

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS ARARANGUÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Ágata Gabriela Knöpker Severo**

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES:  
UM ESTUDO DE CASO NA E.E.B. PROFA. ISABEL FLORES HÜBBE EM  
ARARANGUÁ/SC**

**Araranguá  
2022**

**Ágata Gabriela Knöpker Severo**

**ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES:  
UM ESTUDO DE CASO NA E.E.B. PROFA. ISABEL FLORES HÜBBE EM  
ARARANGUÁ/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia, do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde, da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Energia.

Orientadora: Profa. Dra. Kátia Cilene Rodrigues Madruga

Coorientadora: Prof. Dra. Elise Sommer Watzko

**Araranguá  
2022**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Severo, Ágata Gabriela Knöpker  
Análise de estratégias bioclimáticas em edificações  
escolares: um estudo de caso na E.E.B. Profa. Isabel  
Flores Hübbe em Araranguá/SC / Ágata Gabriela Knöpker Severo  
; orientador, Kátia Cilene Rodrigues Madruga,  
coorientador, Elise Sommer Watzko, 2022.  
40 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,  
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Estratégias bioclimáticas.  
3. Edificações escolares. 4. EnergyPlus. 5. INI-C. I.  
Rodrigues Madruga, Kátia Cilene . II. Sommer Watzko, Elise  
. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia de Energia. IV. Título.

Ágata Gabriela Knöpker Severo

ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS EM EDIFICAÇÕES ESCOLARES: UM ESTUDO DE CASO NA E.E.B. PROFA. ISABEL FLORES HÜBBE EM ARARANGUÁ/SC

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra. (Orientadora)

Prof. Giuliano Arns Rampinelli, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Eng. Thayane Bilésimo, Ma.

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira de Energia.

---

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.  
Coordenador do Curso

---

Profa. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.  
Orientadora

---

Ágata Gabriela Knöpker Severo  
Autora

Araranguá, 18 de março de 2022

## RESUMO

Com o propósito de construir edificações energeticamente sustentáveis e, ainda, proporcionar conforto térmico, uma das possibilidades é implementar estratégias bioclimáticas. Considerando o impacto do conforto térmico no desempenho de atividades intelectuais, as escolas são edificações que merecem atenção. Nesse sentido, este estudo teve por objetivo analisar os impactos da utilização de estratégias bioclimáticas no desempenho termo energético de uma instituição escolar localizada em Araranguá (SC). A pesquisa teve quatro movimentos de pesquisa. O primeiro deles, realizado a partir de visita técnica, resultou na identificação de duas estratégias bioclimáticas presentes na edificação úteis para a zona bioclimática 2: ventilação natural e sombreamento nas aberturas. O segundo movimento, efetivado por meio de simulação no software *EnergyPlus*, possibilitou classificar os valores de carga térmica de acordo com a INI-C. A partir disso, obteve-se os valores de carga térmica para a condição real de 8.367,88 kWh/ano e de 29.111,68 kWh/ano para a condição de referência. Isso representou uma redução de 71,26% na carga térmica anual. O mesmo tipo de simulação foi utilizado no terceiro movimento de pesquisa. Contudo as condições avaliadas consideraram a edificação sem as estratégias bioclimáticas. A partir disso, obteve-se aumentos de 771,8 kWh/ano, ao se desconsiderar a estratégia de sombreamento, e de 13.088,22 kWh/ano, ao se excluir a ventilação natural, em relação à edificação real. Retirando-se ambas as estratégias, o aumento foi ainda maior, representando 15.067,16 kWh/ano. Mesmo assim, a etiquetagem resultou em classe A para todas as condições. O quarto movimento de pesquisa, implementado através da comparação dos requisitos mínimos de desempenho térmico da envoltória e o das normas vigentes, permitiu identificar que a envoltória possui um desempenho térmico satisfatório. Frente ao exposto, conclui-se que a implementação de estratégias bioclimáticas pode melhorar o conforto térmico da edificação. Além disso, pode contribuir na redução do consumo de condicionamento artificial de edificações, sendo, portanto, importante considerá-las no projeto das instituições escolares. Conclui-se, também, que a etiquetagem de edificações é uma ferramenta satisfatória para a análise dos sistemas da edificação, posto que permite uma comparação dinâmica entre as condições avaliadas. Portanto, seria interessante que a obrigatoriedade desse tipo de classificação fosse ampliada para todas as edificações escolares.

**Palavras-chave:** Estratégias bioclimáticas. Edificações escolares. *EnergyPlus*. INI-C.

## ABSTRACT

In order to build energy-sustainable buildings and also provide thermal comfort, one of the possibilities is to implement bioclimatic strategies. Considering the impact of thermal comfort on the performance of intellectual activities, schools are buildings that deserve attention. Considering this, the purpose of this study was to analyze the impacts of the use of bioclimatic strategies on the thermal-energy performance of a school located in Araranguá (SC). The research had four movements. The first movement, carried out after a technical visit, resulted in the identification of two bioclimatic strategies present in the building useful for bioclimatic zone 2: natural ventilation and shading in the openings. The second movement, carried out through simulation in the EnergyPlus software, made it possible to classify the thermal load values according to the INI-C. From this, the thermal load values for the actual condition of 8,367.88 kWh/year and 29,111.68 kWh/year for the reference condition were obtained. This represented a 71.26% reduction in the annual heat load. The same type of simulation was used in the third research movement. However, the conditions evaluated considered the building without bioclimatic strategies. From this, increases of 771.8 kWh/year were obtained when disregarding the shading strategy, and 13,088.22 kWh/year when excluding natural ventilation, in relation to the real building. When both strategies were removed, the increase was even greater, representing 15,067.16 kWh/year. Even so, the labeling resulted in class A for all conditions. The fourth research move, implemented by comparing the minimum thermal performance requirements of the envelope and the current standards, identified that the envelope has a satisfactory thermal performance. It can be concluded that the implementation of bioclimatic strategies can improve the thermal comfort of the building. In addition, it can contribute to reducing the consumption of artificial conditioning in buildings, and therefore, it is important to consider them in the design of school institutions. It is also concluded that the labeling of buildings is a satisfactory tool for the analysis of the building systems, since it allows a dynamic comparison between the evaluated conditions. Therefore, it would be interesting if the obligation of this type of classification were extended to all school buildings.

**Keywords:** Bioclimatic strategies. School buildings. EnergyPlus. INI-C.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de edificações consome atualmente 16% da energia primária total brasileira. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), entre os anos de 2005 e 2018, o consumo de energia das edificações passou de 30,7 milhões para 37,8 milhões de TEP (tonelada equivalente de petróleo), o que representa um crescimento de 2% ao ano. A principal fonte de energia utilizada nas edificações é a eletricidade, totalizando 46% do gasto energético em residências e 92% em edifícios comerciais e públicos. Em termos gerais, de acordo com o Atlas da Eficiência Energética 2020, as edificações consomem 52% da eletricidade do país. Justamente por terem um consumo tão significativo, é nesse segmento que está o maior potencial de eficiência elétrica (EPE, 2020).

Com base nisso, a fim de tornar o atual modelo energético mais sustentável, mostra-se necessário pensar em estratégias de eficiência energética voltadas ao setor de edificações. Vale lembrar que a eficiência energética na arquitetura se refere a um atributo inerente à edificação que indica seu potencial de promover conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

No intuito de construir edificações energeticamente mais sustentáveis sem prejudicar o conforto dos usuários existem diferentes alternativas. Entre elas, destaca-se aqui a implementação de estratégias associadas à arquitetura bioclimática. Essas estratégias têm como objetivo alcançar o conforto térmico humano interagindo energeticamente com o clima exterior ao ambiente construído. Nas edificações que implementam princípios da arquitetura bioclimática são consideradas as condições do local para a escolha adequada dos elementos construtivos e posicionamento da edificação. Ademais, ao serem projetadas, são utilizadas alternativas que contemplam o aproveitamento dos recursos naturais externos como sol, vento, temperatura e vegetação (MANZANO-AGUGLIARO *et al.*, 2015).

Em relação ao conforto térmico, cabe salientar que ele consiste no estado mental que expressa satisfação do homem com o ambiente térmico ao qual ele está submetido (ASHRAE, 2005). Caso o balanço térmico entre o calor produzido pelo corpo e o perdido para o ambiente seja instável, é gerada uma situação de desconforto que pode prejudicar o rendimento dos seres humanos na realização de diferentes atividades (RUPP; VÁSQUEZ; LAMBERTS, 2015). Isso porque, o nosso organismo é sensível às variações térmicas do ambiente e reage de acordo com as condições climáticas do local (VIANA, 2013). Dentre as atividades impactadas pelas

condições de desconforto térmico estão as intelectuais, que correspondem a um dos focos da educação escolar.

Investigações relatam que os estudantes apresentam melhor desempenho em uma ampla gama de tarefas características do trabalho escolar em condições de conforto térmico favoráveis (WARGOCKI, 2007; BATIZ *et al.*, 2009; BELTRAME, 2009). De acordo com Wargocki (2007), ao aumentar o contato dos discentes com a ventilação natural, há melhora no desempenho em tarefas que requerem concentração, raciocínio lógico e compreensão linguística. No mesmo viés, Batiz (2009) afirma que os estudantes apresentam melhor desempenho em condições neutras, ou seja, quando seu balanço térmico é próximo ao nulo. Já Beltrame (2009) conclui que, quanto melhor as condições de conforto térmico nas salas de aula, melhor será o aproveitamento didático e o desempenho de quem as ocupa, já que, de forma geral, o meio ambiente interfere no aproveitamento didático dos alunos em sala de aula.

Nesse sentido, pode-se dizer que as escolas são edificações que merecem atenção especial em termos de conforto térmico e as estratégias bioclimáticas mostram-se como boas opções para servir a esse propósito. Até porque, por meio delas, é possível atingir maior estabilidade térmica e higrométrica, alcançando o equilíbrio entre conforto térmico e consumo energético (MISSOUM *et al.*, 2016; SOUTULLO *et al.*, 2016). Entretanto, geralmente os projetos arquitetônicos escolares não consideram a variedade climática brasileira, visto que se costuma optar por edificações padronizadas como uma tentativa de reduzir custos e tempo de construção (KOWALTOWSKI, 2011). Isso pode criar situações de desconforto aos usuários do edifício ou gerar a necessidade de atingir o conforto térmico por meio de climatização artificial (SILVA, 2015). Desse modo, aumenta-se a quantidade de energia elétrica consumida, prejudicando a eficiência energética da edificação.

Uma das soluções que têm sido utilizadas no Brasil para a avaliação dos níveis de eficiência energética é a etiquetagem. Para a realização desse processo, existem certificações como a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Essa etiqueta tem como objetivo informar a escala de eficiência energética e se aplica inclusive a edificações escolares, possuindo uma normativa específica para esses casos descrita na Instrução Normativa Inmetro para edificações comerciais, de serviços e públicas (INI-C), que foi lançada em 2021.

Frente ao exposto, a pesquisa apresentada neste artigo teve como objetivo analisar os impactos da utilização de estratégias bioclimáticas no desempenho termo energético de uma instituição escolar localizada em Araranguá, Santa Catarina. Conseqüentemente, seus objetivos específicos foram os seguintes: (i) identificar as estratégias bioclimáticas presentes na



edificação que se enquadram como úteis para a zona bioclimática em que a instituição está localizada, (ii) classificar a carga térmica da edificação examinada segundo o método de simulação da INI-C, (iii) avaliar a influência das estratégias bioclimáticas identificadas no tocante à eficiência energética e (iv) comparar os requisitos mínimos de desempenho térmico da envoltória com os das normas vigentes.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

A eficiência energética é um recurso competitivo e sustentável disponível para o atendimento das necessidades energéticas. Se comparada à construção de novos empreendimentos de produção de energia, a eficiência energética mostra-se como uma opção mais adequada, visto que ela reduz impactos ao meio ambiente através do aproveitamento inteligente do recurso (EPE, 2020). Além disso, em termos de caminho da geração até o consumo, a eficiência energética mostra-se como uma boa opção financeira, posto que “é mais barato economizar energia do que fornecê-la” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.15). Justamente por isso, ela pode ser considerada um mecanismo relevante para o planejamento energético brasileiro.

No intuito de regulamentar estratégias voltadas à eficiência energética há uma série de normativas. Nesta seção são apresentadas as normativas voltadas ao desempenho termo energético de edificações que foram tomadas como referência para o desenvolvimento da pesquisa explicitada neste artigo, a saber: NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e INI-C (INMETRO, 2021). Ademais, são expostas estratégias indicadas para a zona bioclimática em que a edificação escolar do presente estudo está inserida.

### **2.1 Normas brasileiras para desempenho termo energético em edificações tomadas como referência**

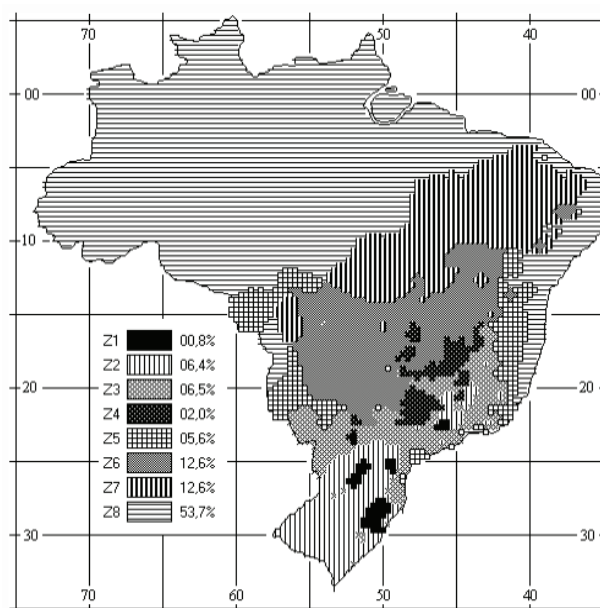
#### **2.1.1 Norma Brasileira 15220-3**

A Norma Brasileira (NBR) 15220-3 apresenta uma série de recomendações em relação ao desempenho térmico para habitações unifamiliares de interesse social. No corpo dessa norma são expostas diversas diretrizes construtivas para as edificações, bem como é detalhado o zoneamento bioclimático brasileiro. Ademais, são feitas recomendações de estratégias de

condicionamento térmico passivo com base em parâmetros e condições de cada zona bioclimática.

No que concerne ao zoneamento bioclimático, a NBR 15220-3 esclarece que ele foi elaborado a partir de uma série de análises envolvendo dados climáticos brasileiros que foram classificados tendo como base a Carta Bioclimática de Givoni (1992) adaptada a climas quentes como o do Brasil. Para a criação desse zoneamento, as cidades foram classificadas por sua localização e variação climática (médias mensais de temperatura máxima, temperatura mínima e umidade relativa do ar), resultando na divisão do território brasileiro em oito zonas bioclimáticas, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro

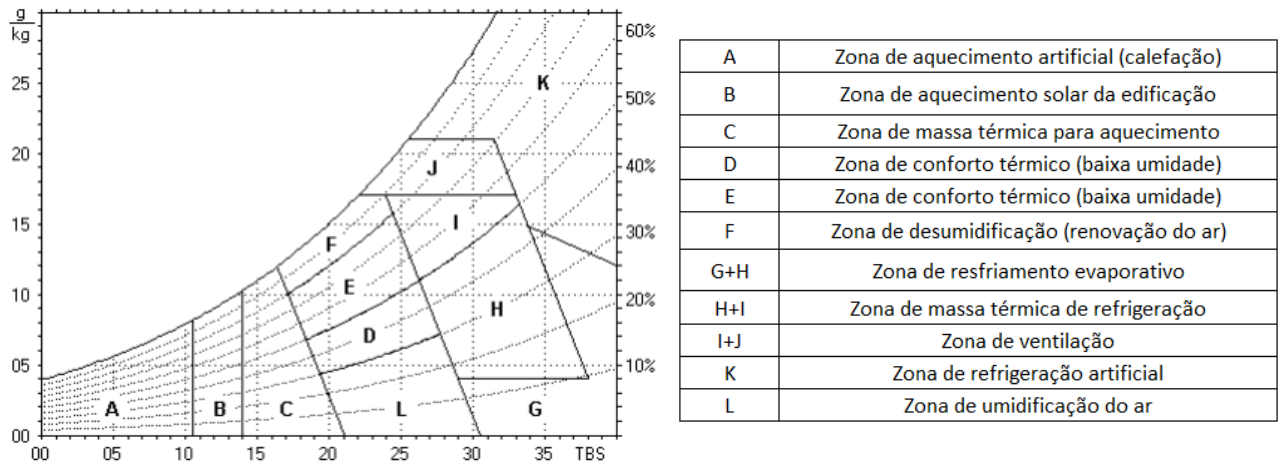


Fonte: ABNT (2005).

Com as zonas bioclimáticas definidas, estabeleceram-se estratégias de condicionamento passivo que se adequassem melhor à situação de cada uma delas. A metodologia<sup>1</sup> utilizada para isso consistiu em marcar na carta de Givoni (Figura 2) os dados mensais de temperatura e umidade relativa do ar para cada localidade. A partir disso, foi possível identificar o clima da região e, assim, traçar as estratégias bioclimáticas aplicáveis para cada zona (ABNT, 2005).

<sup>1</sup> A metodologia completa de divisão das zonas encontra-se no ANEXO B da NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

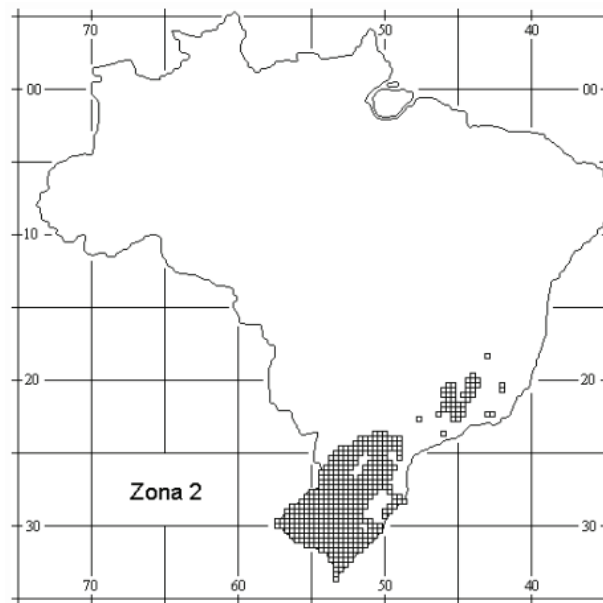
Figura 2 - Carta de Givoni adaptada para climas quentes



Fonte: ABNT (2005).

O município de Araranguá, onde está localizada a edificação escolhida para o estudo, pertence, segundo a NBR 15220-3, à zona bioclimática 2 (Figura 3). Essa zona representa 6,4% do território brasileiro compreendendo principalmente a região sul do país (CB3E, 2014). Seu clima é classificado como subtropical, variando majoritariamente de ameno a frio e possui estações bem definidas (CB3E, 2014). Essa zona é constituída por 33 cidades, sendo alguns exemplos Machado (MG), Jaguariaíva (PR), Nova Friburgo (RJ), Alegrete (RS) e Laguna (SC).

Figura 3 - Zona Bioclimática 2



Fonte: ABNT (2005).

No caso da zona bioclimática 2, a referida norma recomenda que as edificações possuam aberturas médias<sup>2</sup> e sombreamento nas aberturas. Isso porque, dessa forma, há incidência solar durante o período frio e ventilação natural durante o período quente. As vedações externas devem ser do tipo leve para as paredes e do tipo leve isolada para a cobertura. Para respeitar tais requisitos construtivos é importante levar em consideração a transmitância térmica, a absorvância e a capacidade térmica admissíveis para cada tipo de vedação externa<sup>3</sup>.

A NBR 15220-3 também indica as seguintes estratégias para a zona bioclimática 2 (Quadro 1):

Quadro 1 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 2

ESTAÇÃO	ESTRATÉGIA
Verão	Ventilação Cruzada Sombreamento
Inverno	Inércia Térmica para Aquecimento Aquecimento Solar

Fonte: ABNT (2005).

### 2.1.2 Instrução Normativa do Inmetro para edificações comerciais, de serviços e públicas

A INI-C foi proposta pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) e entrou em vigor em março de 2021 através da Portaria do Inmetro nº 42. Ela faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) e foi desenvolvida através de uma parceria entre o Inmetro e a Eletrobras/PROCEL Edifica. Nessa normativa são especificados os critérios e métodos para a classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto ao seu nível de eficiência energética utilizando como parâmetro a etiquetagem de A (mais eficiente) até E (menos eficiente).

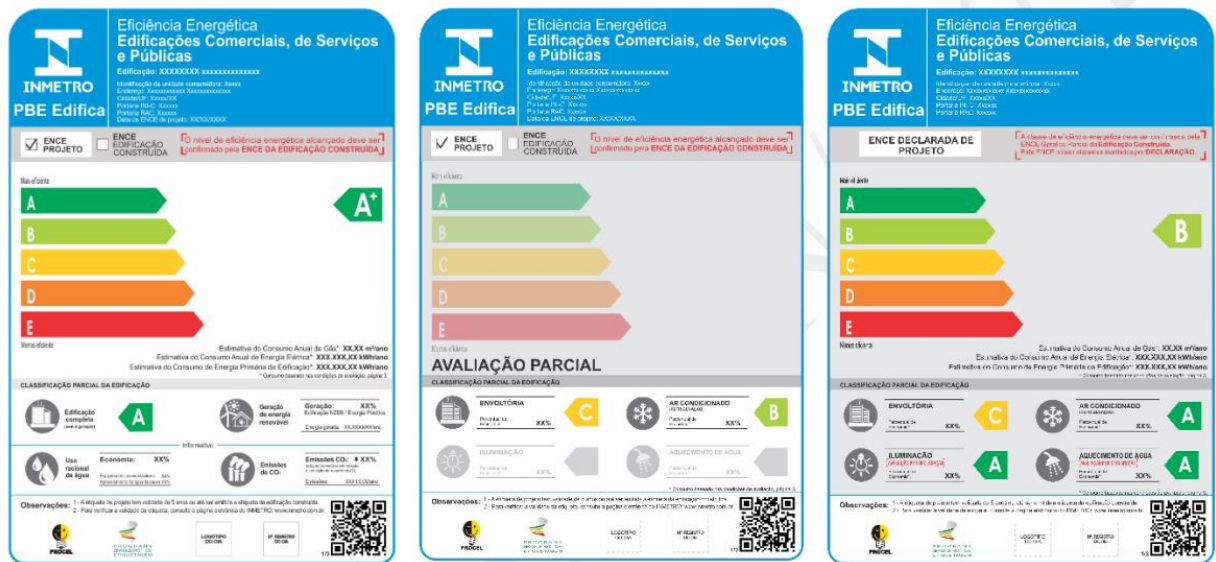
O objetivo da INI-C é que a classificação seja realizada com base no consumo de energia primária, comparando um edifício de referência ao edifício real. Vale ressaltar que a norma abrange em sua metodologia instruções que englobam estratégias bioclimáticas, realizando sua interligação com o uso de sistemas elétricos e de climatização (LEITE, 2020).

<sup>2</sup> Os valores atualizados estão presentes na NBR 15575-4 (ABNT, 2013a) e na NBR 15575-5 (ABNT, 2013b; ABNT, 2021).

<sup>3</sup> Os valores atualizados estão presentes na NBR 15575-4 (ABNT, 2013a; ABNT, 2021).

A INI-C surge para aperfeiçoar os métodos anteriores (RTQ-C), principalmente no que tange à aproximação dos resultados da etiquetagem ao consumo real das edificações. Seu método permite que sejam integradas diferentes fontes de energia, elétrica e térmica, na análise do desempenho energético da edificação. Assim, as diversas fontes de energia são convertidas para energia primária e, por fim, avaliadas em conjunto tornando os valores de consumo mais próximos da realidade. A INI-C considera, ainda, o consumo estimado de equipamentos, o uso racional de água, a geração local de energia renovável e as emissões de dióxido de carbono (CB3E, 2017). Esses ajustes refletem na nova etiqueta e podem se configurar de três formas: ENCE Geral (para projeto e edificação construída), ENCE Parcial (para projeto e edificação construída) e ENCE Declarada (somente para projeto), que podem ser observadas na Figura 4. Além da edificação completa, parcelas de edificações (pavimentos ou conjunto de ambientes) podem ser avaliados pelo mesmo método e receber etiquetagem (CB3E, 2017).

Figura 4 - ENCE geral, parcial e declarada



Fonte: INMETRO (2021).

A partir da INI-C, pode-se analisar também os sistemas individuais (CB3E, 2017). A classificação da envoltória é um desses sistemas que pode ser estudado individualmente. Sua avaliação se dá por meio da comparação dos valores de carga térmica total anual para refrigeração da edificação nas condições real e de referência, sendo essa última equivalente à classificação D. Tal análise pode ser realizada por meio do método simplificado quando as

características da edificação estiverem de acordo com os limites dos parâmetros de avaliação da envoltória atendidos por esse método ou, nos demais casos, pelo método de simulação<sup>4</sup>.

A norma apresenta também, em seu Anexo G, um novo tipo de classificação para o zoneamento bioclimático brasileiro que separa o território em vinte e quatro grupos climáticos (Figura 5). A proposta foi elaborada por Roriz (2014) como uma forma de aprimorar o zoneamento que consta na NBR 15220-3. Nessa nova classificação, o município de Araranguá faz parte das cidades que compõem o Grupo Climático 6 (CB3E, 2021).

Figura 5 - Distribuição dos municípios segundo o Grupo Climático



Fonte: CB3E (2021).

Contudo, como nova divisão proposta está ainda em desenvolvimento, ainda não são oferecidas sugestões de estratégias bioclimáticas para cada grupo climático. Portanto, para a pesquisa abordada neste artigo, foram utilizadas como referência as estratégias recomendadas pela NBR 15220-3, assunto da próxima subseção.

---

<sup>4</sup> Estes métodos estão disponíveis, respectivamente, no anexo B.I e no anexo C da INI-C.

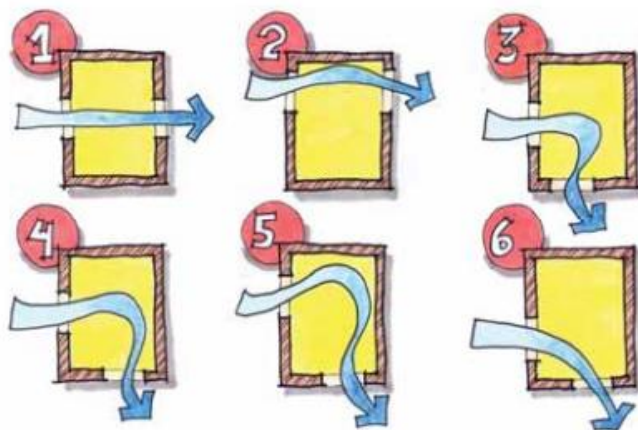
## 2.2 Estratégias bioclimáticas indicadas para a zona bioclimática 2

### 2.2.1 Ventilação cruzada

A ventilação natural é definida como o emprego do fluxo de ar natural para o condicionamento térmico do ambiente, propiciando condições favoráveis de conforto e melhoria da qualidade do ar interno (ALLARD, 1998). Um dos tipos de arranjos que promovem essa estratégia é a ventilação cruzada, que nada mais é do que dispor aberturas em zonas de pressão opostas permitindo que o fluxo de ar percorra o ambiente e saia dele. Com a inserção da ventilação cruzada, quando utilizada da forma correta, é possível remover o calor acelerando as trocas por convecção e contribuir para a melhoria da sensação térmica dos ocupantes posto que os níveis de evaporação são elevados (PROJETEE, 2022).

Essa técnica é uma das mais eficazes da categoria quando se trata de reduzir as temperaturas internas, porém ela deve ser utilizada em situações estratégicas evitando períodos de muito frio ou calor acima de 32°C. Isso porque, com ela, o ambiente interno se torna mais suscetível às variações de temperatura externas. Existem vários modelos de ventilação cruzada, como pode se observar na Figura 6, e a escolha de qual deles implementar na edificação dependerá das condições externas do local, como a velocidade dos ventos, informação fornecida pela rosa-dos-ventos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 6 - Tipos de ventilação cruzada



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira (2014).

### 2.2.2 Sombreamento

O sombreamento é uma estratégia fundamental para redução dos ganhos solares das paredes externas da edificação. São exemplos de proteções solares eficientes para sombreamento: vegetação, cortinas, brises, beirais de telhado, marquises, entre outros (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Essas proteções, se corretamente projetadas, conseguem reduzir significativamente os ganhos solares nos períodos mais quentes dos dias durante o verão e a primavera, quando a incidência solar é mais forte, sem impedir a edificação de receber radiação durante o inverno ou prejudicar a iluminação natural através das aberturas (PROJETEE, 2022).

### 2.2.3 Aquecimento solar

O aquecimento solar é uma estratégia que consiste na utilização da radiação solar direta para aquecimento da edificação (PROJETEE, 2022). Essa estratégia é indicada para climas frios e é, frequentemente, utilizada junto a algum isolamento adicionado à estrutura da edificação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Para elevar a eficiência dessa estratégia é importante prestar atenção na forma e na orientação da edificação e das superfícies envidraçadas.

Por meio do aquecimento solar é possível otimizar o aquecimento dos ambientes internos durante o período frio reduzindo a necessidade de sistemas ativos de aquecimento. Para isso, o edifício deve possuir superfícies que possibilitem a entrada de radiação, como janelas envidraçadas voltadas aos locais com alta incidência solar, e aberturas reduzidas nas orientações desfavoráveis. Dessa forma, a edificação ficará exposta ao ganho térmico solar e ainda se reduzirá a perda de calor por meio das aberturas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As principais técnicas utilizadas para favorecer o aquecimento solar são as seguintes: utilização de aberturas zenitais, painéis refletores externos, coletores de calor solar para aquecimento de água, estufas e pintura externa, sendo essa última uma das estratégias mais empregadas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

### 2.2.4 Inércia térmica para aquecimento

A inércia térmica em um edifício está relacionada aos materiais que compõem sua envoltória. A utilização dessa estratégia tem como objetivo diminuir a amplitude da temperatura



interna da edificação, evitando grandes alterações de temperatura (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Para melhorar a inércia térmica da edificação é recomendado adicionar a sua estrutura materiais com alta capacidade térmica, como concreto, alvenaria cerâmica ou isolantes que se adequem à necessidade do local (PROJETEE, 2022). Desse modo, o calor fica armazenado na estrutura da edificação durante o dia e é inserido no ambiente interno apenas à noite por conta do amortecimento térmico causado pelo material. Além disso, a estrutura resfriada à noite tende a manter-se fria durante parte do dia seguinte ajudando no controle da amplitude térmica (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

### **3 METODOLOGIA**

Em busca de alcançar o objetivo geral da investigação que deu origem a este artigo, qual seja: *analisar os impactos da utilização de estratégias bioclimáticas no desempenho termo energético de uma instituição escolar localizada em Araranguá, Santa Catarina*, realizou-se quatro movimentos de pesquisa. Nesta seção, são apresentados detalhamentos sobre cada um desses movimentos, bem como informações pertinentes à edificação de estudo examinada.

#### **3.1 Edificação de estudo**

A pesquisa implementada trata-se de um estudo de caso na E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe. Optou-se por essa escola principalmente pelos seguintes motivos: disponibilização das plantas civis, acesso facilitado à edificação para visita e colaboração da equipe diretiva.

A E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe está localizada no bairro Alto Feliz, na cidade de Araranguá, sul de Santa Catarina (Figura 7). Ela atende aproximadamente quinhentos estudantes do 1º ao 9º ano do ensino fundamental da rede de ensino estadual e funciona principalmente nos turnos matutino e vespertino. Atualmente, possui cerca de duas a três turmas por série, com aproximadamente vinte e cinco estudantes por turma.

Figura 7 - E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe



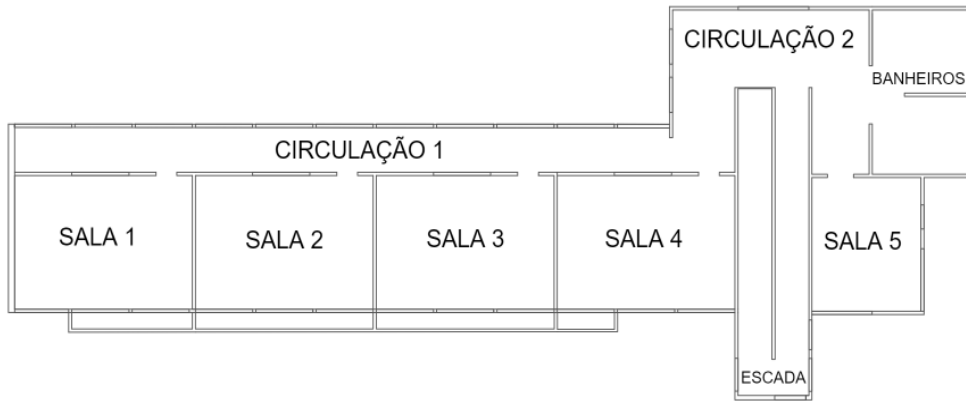
Fonte: Adaptado de Google Maps Brasil (2022).

A edificação da escola possui dois blocos, sendo o primeiro formado por dois pavimentos e o segundo por um pavimento. Para a realização do estudo, definiu-se um ambiente representativo da escola devido ao nível de complexidade da edificação e do método elegido para realizar a avaliação do desempenho termo energético. Foi escolhido o segundo pavimento do primeiro bloco da instituição como ambiente representativo. Essa escolha se deu, pois além de serem identificados o maior número de estratégias bioclimáticas implementadas nesse local, o segundo pavimento do primeiro bloco é composto quase em sua totalidade por áreas de permanência prolongada (APP's<sup>5</sup>) como pode ser observado na Figura 8.

---

<sup>5</sup> APP é um ambiente que possui ocupação contínua por longos períodos como as salas de aula. Todos os ambientes condicionados devem ser considerados APP's segundo a INI-C (INMETRO, 2021).


Figura 8 - Planta do ambiente representativo



Fonte: A autora (2022).

Tendo definido o ambiente representativo para a realização das análises, foram coletadas as informações construtivas necessárias para o desenvolvimento dos movimentos de pesquisa. Essas informações são apresentadas nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2 - Informações construtivas do ambiente representativo – parte 1

	
Posição das fachadas	Fachada frontal NO Fachada fundos SE Fachadas laterais NE/SO
Tipologia	Escolar
Área representativa	453,09 m <sup>2</sup>
Área da envoltória	711,29 m <sup>2</sup>
Pé direito	3,00 m
Volume	1359,3 m <sup>3</sup>
Ambientes condicionados (AC)	240,64 m <sup>2</sup> (Salas de aula)
<b>CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS</b>	
Parede $U_{par} = 2,13$ (W/m <sup>2</sup> K) $CT_{par} = 155$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	Argamassa interna 2,5cm + Bloco cerâmico 12x19x19cm + Argamassa Externa 2,5cm + Pintura Externa ( $\alpha = 0,4$ )
Cobertura $U_{cob} = 1,4$ (W/m <sup>2</sup> K) $CT_{U_{cob}} = 200,2$ (kJ/m <sup>2</sup> K)	Forro PVC 1cm + Laje maciça 10cm + câmara de ar >5cm + telhas fibrocimento
Vidro $U_{vidro} = 5,89$ W/m <sup>2</sup> .K Fator Solar = 0,87	Vidro simples 3mm
Janelas	Basculantes em todas as salas de aula e deslizantes nas demais áreas Área janelas basculantes e deslizantes externas=3,85 m <sup>2</sup> Área janelas internas=2,20 m <sup>2</sup>

Fonte: A autora (2022).

Quadro 3 - Informações construtivas do ambiente representativo – parte 2

ZONA TÉRMICA	ÁREA	
	Piso	Janelas Externas – Área Total e Posição
SALA 1 (APP)	52,15 m <sup>2</sup>	11,55 m <sup>2</sup> (NO)
SALA 2 (APP)	52,15 m <sup>2</sup>	11,55 m <sup>2</sup> (NO)
SALA 3 (APP)	52,15 m <sup>2</sup>	11,55 m <sup>2</sup> (NO)
SALA 4 (APP)	52,15 m <sup>2</sup>	11,55 m <sup>2</sup> (NO)
SALA 5 (APP)	32,5 m <sup>2</sup>	4,00 m <sup>2</sup> (NO) e 5,55 m <sup>2</sup> (SO)
CIRCULAÇÃO 1	73,53 m <sup>2</sup>	42,35m <sup>2</sup> (SE)
CIRCULAÇÃO 2	50,18 m <sup>2</sup>	4,75 m <sup>2</sup> (SE) e 4,48 m <sup>2</sup> (NE)
ESCADA	51,24 m <sup>2</sup>	4,41 m <sup>2</sup> (NO), 2,57 m <sup>2</sup> (NE) e 4,46 m <sup>2</sup> (SO)
BANHEIRO	37,5 m <sup>2</sup>	2,24 m <sup>2</sup> (SO)

Fonte: A autora (2022).

### 3.2 Os movimentos de pesquisa

Antes de detalhar os movimentos de pesquisa empreendidos, cabe destacar que cada um deles foi efetivado a fim de atingir um dos objetivos específicos da investigação. No que se refere ao objetivo *identificar as estratégias bioclimáticas presentes na edificação que se enquadram como úteis para a zona bioclimática em que a instituição está localizada*, o primeiro movimento consistiu em realizar uma visita técnica na escola. Durante essa visita, implementou-se as seguintes etapas: (i) observação de quais elementos da edificação poderiam ser enquadrados como estratégias bioclimáticas, (ii) anotação desses dados em um *check-list* contendo as estratégias bioclimáticas úteis para edificações localizadas na zona bioclimática 2 segundo a NBR 15220-3 e (iii) realização de registros fotográficos das estratégias identificadas, bem como da edificação.

Com relação aos objetivos específicos *classificar a envoltória examinada segundo o método de simulação da INI-C e avaliar a influência da implementação das estratégias bioclimáticas identificadas no tocante à eficiência energética*, o segundo e o terceiro movimentos de pesquisa consistiram em modelar e simular a edificação levando em consideração diferentes condições. Essas simulações foram desenvolvidas para contemplar os seguintes estados de desempenho energético da envoltória.

- (i) Desempenho energético do edifício real - levando em consideração as informações construtivas apresentadas nos Quadros 2 e 3 e as estratégias bioclimáticas;
- (ii) Desempenho do edifício de referência para tipologia escolar - levando em consideração os dados exigidos pela Tabela A.2 (Anexo A) da INI-C. No Quadro 4 são dispostas algumas características relevantes apresentadas nessa tabela;

Quadro 4 – Características consideradas para o edifício de referência

COMPONENTES CONSTRUTIVOS E SUAS CARACTERÍSTICAS – EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA		
Parede	$U_{par} = 2,39 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ $\alpha_{par} = 0,5$ $CT_{par} = 150 \text{ (kJ/m}^2\text{K)}$	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9cm), argamassa externa (2,5 cm)
Cobertura	$U_{cob} = 2,06 \text{ (W/m}^2\text{K)}$ $\alpha_{cob} = 0,8$ $CT_{cob} = 233 \text{ (kJ/m}^2\text{K)}$	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)
Vidro	$U_{vidro} = 5,7 \text{ W/m}^2\text{.K}$ Fator Solar = 0,82	Vidro simples incolor 6mm

Fonte: A autora (2022).

- (iii) Desempenho do edifício real sem as estratégias bioclimáticas.

Ao todo foram realizadas três simulações considerando o edifício real, o edifício de referência e o edifício sem as estratégias bioclimáticas de ventilação natural e de sombreamento. Isso porque, essas foram as estratégias identificadas na E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe. Vale ressaltar que a avaliação dos impactos das estratégias teve enfoque na carga térmica requerida para manter as temperaturas dentro da zona de conforto. Os valores de carga térmica total anual foram calculados a partir do somatório das cargas térmicas de refrigeração anual (CgT em kWh/ano), considerando todas as zonas térmicas condicionadas artificialmente.

No caso do segundo movimento de pesquisa, as condições levadas em consideração para realizar a simulação tiveram como foco a comparação de carga térmica de refrigeração do edifício real (i) com a do edifício de referência (ii). Para o desenvolvimento da geometria da edificação, bem como para a divisão e a caracterização das zonas térmicas, utilizou-se o software *SketchUp 2017* junto da extensão *Euclid 9.4.3*. Com isso, foi possível gerar as variáveis referentes às zonas térmicas, superfícies e aberturas a serem inseridas no software *EnergyPlus 9.4*.

Optou-se pelo uso do *EnergyPlus* por ele ser um programa gratuito de simulação de energia amplamente utilizado para modelagem de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. Ademais, sua escolha se deu posto que esse software possui uma alta gama de módulos que trabalham juntos para calcular a energia requerida no intuito de aquecer ou resfriar a edificação (VEIGA *et al.*, 2009). Além disso, o *EnergyPlus* atende todas as exigências requeridas pela INI-C para a simulação energética contidas em seu Anexo C.I.1. Cabe ressaltar que, no sentido de tornar os arquivos compatíveis, realizou-se a transposição das versões da extensão *Euclid* e do software *EnergyPlus*.

Para realizar a simulação no *EnergyPlus*, levou-se em consideração algumas informações referentes à entrada de variáveis (*inputs*) e à saída de variáveis (*outputs*). No que concerne aos tempos de referência, definiu-se *Timestep=6* e *Runperiod* de um ano letivo<sup>6</sup>. Os *SizingPeriod:DesignDays* foram escolhidos de acordo com as referências do arquivo climático utilizado. Esse arquivo foi o INMET 2018.epw para a cidade de Araranguá/SC, disponibilizado na INI-C<sup>7</sup>. A ocorrência de precipitação de chuva foi desprezada.

Com o intuito de modelar as superfícies relacionadas às zonas térmicas, utilizou-se o objeto *Building Surface:Detail*. Para as aberturas em geral, janelas e portas, considerou-se o objeto *Fenestration Surface:Detailed*. Já no tocante aos elementos de sombreamento, brises e proteções solares, empregou-se o objeto *Shading:Building:Detailed*.

Os materiais construtivos foram inseridos através dos objetos *Material*, *Material:AirGap* e *WindowMaterial:Glazing*. Nesses objetos detalhou-se os materiais construtivos que compõem o edifício e suas características térmicas para que pudessem ser configurados os componentes da edificação dentro do objeto *Construction*. Cumpre salientar que as propriedades térmicas incluídas em tais objetos foram retiradas da NBR 15220-2 (ABNT, 2005) e NBR 15575-1<sup>8</sup>(ABNT, 2013), no caso da edificação real, e da e INI-C, no caso da edificação de referência.

Para a modelagem dos usos de sistemas da edificação, como iluminação, equipamentos, ocupação, ventilação natural e condicionamento artificial de ar, utilizou-se o objeto *Schedule:Compact*. Por ser uma escola, considerou-se dias de semana e horário de funcionamento padrão da tipologia, das 9h às 17h. Além disso, a taxa metabólica foi escolhida

---

<sup>6</sup> Um ano letivo corresponde a 200 dias, segundo a Tabela A.2 da INI-C (INMETRO, 2021).

<sup>7</sup> Disponível em: <http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos>. Acesso em: 28 fev. 2022.

<sup>8</sup> Para esse processo foi considerada a Ementa NBR 15575-1 (ABNT, 2021).

de acordo com a revisão da NBR 16401-2 (ABNT, 2017), sendo de 80 W/m<sup>2</sup> para as atividades dos estudantes em sala de aula<sup>9</sup> e de 115 W/m<sup>2</sup> para a circulação.

Quanto às cargas internas, empregou-se os objetos *People*, *Lights* e *ElectricEquipment* para inserir os ganhos de calor correspondentes aos ocupantes, iluminação e equipamentos, respectivamente. Utilizou-se também a ferramenta *ZoneList* no intuito de separar as APP's das demais áreas.

No tocante à configuração da climatização artificial, empregou-se os objetos de cargas ideais, isto é, *HVACTemplate:Thermostat* e *HVACTemplate:Zone;IdealLoadsAirSystem*. Em tal processo, considerou-se temperatura de *setpoint* de 24°C, conforme exigência prescrita pela INI-C.

As trocas de ar entre a edificação e o meio foram modeladas utilizando o objeto *AirFlowNetwork*. A variável de controle adotada para a ventilação foi a temperatura interna, com gatilho de abertura total das janelas (considerando a tipologia das janelas de cada edificação) somente no horário de funcionamento e a partir de 18°C. As portas e similares foram programadas para permanecerem fechadas.

O padrão de abertura e operação das portas e janelas foi desenvolvido conforme características reais das esquadrias, modelado através do objeto *AirflowNetwork:Multizone:Component:DetailedOpening*. As aberturas foram diferenciadas entre basculantes de 1,40cm e de 0,80cm de altura e deslizantes. Para as duas primeiras, considerou-se o percentual de abertura de 70% e, para a outra, de 40%. As informações que se referem aos componentes necessários para o objeto *AirflowNetwork:Multizone:Component:DetailedOpening* foram obtidas tomando como referência o Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados (VEIGA *et al.*, 2020).

As principais variáveis de saída (outputs) de dados da simulação, utilizadas para a análise, foram *Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy* para carga térmica de refrigeração (avaliação com condicionamento artificial) e *Zone Operative Temperature* para encontrar a temperatura operativa (avaliação do percentual de horas em conforto térmico - PHOCT).

A partir dos dados horários de temperatura operativa, foi realizado o tratamento dessas informações excluindo todos os valores fora do intervalo de horas de funcionamento como instruído pela INI-C. Posteriormente, identificou-se quantas das horas restantes encontravam-

---

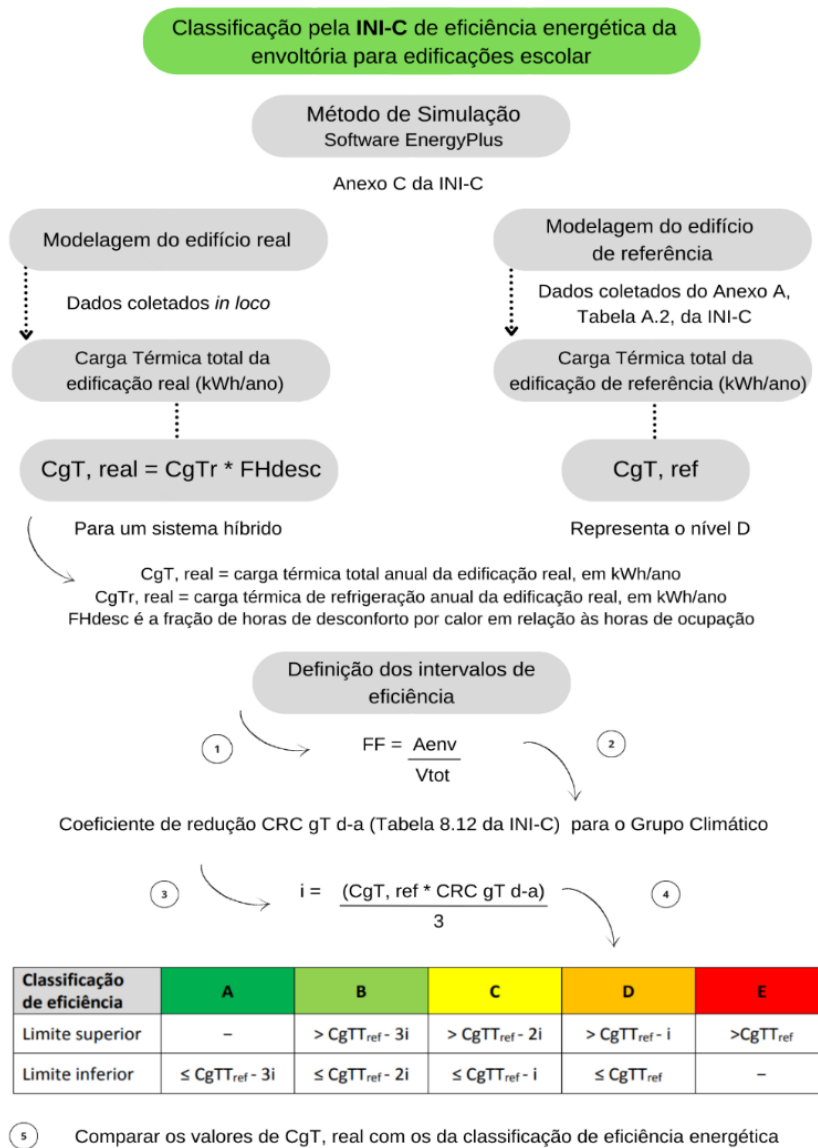
<sup>9</sup> Utilizou-se valores médios de atividades em escritórios para este caso devido à falta de uma categoria dedicada a instituições de ensino.



se com temperatura dentro da zona de conforto, considerada a faixa entre 18° e 24°C, que corresponde à zona de conforto da carta de Givoni para umidades relativas próximas de 80%, semelhante à média de Araranguá (INMET, 2016).

Após adquirir os resultados de saída para as situações estudadas, classificou-se a eficiência energética da envoltória de acordo com a INI-C. Esse processo foi realizado comparando as cargas térmicas da edificação real ( $CgT_{real}$ ) com as da edificação em sua condição de referência ( $CgT_{ref}$ ), equivalente à classificação de nível D (CB3E, 2017). Posteriormente, definiu-se as variáveis de relevância para a classificação, tais como: Fator de Forma (FF) e Grupo Climático (GC). A partir delas, calculou-se as variáveis de coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A ( $CRC_{gT\ d-a}$ ) e o coeficiente que representa os intervalos entre as classes (i). Por fim, para realizar a etiquetagem, comparou-se os valores do  $CgT_{real}$  com os valores de intervalos calculados a partir do coeficiente i. A Figura 9 ilustra o passo a passo do referido processo de classificação. Com isso, finalizou-se o segundo movimento de pesquisa.

Figura 9 - Passo a passo para a classificação da eficiência energética da envoltória para edificações escolar segundo a INI-C



Fonte: A autora (2022).

Cabe ressaltar que o edifício real possui um sistema híbrido, ou seja, há alternância entre o uso da ventilação natural e o do condicionamento artificial. Por isso, após a obtenção da  $CgT_{real}$  com sistema de climatização ativo ( $CgT_r$ ) foi realizada a simulação da edificação considerando a ventilação natural. Assim, foi possível encontrar a Fração de Horas em Desconforto ( $FH_{desc}$ ) que foi utilizada no cálculo da  $CgT_{real}$ , conforme equação mostrada na Figura 9.

$$CgT_{real} = CgT_r * FH_{desc}$$

Com o intuito de encontrar a  $FH_{desc}$  foram utilizadas as temperaturas operativas de cada zona térmica analisada, separando-se apenas as horas de funcionamento da edificação em que as temperaturas estiveram dentro da faixa de conforto. Desse modo, definiu-se PHOCT e, por conseguinte,  $FH_{desc}$ , uma vez que  $PHOCT = 100 - FH_{desc}$ .

No caso do terceiro movimento de pesquisa, as condições levadas em consideração para realizar a simulação tiveram como foco a comparação do edifício real com e sem as estratégias bioclimáticas de sombreamento e ventilação natural implementadas. Vale frisar que esse movimento de pesquisa é similar ao segundo, visto que, para efetivá-lo, foi usada praticamente a mesma metodologia, alterando apenas alguns dados de entrada (inputs) e a escolha dos objetos.

A primeira alteração foi realizada com o intuito de analisar a influência da estratégia bioclimática de sombreamento já existente na edificação. Assim, retirou-se todas as proteções solares da edificação real e realizou-se a simulação de carga térmica desse modelo. Então, classificou-se a nova edificação de acordo com o esquema da Figura 9. Já a segunda alteração foi efetivada com objetivo de entender a influência da ventilação natural na carga térmica da edificação uma vez que a ela possui um sistema híbrido. A partir disso, foi retirada a ventilação natural das simulações, restando apenas a carga térmica de resfriamento. Dessa forma, implementou-se a simulação resultando nos dados de carga térmica sem as estratégias que foram também classificados pelo método de etiquetagem.

Por fim, no que se refere ao objetivo *comparar os requisitos mínimos de desempenho térmico da envoltória com os das normas vigentes*, o quarto movimento de pesquisa consistiu justamente na comparação das informações construtivas da edificação real com os intervalos de requisitos mínimos recomendados pelas normas vigentes, como apresentado no Quadro 5. A partir disso, foi possível identificar se a envoltória possui desempenho térmico satisfatório ou não.

Quadro 5 - Requisitos mínimos de desempenho térmico segundo as normas vigentes

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U (W/m <sup>2</sup> .K) - PAREDES (U <sub>par</sub> ) E COBERTURA (U <sub>cob</sub> )		NORMA
Para zonas bioclimáticas 1 e 2	U <sub>par</sub> ≤ 2,7	NBR 15575-4 (2013a-2021)
	U <sub>cob</sub> ≤ 2,3	NBR 15575-5 (2013b-2021)
CAPACIDADE TÉRMICA CT (kJ/m <sup>2</sup> .K) - PAREDE (CT <sub>par</sub> )		NORMA
Para zonas bioclimáticas 1 a 7	CT ≥ 130	NBR 15575-5 (2013b-2021)
ABERTURAS PARA A VENTILAÇÃO A (%)		NORMA
Para zonas bioclimáticas 1 a 7	A ≥ 7%	NBR 15575-4 (2013a)

Fonte: A autora (2022).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir da metodologia implementada, bem como as discussões suscitadas por eles. Vale frisar que cada uma de suas partes corresponde a um dos objetivos específicos da pesquisa exposta neste artigo.

### 4.1 Estratégias bioclimáticas

No que se refere à identificação das estratégias bioclimáticas presentes na edificação úteis para a zona bioclimática 2, a partir da visita técnica, foram encontradas as estratégias apresentadas no Quadro 6 no ambiente representativo.

Quadro 6 - Estratégias bioclimáticas presentes no ambiente representativo da edificação

ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS		
TIPO	ESTRATÉGIA	LOCALIZAÇÃO
Ventilação Cruzada	Janelas intermediárias entre zonas adjacentes	Salas 1, 2, 3 e 4 (Figura 10a e 10b) Circulação 1 (Figura 11a e 11b)
Sombreamento nas aberturas	Brises verticais Proteção solar horizontal	Salas 1 à 4 (Figura 12a) Sala 5 (Figura 12b) Área externa (Figura 12a) <sup>10</sup>

Fonte: A autora (2022).

<sup>10</sup> Existe também a estratégia de vegetação, mas essa estratégia não foi analisada, pois sua presença no ambiente representativo é pequena.

Figura 10 - Estratégia de ventilação cruzada nas salas de aula



Fonte: A autora (2022).

Figura 11 - Estratégia de ventilação cruzada nas áreas de circulação



Fonte: A autora (2022).

Figura 12 - Estratégias de sombreamento nas aberturas



Fonte: A autora (2022).

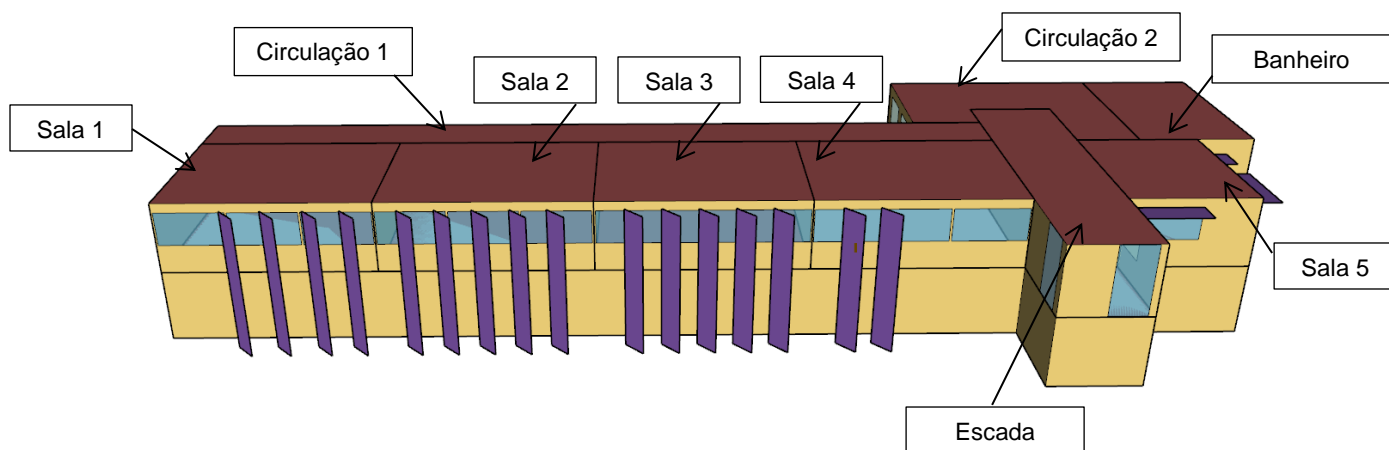
Após a identificação de estratégias que visam uma melhor integração entre o usuário e o clima, conforme recomendam Lamberts, Dutra e Pereira (2014), é importante buscar um meio de entender seus efeitos na edificação e em sua eficiência energética. Afinal, dessa forma, pode-se aproveitar ou, inclusive, evitar efeitos indesejáveis das variáveis climáticas. Levando isso em consideração, as próximas duas subseções apresentam os resultados da classificação da

edificação segundo o método de simulação da INI-C, a fim de compreender a eficiência da envoltória da instituição e a influência das estratégias bioclimáticas nela implementadas.

#### 4.2 Classificação da envoltória pelo método de simulação da INI-C

No tocante à classificação da envoltória da E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe, de acordo com a metodologia de simulação apresentada na INI-C, a realização da modelagem da edificação no software *SketchUp* junto à extensão *Euclid* resultou na divisão de zonas térmicas apresentadas na Figura 13.

Figura 13 - Divisão de zonas térmicas do ambiente de referência



Fonte: A autora (2022).

Conforme informado anteriormente, o ambiente representativo corresponde ao segundo andar do primeiro bloco e apresenta nove zonas térmicas. Contudo, como para o cálculo de carga térmica de resfriamento devem ser analisados somente os ambientes com climatização artificial, apenas a carga térmica dos ambientes condicionados (AC's) foi considerada na simulação. O Quadro 7 apresenta algumas das considerações realizadas para a carga térmica da envoltória.

Quadro 7 - Definição dos ambientes para a simulação

ZONAS TÉRMICAS	Sala 1, Sala 2, Sala 3, Sala 4, Sala 5, Circulação 1, Circulação 2, Escada, Banheiro
AC'S	Sala 1, Sala 2, Sala 3, Sala 4, Sala 5

Fonte: A autora (2022).

Os dados do *SketchUp* foram incluídos no *Energyplus* por meio de um arquivo .idf e, no editor, foram adicionadas configurações dos objetos escolhidos para cada uma das condições estudadas da edificação. A partir desse procedimento, foi feito o somatório da carga térmica a ser retirada das APP's para satisfazer o limite máximo de temperatura estipulado no termostato, isto é, de 24°C. Assim, para a edificação na condição de referência, foi obtido um valor de  $CgT_{ref} = 29.111,68$  kWh/ano.

O cálculo do Fator de Forma da edificação resultou em 0,52 e, como Araranguá encontra-se no Grupo Climático 6, a Tabela 8.12 da INI-C indicou o coeficiente de redução da carga térmica total anual da classificação D para a A de 0,19. Com esses valores, foi identificado o coeficiente  $i$  e calculados os intervalos para a classificação da eficiência energética, resultando no Quadro 8 em que  $CgT_{ref}$  é o valor de referência do limite inferior para a classificação D.

Quadro 8 - Intervalos para classificação energética da carga térmica (kwh/ano)

<b>Classificação da carga térmica</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Limite superior(>)	-	23580,46	25424,20	27267,94	29111,68
Limite Inferior(<=)	23580,46	25424,20	27267,94	29111,68	-

Fonte: A autora (2022).

A edificação real também teve sua carga térmica ( $CgT_{real}$ ) calculada pelo mesmo software, porém de acordo com suas configurações específicas. Por se tratar de uma edificação que mistura ventilação natural e condicionamento artificial, foram combinadas duas simulações para chegar ao resultado. A primeira simulação considerou a ventilação natural e o dado de saída analisado foi a temperatura operativa que resultou em uma fração de horas em desconforto por calor ( $FH_{desc}$ ) equivalente a 39%. Essa porcentagem foi utilizada para aproximar o valor da  $CgT_{real}$  a um sistema de ventilação híbrido, visto que as simulações desse tipo são complexas, a exemplo do que fez Souza (2019), Leite (2020) e Rodrigues (2020) em suas investigações.

$$CgT_{real} = CgT_r * FH_{desc} = 8.367,88 \text{ kWh/ano}$$

Dessa forma, foi possível determinar o número de horas em que seria necessário o acionamento do sistema de condicionamento artificial e aplicar essa variável sobre a carga térmica de refrigeração, resultando em um valor final de  $CgT_{real}$  de 8.367,88 kWh/ano. Devido

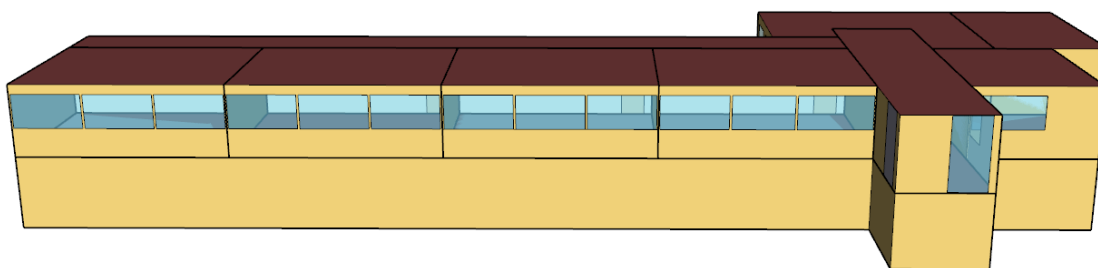
a isso, a carga térmica da edificação real é etiquetada como classe A, o que significa dizer que ela possui um sistema satisfatório em termos de desempenho termo energético.

Comparando-se as cargas térmicas obtidas pelas simulações foi observado um percentual de redução de carga térmica de 71,26% do edifício real em relação ao edifício de referência. Pelas análises realizadas, esse elevado percentual de redução se dá por dois principais motivos: exigência de utilização de diferentes materiais construtivos para o edifício que não se adequam tão bem às características climáticas da zona bioclimática 2 e existência estratégias bioclimáticas implementados na edificação real. Os efeitos dessas estratégias bioclimáticas e suas influências nos cálculos de carga térmica serão discutidos na próxima subseção.

### 4.3 Impactos das estratégias bioclimáticas na carga térmica

Para avaliar o impacto do sombreamento das aberturas na carga térmica foram retirados os elementos de sombreamento contidos na edificação real e realizada a simulação (Figura 14). Considerando o sistema de ventilação real, a carga térmica da edificação foi de 9.139,66 kWh/ano. Esse valor representa um aumento de 771,8 kWh/ano na edificação, isto é, uma carga térmica 9,22% maior do que a obtida com o sombreamento nas aberturas.

Figura 14 - Modelagem sem os elementos de sombreamento



Fonte: A autora (2022).

Vale ressaltar que o edifício de referência também não possui a estratégia de sombreamento, visto que, segundo a INI-C, os ângulos de sombreamento devem ser iguais a  $0^\circ$  para essa condição.

Em relação à estratégia de ventilação natural foram encontradas as maiores diferenças entre a carga térmica nas condições analisadas. Retirando-se a ventilação e modelando o edifício somente com o condicionamento de ar, pode-se observar um crescimento de 8.367,88

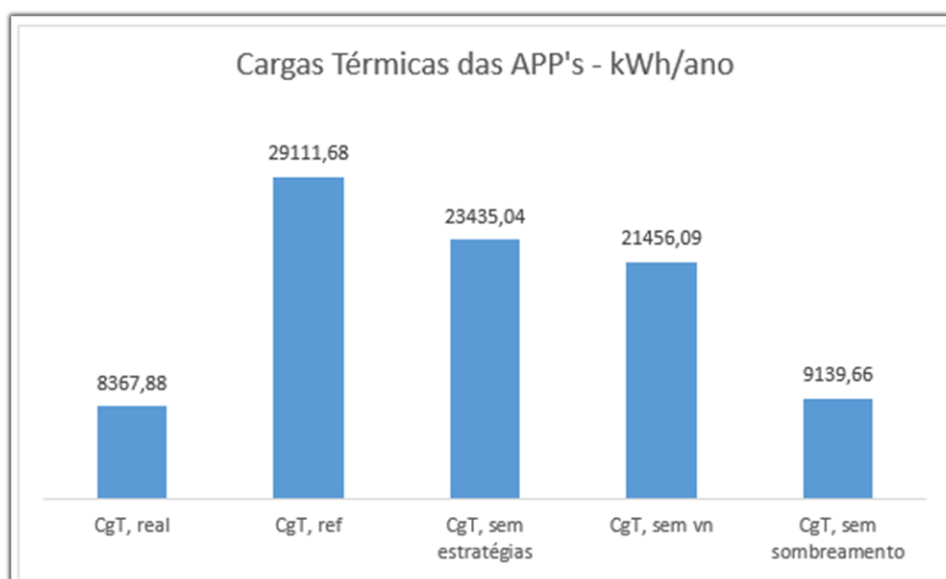


kWh/ano para 21.456,1 kWh/ano, o que representa um aumento de carga térmica de 156,41% em relação à edificação que possui a referida estratégia. Contudo, ainda que a carga térmica seja consideravelmente maior, a edificação permaneceria com a etiqueta classe A, pois o valor obtido para o edifício de referência é o responsável por fixar os intervalos.

Foi realizada, ainda, a simulação para o edifício modelado sem nenhuma das estratégias bioclimáticas. Isso resultou em um valor de carga térmica igual a 23.435,04 kWh/ano, que representa um aumento de 180,06% em relação à edificação real.

Frente ao exposto, na Figura 15 apresenta-se o resumo dos principais resultados de carga térmica para as diferentes condições de simulação realizadas.

Figura 15 - Resultados de carga térmica para as APP's



Fonte: A autora (2022).

A partir dos resultados de carga térmica nas condições analisadas para a edificação foi realizada a classificação desses valores de acordo com a INI-C. O resultado está apresentado no Quadro 9.

Quadro 9 - Classificação final da carga térmica da edificação pela INI-C

	CgT, real	CgT, sem sombreamento	CgT, sem ventilação	CgT, sem estratégias	CgT, ref
<b>Carga térmica total (kWh/ano)</b>	8367,88	9139,66	21456,09	23435,04	29111,68
<b>Etiquetagem</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe A</b>	<b>Classe A</b>	<b>Referência</b>

Fonte: A autora (2022).

Ainda que existam diferenças relevantes nos valores de carga térmica para cada condição, cumpre destacar que a etiquetagem para o desempenho termo energético da edificação permaneceu a mesma em todos os casos, qual seja: classe A.

#### 4.4 Desempenho térmico da envoltória

No que concerne à avaliação do desempenho térmico da edificação examinada, a análise das normas e das informações construtivas disponibilizadas pela equipe diretiva da E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe possibilitou a realização da comparação entre os requisitos mínimos de desempenho térmico da envoltória e o das normas vigentes.

Conforme citado anteriormente, segundo a NBR 15220-3, para garantir o desempenho térmico mínimo das edificações localizadas na zona bioclimática 2, as vedações externas devem ser leves para paredes e leves e isoladas para a cobertura da edificação, além disso, as aberturas devem ser médias. Para identificar se os componentes construtivos se encaixam nessas características, são definidos intervalos de avaliação. No Quadro 10 são apresentados os intervalos aceitos atualmente:

Quadro 10 - Requisitos para o nível de desempenho mínimo

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA $U$ ( $W/m^2.K$ ) - PAREDES ( $U_{par}$ ) E COBERTURA ( $U_{cob}$ )	
Para zonas bioclimáticas 1 e 2	$U_{par} \leq 2,7^{11}$
	$U_{cob} \leq 2,3$
CAPACIDADE TÉRMICA $CT$ ( $kJ/m^2.K$ ) - PAREDE ( $CT_{par}$ )	
Para zonas bioclimáticas 1 a 7	$CT \geq 130$
ABERTURAS PARA A VENTILAÇÃO $A$ (%)	
Para zonas bioclimáticas 1 a 7	$A^{12} \geq 7\%$

Fonte: ABNT (2013a); ABNT (2013b).

Como é possível observar nas informações construtivas do ambiente representativo da instituição de ensino, as paredes possuem transmitância térmica ( $U_{par}$ ) igual a  $2,13 W/m^2K$  e capacidade térmica de  $155 kJ/m^2K$ . Portanto, a atual configuração dos componentes da parede é

<sup>11</sup> O valor de  $U_{par}$  passou por uma alteração no texto revisado da NBR 15575-4 (ABNT, 2021) de  $2,5 W/m^2K$  para  $2,7 W/m^2K$ .

<sup>12</sup>  $A = 100 \times (A_A/A_P)$  (%) em que  $A_A$  = área efetiva de abertura de ventilação do ambiente e  $A_P$  = área do piso do ambiente.

satisfatória para o atendimento dos requisitos mínimos de desempenho térmico apresentados na NBR 15575-4, que atualizou os intervalos de avaliação presentes na NBR 15220-3.

Além das paredes, também são passíveis de avaliação pela NBR 15575-4 o requisito de abertura para ventilação, como apresentado no Quadro 10. Para avaliar tal requisito foram calculadas as áreas de abertura de ventilação e comparadas com os intervalos recomendados pelas normas vigentes. Os resultados dessa avaliação encontram-se no Quadro 11 e mostram que a ventilação está dentro dos critérios exigidos para as APP's.

Quadro 11 - Área de abertura para ventilação das APP's

APP	A(%)	Está de acordo com a norma?
SALAS 1 a 4	18%	Sim
SALA 5	30%	Sim

Fonte: A autora (2022).

Em relação à cobertura, a referência utilizada é a NBR 15575-5. Segundo essa norma, a cobertura para zona bioclimática 2 deve ser leve e isolada, devendo, portanto, estar dentro do intervalo de  $U_{cob} \leq 2,3$ . Como é possível observar no Quadro 2, esse requisito mínimo também é respeitado, pois  $U_{cob} = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

O resumo dos resultados referentes a esse último movimento de pesquisa é apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - Resumo da avaliação dos requisitos mínimos para o desempenho térmico da envoltória

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA U (W/m <sup>2</sup> .K) - PAREDES (U <sub>par</sub> ) E COBERTURA (U <sub>cob</sub> )			NORMA	De acordo?
	Intervalo	Edificação real		
Para zonas bioclimáticas 1 e 2	$U_{par} \leq 2,7$	$U_{par} = 2,13$	NBR 15575-4 (2013a-2021)	Sim
	$U_{cob} \leq 2,3$	$U_{cob} = 1,4$	NBR 15575-5 (2013b-2021)	Sim
CAPACIDADE TÉRMICA CT (kJ/m <sup>2</sup> .K) - PAREDE (CT <sub>par</sub> )			NORMA	
Para zonas bioclimáticas 1 a 7	$CT \geq 130$	$CT_{par} = 155$	NBR 15575-5 (2013b-2021)	Sim
ABERTURAS PARA A VENTILAÇÃO A (%)			NORMA	
Para zonas bioclimáticas 1 a 7	$A \geq 7\%$	Salas 1 a 4 A=18% Sala 5 A=30%	NBR 15575-4 (2013a)	Sim

Fonte: A autora (2022).

Tendo apresentado os resultados e suas respectivas análises, na próxima seção são expostas as considerações finais da pesquisa, bem como sugestões para trabalhos futuros na área suscitados por ela.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O objetivo geral da pesquisa apresentada neste artigo foi analisar os impactos da utilização de estratégias bioclimáticas no desempenho termo energético de uma instituição escolar localizada em Araranguá, Santa Catarina. Para atingi-lo, foram implementados quatro movimentos de pesquisa que contemplaram cada um dos objetivos específicos.

A partir do primeiro movimento de pesquisa, realizado através de visita técnica à E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe, identificou-se a existência de duas estratégias bioclimáticas presentes na edificação úteis para a zona bioclimática 2: ventilação natural e sombreamento nas aberturas. Essas estratégias se encontram implementadas em diversos pontos da instituição, em especial no segundo pavimento do primeiro bloco, local escolhido como ambiente representativo.

Com o segundo movimento de pesquisa, efetivado através de modelagem e simulação da edificação na condição real (ventilação híbrida e sombreamento) e de referência, foi possível classificar os valores de carga térmica de acordo com o método de simulação presente na INI-C. Os dados analisados através da simulação resultaram em valores de carga térmica para a condição real de 8.367,88 kWh/ano e de 29.111,68 kWh/ano para a condição de referência, o que representou uma redução de 71,26% na carga térmica. Então, comparando-se os valores da edificação real com os da de referência, que representa a etiqueta D, obteve-se a etiqueta de classe A.

Por meio do terceiro movimento de pesquisa, realizado através da mesma metodologia do movimento anterior, porém considerando a edificação sem as estratégias bioclimáticas identificadas, foi possível entender a influência individual dessas estratégias na edificação. A partir da simulação foram obtidos aumentos de 771,8 kWh/ano, ao se desconsiderar a estratégia de sombreamento, e de 13.088,22 kWh/ano, ao se excluir a ventilação natural, em relação à edificação real. Retirando-se ambas as estratégias, o aumento foi ainda maior, representando 15.067,16 kWh/ano. Vale chamar a atenção para o fato de que a desconsideração da estratégia de sombreamento não foi muito influente no aumento dos valores de carga térmica. Entretanto, ao se retirar a estratégia de ventilação natural houve uma elevação significativa nos valores.

Ademais, é importante destacar que, mesmo com aumentos como esses, todas as condições avaliadas para a edificação seriam etiquetadas como classe A, com exceção da edificação de referência que representa a classe D.

Com base no quarto movimento de pesquisa, implementado através da comparação dos requisitos mínimos de desempenho térmico da envoltória e o das normas vigentes, identificou-se que o ambiente representativo possui desempenho satisfatório para o atendimento dos requisitos mínimos dispostos nas normas.

Frente ao exposto, conclui-se que a implementação de estratégias bioclimáticas pode contribuir para atingir o conforto térmico e ainda auxiliar na redução do consumo com condicionamento artificial. Desse modo, sua inserção mostra-se uma boa forma de impactar os níveis de eficiência energética dos sistemas da envoltória. Isso é relevante para se repensar o atual modelo energético em um setor com significativo consumo como o de edificações, buscando torná-lo mais sustentável. Afinal, assim se contribuiria para a redução da demanda de energia elétrica sem prejudicar o conforto térmico dos usuários, algo importante especialmente no caso das instituições escolares. Até porque, elas são espaços que devem prezar pelo conforto dos usuários, pois isso é de grande importância para o desenvolvimento de atividades voltadas ao processo de ensino e aprendizagem. Conclui-se, também, que a etiquetagem de edificações é uma ferramenta satisfatória para a análise dos sistemas da edificação, uma vez que há a possibilidade de comparação entre diferentes condições de forma dinâmica. Portanto, seria interessante que a obrigatoriedade desse tipo de classificação fosse ampliada para todas as edificações escolares, independente da esfera a qual estão vinculadas.

Por fim, destaca-se algumas limitações encontradas durante a realização da pesquisa que deu origem a este artigo e possibilidades de estudos futuros suscitados por ela. Com relação às limitações, uma delas foi a dificuldade de encontrar bases de dados e requisitos de desempenho com foco em instituições escolares. Logo, para a análise realizada, por diversas vezes, foi necessário buscar parâmetros de referência em normativas voltadas para habitações. Outra limitação foi a necessidade de simplificações na pesquisa devido à complexidade de modelagem dos parâmetros necessários para algumas análises, como no caso da ventilação híbrida.

No tocante aos estudos futuros, um deles poderia dedicar-se a propor e testar, por meio de simulação, aprimoramentos na envoltória da edificação da E.E.B. Profa. Isabel Flores Hübbe, principalmente no que se refere a estratégias bioclimáticas voltadas ao aumento do conforto térmico durante os períodos frios. Isso porque, existe um percentual significativo de horas em desconforto por frio na cidade de Araranguá. Outra possibilidade para estudos

posteriores seria analisar o desempenho térmico dos ambientes com ventilação híbrida utilizando a função Energy Management System (EMS), posto que os valores obtidos com a simplificação do sistema de ventilação híbrida destacaram o potencial dessa estratégia. Além disso, para aproximar ainda mais os dados da condição real da edificação para etiquetagem, outra oportunidade de investigação seria realizar a classificação da eficiência energética geral levando em consideração os demais sistemas que compõem a instituição de ensino como instrui a INI-C.

## REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: **Desempenho térmico de edificações**. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações**. Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: **Desempenho térmico de edificações**. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: **Edificações Habitacionais - Desempenho**. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro, 2013a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5: **Edificações Habitacionais - Desempenho**. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013b.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2: **Instalações de condicionamento de ar - Sistemas centrais e unitários** Parte 2: Parâmetros de conforto térmico.

ASHRAE. **Handbook of Fundamentals**. New York: 2005.

ALLARD, F. (Ed.). Natural ventilation in building: a design handbook. **London**: James & James, 1998.

BELTRAME, M. B.; MOURA, G. R. S. **Edificações escolares**: infra-estrutura necessária ao processo de ensino e aprendizagem escolar. São Paulo, 2009.

CB3E. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. **Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações**

**comerciais, de serviços e públicas.** Florianópolis, 2017. Disponível em: [https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo\\_todo\\_texto%20completo\\_comercial\\_2.pdf](https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Nova%20proposta%20de%20m%C3%A9todo_todo_texto%20completo_comercial_2.pdf). Acesso em: 12 mar. 2022.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **ATLAS DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.** 2020. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao556/Atlas%20consolidado\\_08\\_03\\_2021.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao556/Atlas%20consolidado_08_03_2021.pdf). Acesso em: 05 mar. 2022.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **EPE/DEA/SEE/007/2020: AÇÕES PARA PROMOÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NAS EDIFICAÇÕES BRASILEIRAS.** Rio de Janeiro, 2020. 66 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria n° 42**, de 24 de fevereiro de 2021. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) Normat. Rio de Janeiro, 2021.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LAMBERTS, R; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3. ed. Revisada. São Paulo: Ed. Pro Livros, 2014.

LEITE, E. F. W. **A INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO E DO SOMBREAMENTO DE ABERTURAS NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES DA ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL DE JOINVILLE/SC.** 2020. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2020. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cct/id\\_cpmenu/706/2020\\_11\\_25\\_Ellen\\_Fl\\_via\\_Weis\\_Leite\\_16172002152619\\_706.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/2020_11_25_Ellen_Fl_via_Weis_Leite_16172002152619_706.pdf). Acesso em: 05 mar. 2022.

MANZANO-AGUGLIARO, F.; MONTOYA, F.G.; SABIO-ORTEGA, A.; GARCIA CRUZ, A. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v.49, p.736-755, mai. 2015.

MISSOUM, M. *et al.* Impact of a grid-connected PV system application in a bioclimatic house toward the zero energy status in the north of Algeria. **Energy and Buildings**, v. 128, p. 370–383, 2016.

RODRIGUES, G. M. **ANÁLISE DE METODOLOGIAS PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES PÚBLICAS.** 2020. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/36626>. Acesso em: 12 mar. 2022.

RUPP, R. F.; VÁSQUEZ, N. G.; LAMBERTS, R. A review of human thermal comfort in the built environment. **Energy and Buildings**, v. 105, p. 178–205, out. 2015.

SOUZA, L. S. **ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA DAS UNIDADES BÁSICAS DE SAÚDE DE JOINVILLE POR MEIO DA ETIQUETAGEM BRASILEIRA**. 2019. 132 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2019. Disponível em:

[https://www.udesc.br/arquivos/cct/id\\_cpmenu/706/2019\\_12\\_11\\_Layane\\_Santos\\_de\\_Souza\\_15948256847998\\_706.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/2019_12_11_Layane_Santos_de_Souza_15948256847998_706.pdf). Acesso em: 05 mar. 2022.

THOMÉ, C. P. S. **A IMPORTÂNCIA DO CONFORTO TÉRMICO, ACÚSTICO E VISUAL PARA O APRENDIZADO EM UMA SALA DE AULA**. 2011. 92 f. Monografia (Especialização) - Curso de Docência do Ensino Superior, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/887/1/Caroline%20Pr%c3%a1%20da%20Silva%20Thom%c3%a9.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2022.

TONDO, G. H. **INFLUÊNCIA DAS ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS NO DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS ESCOLARES**. 2017. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: [https://www.udesc.br/arquivos/cct/id\\_cpmenu/706/gabriela\\_hanna\\_tondo\\_15160433651681\\_706.pdf](https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/706/gabriela_hanna_tondo_15160433651681_706.pdf). Acesso em: 05 mar. 2022.

VEIGA, R. K. *et al.* **MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO PROGRAMA ENERGYPLUS – Versão 9.0.1**. 2020. 38 f. - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios\\_pesquisa/Manual\\_VentNatural\\_E%2Bversao9.1\\_0.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_VentNatural_E%2Bversao9.1_0.pdf). Acesso em: 05 mar. 2022.

VIANA, S. S. M. **CONFORTO TÉRMICO NAS ESCOLAS ESTADUAIS DE PRESIDENTE PRUDENTE/SP**. 2013. 216 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2013. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/105092>. Acesso em: 05 mar. 2022.

WARGOCKI, P. *et al.* The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on performance of school work by children. proceedings of indoor air i, **HVAC&R RESEARCH** v. 13, p. 368-72, 2006.