com 35,02% no terceiro andar segundo o Código de Obras.

Para a análise das estações, apresentam-se os gráficos para as situações de melhor e pior resultados obtidos. Nesta situação, o verão teve maiores índices de desconforto térmico, sendo o terceiro andar o pior caso, onde as fachadas Leste e Oeste, dimensionadas segundo o Código de Obras, demonstraram 10,72% de horas de conforto aos usuários (Figura 7).



Figura 7: Conforto adaptativo no verão no edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.



Os resultados evidenciam uma carência nas legislações ao proporem um único dimensionamento para todas as fachadas, desconsiderando as suas próprias características de ventilação e de iluminação.

#### Voto Médio Previsto (PMV)

Na Figura 9 estão representados os resultados de conforto térmico anual que as janelas do Código de Obras, da NBR 15.575 e do RTQ-R proporcionaram para o primeiro, terceiro e quinto pavimentos do edifício de estudo segundo as métricas da ASHRAE 55 (AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS, 2013) para o Voto Médio Previsto.



Figura 9: Voto médio previsto anual para o edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.

Nota-se que o primeiro andar obteve os melhores resultados, a NBR 15.575 proporcionou os índices de conforto mais satisfatórios e a fachada Norte teve o melhor desempenho, tal como foi observado nos resultados do modelo de conforto adaptativo. Com essa combinação, obteve-se o melhor índice anual, que foi de 26,63%. A fachada Sul apresentou os piores resultados, tendo os 20,57% de conforto térmico pela janela do Código de Obras para o quinto andar.

Analisando por estação, no verão, tem-se o pior resultado dentre todas as simulações realizadas. Isso ocorre na janela do Código de Obras para o terceiro andar da fachada Oeste, com apenas 2,53% de horas de conforto térmico (Figura 10).

Os resultados de inverno demonstram que o primeiro andar na fachada Norte, segundo a janela do Código de Obras, obteve 37,63% de horas de conforto, o maior valor dentre todas as simulações realizadas no modelo de Voto Médio Previsto, como pode ser observado na Figura 11.

Na comparação entre os valores obtidos no modelo de Conforto Adaptativo e no modelo de Voto Médio Previsto, está demonstrado que o Voto Médio Previsto tende a subestimar os valores de conforto na situação simulada de um edifício naturalmente ventilado.



### Conclusão

Os resultados obtidos demonstraram que as janelas adequadamente dimensionadas são aliadas no combate às mudanças climáticas ao reduzirem a sensação de desconforto térmico no interior dos ambientes, levando a uma consequente economia no consumo energético, o que contribui para a eficiência das edificações. Comprovou-se a afirmação de que o modelo de Voto Médio Previsto não se adequa às simulações em edifícios naturalmente ventilados, dado que os valores de conforto obtidos são subestimados. O modelo do conforto adaptativo provou ser mais adequado para a realização de simulações neste contexto.

Os objetivos propostos foram alcançados ao se identificar as carências existentes nas dimensões propostas pelas normativas e comprovar a importância do correto dimensionamento das janelas. Ficou demonstrado a importância de se pensar isoladamente cada fachada, dado que os resultados de conforto para cada orientação solar são diferentes, caracterizando uma carência nas legislações. Para o clima estudado, pode-se afirmar que uma maior área de ventilação nas janelas é fundamental para se obter melhores desempenhos térmicos no interior dos ambientes, dado que os resultados mais positivos foram de normativas que preveem área de ventilação igual à área de iluminação das janelas.



Figura 11: Voto médio previsto no inverno para o edifício segundo a ASHRAE 55. Fonte: dos autores, 2020.

O uso dessa metodologia para análise de desempenho de edifícios é recomendado em fases iniciais de projeto, quando tem-se uma preocupação com a síntese formal do volume edificado. Além disso, a simulação de desempenho das janelas na fase de concepção do projeto constitui-se em uma mudança nas metodologias de projeto atualmente adotadas pelos projetistas, pois as escolhas feitas pelos arquitetos passam a ser pautadas no desempenho previamente simulado da janela.

Conclui-se, portanto, que a metodologia para avaliação de conforto por meio de janelas parametrizadas desenvolvida mostrou-se eficiente e passível de ser aplicada em novos experimentos.

Salienta-se que a simulação foi realizada especificamente para o objeto de estudo em questão e para o clima local. Outras combinações levarão a resultados diferentes, não sendo, portanto, as tipologias encontradas nesse trabalho necessariamente ideais para uso em outras regiões. A aplicação das simulações em diferentes localidades do território pode, inclusive, contribuir para se montar um perfil das esquadrias recomendadas para as diferentes regiões do território brasileiro.

Com isso, o método paramétrico, definido por um algoritmo, pode ser utilizado como um mecanismo gerador, sendo possível alimentá-lo com outros dados de entrada (variando de acordo com os dados específicos de cada localidade) para obter os



resultados apropriados para cada região.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. *ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, p.54. 2013.

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, p.23. 2003a.

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, p.21. 2003b.

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, p.63. 2013.

BETANCOURT, Maria Clara Velasco. *Diseño Generativo de Vanos para el Confort en Viviendas del Tropicó*. 2013. 302f. Tese (Doutorado em Architectura y Urbanismo) - Departamento de Architectura y Urbanismo, Universidad del Bio-Bio. Concepción.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. *Introdução à Ventilação Natural*. Maceió: Edufal, p.163. 2006.

CELANI, Maria Gabriela Caffarena. *Cad criativo*. Rio de Janeiro: Campus, p.180. 2003.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. *EN 15.251: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. Bruxelas, p.52. 2007.

IEA (INTERNACIONAL ENERGY AGENCY). *Buildings A source of enormous untapped efficiency potential*, 2020. Online. Disponível em: <<https://www.iea.org/topics/buildings>>. Acesso em: 30 ago. 2020.

INMETRO. *Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais*, 2012. Online. Disponível em: <<http://www.pbenedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>>. Acesso em: 01 ago. 2019.

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, p.52. 2005.

MACHADO, Jéssica de Mello. *Avaliação de desempenho térmico em edificações multifamiliares considerando as mudanças climáticas futuras*. 2019. 175f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Espírito Santo.

MANN, Michael Evan; JONES, Philip Douglas. Global Surface Temperatures over the past two millennia. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 15, p. 1–4, 2003.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Balanço Energético Nacional 2020 Relatório Síntese / Ano Base 2019*. Rio de Janeiro, p.73. 2020. Online. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório\\_Síntese\\_BEN\\_2020-ab\\_2019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relatório_Síntese_BEN_2020-ab_2019_Final.pdf)>.

NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. *Influência da janela no desempenho térmico de ambientes ventilados naturalmente*. 2015. 202f. Tese (Doutorado em Architectura y Urbanismo) - Departamento de Architectura y Urbanismo, Universidad del Bio-Bio. Concepción.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Report of the secretary-general on the 2019 climate action summit and the way forward in 2020*. 2019. Online. Disponível em: <[https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/cas\\_report\\_11\\_dec.pdf](https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/cas_report_11_dec.pdf)>.

ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. *Rhinoceros*. Versão 6. Barcelona, 2019.

ROUDSARI, Mostapha. *Ladybug Primer*. 2019. Online. Disponível em: <<https://mostapharoudsari.gitbooks.io/ladybug-primer/content/>>. Acesso em: 18 jan. 2020.

SORGATO, Marcio José; MARINOSKI, Deivis Luis; MELO, Ana Paula; LAMBERTS, Roberto. *Nota técnica referente à avaliação para a norma de desempenho NBR 15575 em consulta pública*. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, p.23. 2012.

VITÓRIA (MUNICÍPIO). *Código de Edificações do Município de Vitória - LEI Nº 4821*. Vitória, p.82. 1998.

WOODBURY, Robert Francis. *Elements of Parametric Design*. New York, p.312. 2010.

XU, Jun; KIM, Jin-Ho; HONG, Hiki; KOO, Junemo. A systematic approach for energy efficient building design factors optimization. *Energy and Buildings*, v. 89, p. 87–96, 2015.