XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Avaliação de *brise-soleil* responsivo para sombreamento de câmara climática

Evaluation of a responsive *brise-soleil* as a shading device of a climate chamber

André Matias
Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | andreluis.matias21@gmail.com
Ricardo Almeida
Instituto Politécnico de Viseu | Viseu | Portugal | ralmeida@estgv.ipv.pt
Gabriel de Bem
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | gabrieldebem@gmail.com
Eduardo Krüger
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Tecnológica Federal do Paraná | Curitiba | Brasil | ekruger@utfpr.edu.br

Neste trabalho realizou-se a avaliação por simulação computacional das condições de conforto térmico no interior de uma câmara climática localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba, proporcionadas por diferentes estratégias de sombreamento, incluindo o conceito responsivo, em três diferentes regiões do território brasileiro. Os resultados permitiram concluir que, para as condições analisadas neste estudo de caso (sem sistema de proteção solar, brise soleil fixo, brise-soleil sazonal e brise-soleil responsivo), a estratégia de sombreamento responsivo se mostrou a mais eficiente e proporcionou um maior aumento do conforto em relação às demais.

Palavras-chave: Fachadas adaptativas. Conforto térmico. Sombreamento responsivo. Câmara climática.

Abstract

In this work, an evaluation was carried out by computer simulation of the thermal comfort conditions inside a climate chamber located at the Federal University of Technology, in Curitiba, employing different shading strategies, including the responsive concept, in three different regions of the Brazilian territory. The results allowed us to conclude that, for the

Como citar:
MATIAS, A., ALMEIDA, R., DE BEM, G., KRÜGER, E. Avaliação de brise-soleil responsivo para sombreamento de câmara climática. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

conditions analyzed in this case study (without shading system, fixed brise-soleil, seasonal brise-soleil and responsive brise-soleil), the responsive shading strategy proved to be the most efficient and provided increased thermal comfort conditions compared to others.

Keywords: Adaptive façades. Thermal comfort. Responsive shading. Climate chamber.

INTRODUÇÃO

A fachada é o principal parâmetro que influencia no desempenho energético dos edifícios [1], assumindo uma maior ou menor preponderância dependendo do tipo de edificação e em quais locais e climas estas estão inseridas. Por isso, seus elementos precisam ser projetados para fornecer aos edifícios a flexibilidade e equilíbrio necessários em termos de energia e conforto. Pensando nisso, para que se atinjam os níveis desejados de eficiência e funcionalidade, a fachada precisa mudar ou se adaptar. Portanto, a adoção de fachadas adaptativas tende a proporcionar oportunidades para reduções significativas no consumo de energia para climatização e, consequentemente, reduzindo as emissões de dióxido de carbono, o que garante uma maior eficiência energética da edificação e aumento no grau de conforto dos ocupantes. Essa abordagem contempla o uso de componentes responsivos, os quais podem ser definidos como “todos aqueles elementos da construção que se adaptam às necessidades dos usuários assim como às mudanças do meio ambiente” [2].

Nesse contexto, os sistemas de fachadas adaptativas são uma tecnologia inovadora que tem a capacidade de ajustar o seu desempenho em resposta a diferentes estímulos, tornando-os uma alternativa de elevado potencial na procura de soluções construtivas que compatibilizem a redução do consumo de energia nos edifícios com a melhoria do seu conforto interior.

Num contexto de climas quentes, como no Brasil, os elementos envidraçados assumem especial relevância. Os ganhos térmicos solares, se não forem devidamente controlados por elementos de sombreamento, como o *brise-soleil*, podem conduzir a situações de desconforto térmico por sobreaquecimento. Adicionalmente, as tendências da arquitetura atual, notadamente com projetos com grandes superfícies translúcidas, justificam ainda mais estas preocupações.

Neste trabalho, começou-se por avaliar as condições de conforto térmico no interior de uma câmara climática, denominada “CBBC”, e localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba. Posteriormente testou-se a eficácia de diferentes cenários de sombreamento em três localidades de condições climáticas distintas no território brasileiro, com o objetivo de melhorar o conforto térmico desse edifício. Para tal, foi utilizado um programa de simulação térmica, o DesignBuilder aliado ao uso do EnergyPlus.

OBJETIVO

O objetivo do artigo é avaliar o impacto da aplicação de um sistema de fachada responsiva no conforto térmico interno de uma câmara climática, localizada climática localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba.

MÉTODO

Inicialmente foi realizada a modelagem do estudo de caso, uma câmara climática denominada “CBBC”, e localizada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, em Curitiba, com base em informações de projetos desenvolvidos em estudos anteriores feitos para a sua concepção [3]. A instalação é composta por dois módulos independentes de 5,4m² de área interna, o Módulo de Controle (MC) e o Módulo Experimental (ME) (Figura 1), ambos providos de um sistema de rotação manual que possibilita orientá-los para pontos cardeais distintos, permitindo assim a execução de diversos estudos comparativos e foi desenvolvida baseando-se na Norma Brasileira NBR 15.220/2003: Desempenho térmico de edificações [4]. O interesse pela adoção da câmara nas simulações deve-se ao fato desta ser o objeto de estudo nas medições de campo a ocorrer em etapa futura na pesquisa.

Figura 1: Câmara climática: módulos MC e ME

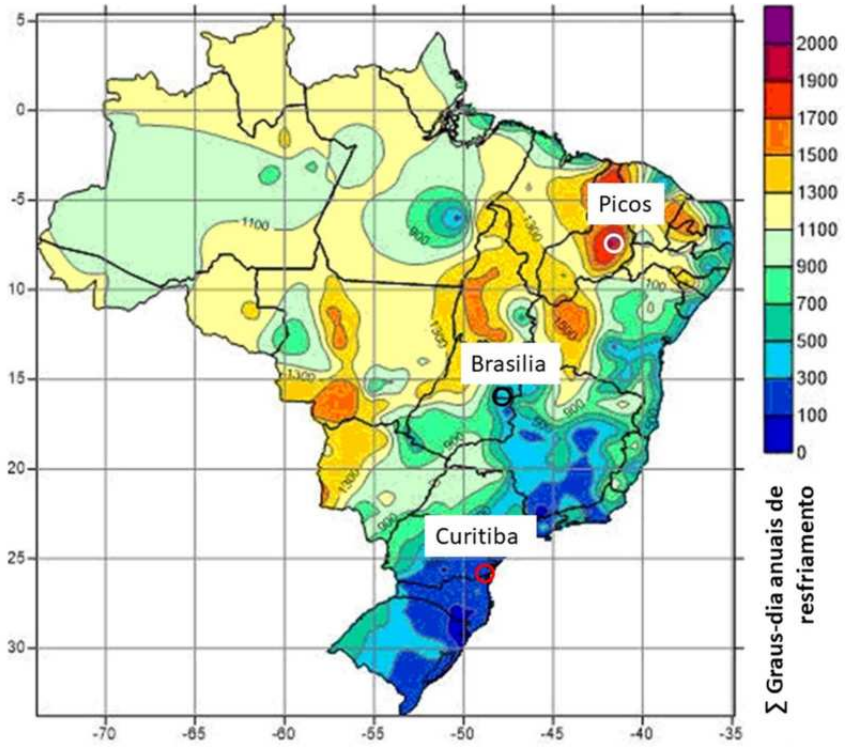


Nota: MC à esquerda e ME à direita. Fonte: [3].

Devido à grande extensão territorial que o Brasil possui, os estados que o compõem apresentam características geográficas diversas, como latitude, altitude, vegetação, massas de ar e relevo. Esses fatores influenciam diretamente nas diferenças climáticas encontradas entre cada região do país. Pensando nisso, o trabalho foi realizado aplicando simulações computacionais a partir de dados climáticos, retirados da própria base do EnergyPlus, para Curitiba (25,5° S), Brasília (16° S) e Picos (7° S), esta última apontada como uma das cidades mais quentes do país [5]. Em termos climáticos, segundo a classificação de Köppen-Geiger Cfb, Aw e Bsh, as três localidades se situam em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, na ZB1, na ZB4 e na ZB7, respectivamente [6,7]. As três cidades possuem assim diferenças climáticas significativas, indo do clima temperado subtropical (Curitiba), passando por um clima tropical (Brasília), até o clima seco de Picos. O mapa temático apresentado na Figura 1 reflete essa realidade, com o total anual de graus-dia de resfriamento tendo como base o limite superior de conforto adaptativo para dados

meteorológicos disponíveis para 411 cidades, os quais foram interpolados pelo método de krigagem [5].

Figura 2: Demanda anual por resfriamento – somatório dos graus-dia de resfriamento a partir da temperatura limite de conforto adaptativo



Fonte: adaptado de González & Krüger, 2015 [5]]

Foram dimensionados os elementos de sombreamento a partir do uso das cartas solares de cada uma das cidades estudadas com o auxílio do software 'Analysis SOL-AR'[1].

O dimensionamento dos elementos de sombreamento, do tipo horizontal, com ângulo de extensão do beiral (alfa) quantidade de lamelas, extensão de cada uma e espaçamento entre elas, obtido de forma a proporcionar sombreamento para uma fachada norte nos períodos de sobreaquecimento, quando as temperaturas externas eram superiores a 25°C (no caso de Picos, assumiu-se uma angulação que proporcionasse sombreamento na maior parte do ano) é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo do dimensionamento dos elementos de sombreamento

Cidade	Alfa (°)	Nº lamelas	Extensão lamela (m)	Espaçamento (m)
Curitiba	25	3	0,14	0,30
Brasília	40	3	0,25	0,30
Picos	60	4	0,39	0,23

Fonte: o autor.

[1] Programa gráfico que permite a obtenção da carta solar da latitude especificada, auxiliando no projeto de proteções solares através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação (http://www.labeee.ufsc.br/downloads/softwares/analysis-sol-ar).

Foram definidos os cenários e parâmetros de simulação. Foram estabelecidos quatro cenários de simulação, quais sejam: C. I: Simulação em seu estado atual, ou seja, sem elementos de sombreamento; C. II: Simulação com elemento de sombreamento fixo durante todo o ano, conforme as definições apresentadas para os elementos de sombreamento horizontais (Tabela 1); C. III: Simulação com elemento de sombreamento apenas no período de verão (simulando elementos retráteis, por exemplo); C. IV: Simulação com sombreamento responsivo levando em consideração o parâmetro temperatura. Ou seja, quando a temperatura interna estiver acima de da temperatura de referência de 25°C (valor adotado para a definição da necessidade de sombreamento no Analysis SOL-AR) [8] o elemento de sombreamento é ativado.

Para modelagem do estudo de caso e para as simulações térmicas e energéticas, foi utilizado um programa de simulação, o DesignBuilder aliado ao uso do EnergyPlus.

Todas as simulações foram efetuadas numa base anual, sendo que os dados climáticos utilizados pertencem à própria base do EnergyPlus (EP). Para as simulações foram consideradas: ocupação nula; ganhos internos nulos; emprego dos elementos de sombreamento (quando aplicável, de acordo com o cenário de simulação estabelecido); ventilação natural de uma troca horária no inverno, e de sete trocas horárias no verão, com quatro trocas horárias no outono e primavera, com orientação da janela para o Norte verdadeiro.

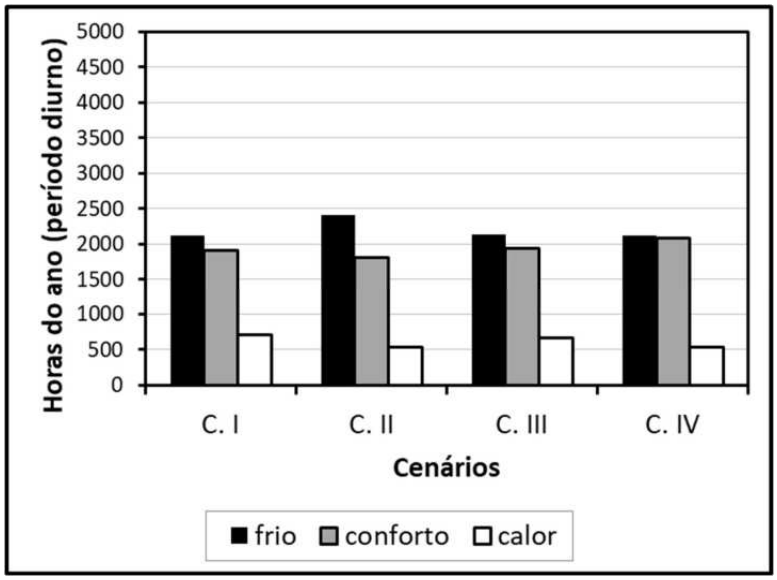
No EP, foi possível modelar sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, dentre outros [9]. Como se trata de um programa de simulações integradas, o cálculo de cargas térmicas nas zonas, bem como os sistemas de ar e ventilação e as centrais de produção de energia térmica são feitos simultaneamente levando em conta suas interações. Tais simulações são realizadas sobretudo com base em entradas de texto, necessitando definir os parâmetros de entrada e certo esforço para visualização dos resultados

Realizadas as simulações de cada cenário para cada localidade, foi feita uma análise geral do comportamento das temperaturas de cada cenário e de acordo com as estações do ano e uma avaliação do conforto térmico utilizando o modelo proposto pela EN 15251, norma europeia que especifica os parâmetros ambientais em ambientes fechados para a construção de sistemas de climatização e cálculos de desempenho energético [10].

RESULTADOS

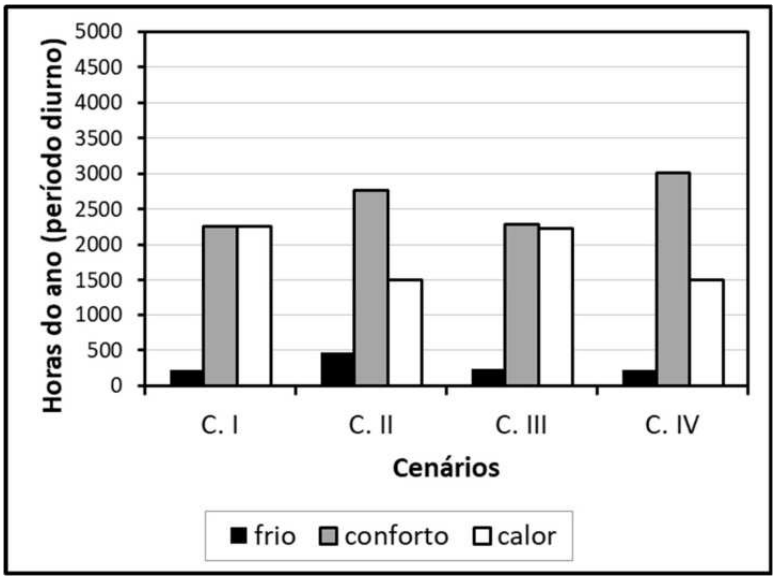
As Figuras 3, 4 e 5 representam o total de horas do ano (período diurno) com condições de conforto, desconforto térmico por frio ou sobreaquecimento para as cidades de Curitiba, Brasília e Picos, respectivamente. Adotando-se a normativa europeia 15251, os valores de referência têm como limite inferior para a faixa de conforto interno 20°C, enquanto o limite superior, de 25°C, corresponde ao limite mínimo do período quente.

Figura 3: Horas em conforto e desconforto segundo a EN 15251 ao longo do ano para os cenários de simulação analisados para Curitiba



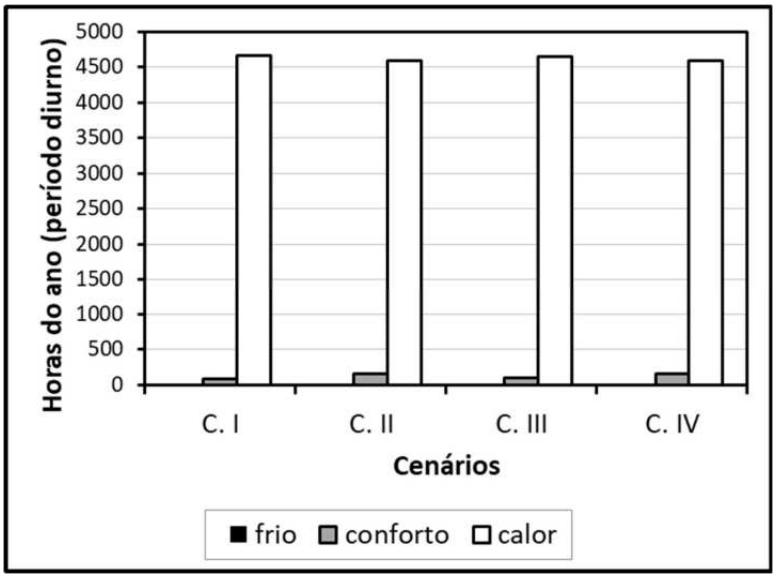
Fonte: o autor.

Figura 4: Porcentagem de horas em conforto e desconforto segundo a EN 15251 ao longo do ano para os cenários de simulação analisados para Brasília



Fonte: o autor.

Figura 5: Porcentagem de horas em conforto e desconforto segundo a EN 15251 ao longo do ano para os cenários de simulação analisados para Picos



Fonte: o autor.

Os totais de horas em cada situação representam as condições climáticas em geral de cada localidade estudada, com a predominância de condições de frio em Curitiba, conforto e calor em Brasília e calor em Picos. Os cenários analisados apresentam comportamentos distintos em cada localidade, denotando que o clima local influencia o seu desempenho.

Analisando as Figuras 3, 4 e 5, verifica-se que o cenário que teve melhor desempenho em todas as cidades estudadas, em questões de conforto térmico e, consequentemente, energético foi o cenário IV, que representa o estudo de caso com o uso de elementos de sombreamento de forma responsiva, levando em consideração o parâmetro temperatura. A vantagem desse cenário em diminuir o desconforto por calor sem afetar no aumento das horas em frio ficou mais evidenciado para o clima de Brasília. Taus relações são melhor explicitadas nas variações percentuais das horas de conforto/desconforto térmico relativamente ao caso sem *brises* (Tabela 2).

Tabela 2: Variações percentuais de horas em conforto e desconforto segundo a EN 15251 ao longo do ano (período diurno) para os cenários de simulação analisados

Localidade	**Cenário de simulação**	***Variação percentual do desconforto por frio***	***Variação percentual de conforto***	***Variação percentual do desconforto por calor***
Curitiba	C. I	-	-	-
	C. II	*-13%*	*-5%*	*-25%*
	C. III	*-1%*	*2%*	*-6%*
	C. IV	*0%*	*9%*	*-25%*
Brasília	C. I	-	-	-
	C. II	*-115%*	*22%*	*-33%*
	C. III	*-5%*	*1%*	*-2%*
	C. IV	*0%*	*33%*	*-33%*

Picos	C. I	-	-	-
	C. II	-	*84%*	*-2%*
	C. III	-	*8%*	*0%*
	C. IV	-	*84%*	*-2%*

Fonte: o autor.

Em uma comparação direta entre o cenário C. I (sem qualquer proteção solar) e o cenário C. IV (com elementos de sombreamento responsivos), a maior redução percentual das condições de sobreaquecimento é verificada para Brasília. A segunda vantagem a ser observada, no caso, é em relação ao *brise* fixo (C. II). No caso de Brasília, o uso do *brise* responsivo reduz o desconforto por frio, uma vez que o sombreamento é apenas ativado (por rotação das aletas, na situação real; por desconsideração do elemento de sombreamento, na simulação no EP) quando a temperatura do ar interno exceder o patamar de 25°C. Ainda, há que se verificar se a definição das estações para uso do sombreamento (C. III) é suficiente como pré-condição. No caso de Brasília, o desempenho do cenário C. III pouco diferiu da condição inicial sem sombreamento. Em menor grau, esses resultados são também verificados para Curitiba.

Por sua vez, em Picos, devido às suas condições de calor distribuídas ao longo do ano, sem estações definidas, o *brise* fixo (cenário C. II) traz a mesma redução percentual da situação sem sombreamento que o responsivo (cenário C. IV), uma vez que há ali a necessidade de sombreamento durante todo o ano.

Em suma, a comparação direta entre *brises* fixos como tradicionalmente instalados (cenário C. II) e *brises* responsivos (cenário C. IV) mostrou um aumento nos percentuais de horas em conforto para Curitiba e Brasília, enquanto que o mesmo não se verifica em Picos.

Assim, o *brise* responsivo apresenta-se como uma solução viável para as regiões com maior variação nas condições térmicas, sendo pouco viável em climas com padrão térmico invariável. Ainda, em climas tropicais e subtropicais, com baixa definição sazonal, o sombreamento responsivo pode ser vantajoso, pois condições de calor não necessariamente ocorrerão nos períodos de verão. Tendo em vista que o sombreamento é indicado para condições de calor, localidades que apresentam maior variação climática poderão se beneficiar desses sistemas uma vez que os ganhos de calor por radiação solar incidente serão permitidos durante os períodos mais frios, consequentemente aumentando a temperatura interna e o conforto dos ocupantes nessa época. Nota-se que, para Curitiba e Brasília, o *brise* responsivo não mostra variação percentual nas horas em frio relativamente ao cenário C. I, uma vez que não há bloqueio ao sol nos períodos de desconforto por frio, como em uma fachada desprovida de elementos de sombreamento.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que, dentre os cenários simulados, o que obteve melhor desempenho para todas as cidades estudadas em questões de

conforto e, consequentemente, da demanda energética, foi o cenário C. IV, com o uso de elementos de sombreamento de forma responsiva. Em climas que apresentam variações climáticas ao longo do ano, tal solução apresenta a vantagem de reduzir o sobreaquecimento, sem acarretar em aumento do desconforto por frio, o que ocorreria em uma condição com sombreamento estático. Em locais quentes, marcados por condições de sobreaquecimento, o uso de elementos responsivos aparentemente não se justifica, uma vez que os resultados para *brise* estático se equivalem aos do responsivo. Assim, comprova-se a eficácia da aplicação de elementos de sombreamento responsivo, sobretudo em regiões que apresentam variabilidade climática.

Outro aspecto relevante dos sistemas responsivos diz respeito à sua capacidade de adaptação em tempo real. Seu caráter adaptativo, por sua vez, possibilita a sua resposta em períodos repentinos de ondas de calor ou frio que não são contemplados em arquivos climáticos utilizados para dimensionamento dos sistemas de sombreamento convencionais. Além disso, seu comportamento dinâmico torna-os viáveis para as mudanças climáticas futuras, diferentemente dos sistemas de sombreamento estático.

REFERÊNCIAS

[1] AELENEI, D.; AELENEI, L.; VIEIRA, C.P. **Adaptive Façade: Concept, Applications, Research Questions**. Energy Procedia, v. 91, p. 269-275, 2016.

[2] MEAGHER, M. **Designing for change: the poetic potential of responsive architecture**. Frontiers of Architectural Research, v. 4, p. 159-165, 2015.

[3] TREVISAN, L. Y. I. **Concepção, construção e verificação da aplicabilidade de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo em estudos de conforto ambiental.** 2019. Tese (Doutorado em Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2019.

[4] TREVISAN, L. Y. I.; SHIBATA, R.; CELLIGOI, G.; RIBEIRO, R. S. ; AMARILLA, R. S. D.; Krüger, E.L. . **Avaliação Pós-Ocupação de uma Câmara Bioclimática de Baixo Custo: a percepção térmica e acústica no diagnóstico de um ambiente construído.** AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 20, p. 285-303, 2020.

[5] GONZÁLEZ CRUZ, E.; KRÜGER, E. **Evaluating the potential of an indirect evaporative passive cooling system for Brazilian dwellings**. Building and Environment, v. 87, p. 265-273, 2015.

[6] PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., MCMAHON, T. A. **Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification**. Hydrology and earth system sciences, v. 11(5), 1633-1644, 2007.

[7] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220** Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro Origem: Projeto 02:135.07-001/3:2003 ABNT/CB-02- Comitê Brasileiro de Construção Civil CE-02:135.07 – Comissão de Estudo de Desempenho Térmico de Edificações, 2003.

[8] Decreto-Lei n.º 101-D/2020, Diário da República n.º 237/2020, 1º Suplemento, Série I de 2020-12-07, p. 21-45, 2020.

[9] ALVES, A.P. **Simulação térmica multizona de um edifício escolar: uma comparação de programas no âmbito do RSECE**. 2011. 256f. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Minho: Braga, Portugal, 2011.

[10] COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. **EN 15251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings-addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. 2006.

[11] INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normas Climatológicas**. Banco de Dados Meteorológicos 2021. https://portal.inmet.gov.br/