

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC**

FERNANDA LUIZA FRANCO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA
ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA
CATARINA – IFSC.**

**JOINVILLE
2023**

FERNANDA LUIZA FRANCO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA
ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA
CATARINA – IFSC.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Mirthes Hackenberg.

**JOINVILLE
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Franco, Fernanda Luiza
Análise do desempenho térmico e eficiência energética da
envoltória de edificações do Instituto Federal de Santa
Catarina ? IFSC. / Fernanda Luiza Franco. -- 2023.
98 p.

Orientadora: Ana Mirthes Hackenberg
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2023.

1. Eficiência energética. . 2. Desempenho térmico. . 3.
Arquitetura bioclimática. . I. Hackenberg, Ana Mirthes . II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

FERNANDA LUIZA FRANCO

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA
ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÕES DO INSTITUTO FEDERAL DE SANTA
CATARINA – IFSC.**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós – Graduação em Engenharia Civil, da
Universidade do Estado de Santa Catarina,
como requisito para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Mirthes
Hackenberg.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Ana Mirthes Hackenberg
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membros:

Dr. Américo Hiroyuki Hara
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Dr. Matheus Soares Geraldi
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Joinville, 27 de julho de 2023.

Dedico este trabalho a minha família, em especial ao meu namorado, que me apoiou e incentivou em todos os momentos.
Obrigada.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que estiveram presentes e contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus familiares, por me apoiarem em minhas decisões e principalmente ao meu namorado, que esteve ao meu lado, me incentivando e apoiando para que esta conquista se tornasse real.

Aos meus colegas do mestrado que compartilharam seu conhecimento e trajetória durante o período do curso.

A minha orientadora por todo conhecimento e diretrizes transmitidas para a elaboração da dissertação. Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UDESC (PPGEC), por todas as disciplinas ministradas e conhecimento transmitido, suas contribuições foram fundamentais. Aos professores membros da banca examinadora, Américo e Matheus pelas contribuições tão importantes a este trabalho.

Agradeço ao Instituto Federal de Santa Catarina por todos os dados fornecidos.

Agradeço ao programa UNIEDU/FUMDES pós-graduação pela concessão de bolsa de estudo.

RESUMO

O desempenho térmico das edificações interfere no comportamento das pessoas que utilizam o ambiente, com influência em sua produtividade, concentração e saúde, como no caso das escolas, que podem afetar na qualidade da aprendizagem dos estudantes. Este estudo tem como finalidade, realizar a análise do desempenho térmico e eficiência energética da envoltória de edificações do Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC, conforme as diretrizes da NBR 15220/05 - Desempenho Térmico de Edificações e da Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C. Através dos projetos arquitetônicos foram identificadas as construções semelhantes entre os câmpus do IFSC, com a obtenção de dados das características dos edifícios realizada por meio dos projetos técnicos e dos memoriais descritivos. A análise do desempenho térmico e da eficiência energética foi efetuada através do método simplificado e de simulação computacional da INI-C, de modo a determinar a classificação da etiquetagem de cada edificação, conforme o Procel EDIFICA e foram apresentadas melhorias para o alcance da etiqueta “A” com a utilização de estratégias da arquitetura bioclimática em cada edificação que não obteve este nível em sua construção real. Por fim, foi verificado se um mesmo projeto pode ser aplicado em municípios com zoneamento bioclimático distinto e obter a mesma qualidade térmica.

Palavras-chave: Eficiência energética. Desempenho térmico. Arquitetura bioclimática. INI-C.

ABSTRACT

The thermal performance of buildings interferes in the behavior of people who use the environment, influencing their productivity, concentration and health, as in the case of schools, which can affect the quality of student learning. Therefore, this study has as objective to analyze the thermal performance and energy efficiency of the building envelope of the Federal Institute of Santa Catarina - IFSC, according to the guidelines of NBR 15220/05 - Thermal Performance of Buildings and the Normative Instruction Inmetro for Classification of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings - INI-C. Through the architectural projects, similar constructions were identified between the IFSC campuses, with data obtained from the characteristics of the buildings carried out through the technical projects and descriptive memorials. The analysis of thermal performance and energy efficiency was carried out using the simplified method and computational simulation of INI-C, in order to determine the labeling classification of each building, according to Procel EDIFICA and improvements were developed to achieve the label "A" with the use of bioclimatic architecture strategies in each building that did not obtain this level in its actual construction. Finally, it was verified whether the same project can be applied in municipalities with different bioclimatic zoning and obtain the same thermal quality.

Keywords: Energy efficiency. Thermal performance. Bioclimatic architecture. INI-C.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	17
Figura 02 - Câmpus do IFSC.....	23
Figura 03 - Organograma da pesquisa.....	25
Figura 04 – Localização do Bloco VI no IFSC Câmpus Joinville	27
Figura 05 – Plantas baixas dos Blocos V e VI.....	27
Figura 06 – Câmpus Jaraguá do Sul.....	28
Figura 07 – Câmpus Xanxerê.....	28
Figura 08 – Definição dos ambientes	29
Figura 09 – Propriedades térmicas paredes.....	30
Figura 10 – Propriedades térmicas da cobertura.	32
Figura 11 – Máscaras de sombra.....	35
Figura 12 – Valores de referência para edificações educacionais.	39
Figura 13 – Zonas térmicas.....	42
Figura 14 – Modelagem método de simulação.....	49
Figura 15 – Comparativo de carga térmica total anual da edificação - Real.....	54
Figura 16 – Comparativo de carga térmica total anual da edificação entre os métodos e seus arquivos climáticos.....	61
Figura 17 – Máscaras de sombra – Com elemento de sombreamento.....	64
Figura 18 – Proposta de brise.	65
Figura 19 – Percentual de redução de carga térmica.....	69
Figura 20 – Modelagem método de simulação com brises horizontais.	70
Figura 21 – Posição da edificação - Norte.....	73
Figura 22 – Posição da edificação - Sul.	75
Figura 23 – Posição da edificação - Leste.....	76
Figura 24 – Posição da edificação - Oeste.....	78
Figura 25 – Comparativo de orientações solares.	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Comparativo de fluxos de calor	32
Quadro 02 – Cálculo de ventilação.....	33
Quadro 03 – Câmpus do IFSC e seu respectivo zoneamento bioclimático.....	36
Quadro 04 – Limites dos dados de entrada atendidos pelo método simplificado INI-C.	38
Quadro 05 – Limites dos intervalos das classificações	41
de eficiência energética da envoltória – Portaria 309/2022.....	41
Quadro 07 – Zoneamentos bioclimáticos e seus respectivos grupos climáticos	45
Quadro 08 – Limites dos intervalos das classificações	46
de eficiência energética da envoltória – Portaria 42/2021.....	46
Quadro 09 – Arquivos climáticos para o método de simulação.....	48
Quadro 10 – Dados da modelagem no EnergyPlus	50
Quadro 11 – Classificação de eficiência energética da envoltória	52
– Método Simplificado.....	52
Quadro 12 – Comparação entre a Portaria 309/2022 e a Portaria 42/2021.....	53
Quadro 13 – Classificação de eficiência energética da envoltória	55
– Método de Simulação.....	55
Quadro 14 – Comparativo entre método simplificado e método de simulação.....	57
Quadro 15 – Comparativo entre métodos de análise, conforme arquivos climáticos do método simplificado.....	59
Quadro 16 – Comparativo entre arquivos climáticos no método de simulação.....	60
Quadro 17 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de sombreamento.....	66
Quadro 18 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de troca de telha.....	67
Quadro 19 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de sombreamento	68
e troca de telha.....	68
Quadro 20 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de sombreamento.....	71
Quadro 21 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de troca de telha.....	72
Quadro 22 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Norte	74
Quadro 23 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Sul	76
Quadro 24 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Leste	77

Quadro 25 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Oeste.....	79
Quadro 26 – Indicações de orientações solares.	81

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo Geral.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	16
2.1 NORMAS BRASILEIRAS REGULAMENTADORAS DE DESEMPENHO TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES	16
2.2 REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES	18
2.3 INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO.....	19
2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS.....	20
2.5 ESTRUTURAÇÃO DO IFSC	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 DEFINIÇÃO DO PROJETO	26
3.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO.....	29
3.2.1 Propriedades térmicas dos materiais da envoltória	30
3.2.2 Ventilação	33
3.2.3 Insolação.....	34
3.3 ARQUIVOS CLIMÁTICOS	35
3.3.1 Recomendações para os zoneamentos bioclimáticos	36
3.4 INI-C	37
3.4.1 Método Simplificado	41
3.4.2 Comparativo entre a Portarias	44
3.4.2.1 Cálculos para classificação, conforme grupos climáticos	45
3.4.3 Método de Simulação	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
4.1 MÉTODO SIMPLIFICADO.....	51
4.1.1 Comparativo entre a Portarias	52
4.2 MÉTODO DE SIMULAÇÃO	54
4.3 COMPATIVO ENTRE MÉTODOS	56
5 PROPOSTAS DE MELHORIAS NA ENVOLTÓRIA	63
5.1 SOMBREAMENTO.....	63

5.2 MÉTODO SIMPLIFICADO.....	66
5.2.1 Brises horizontais	66
5.2.2 Telha metálica.....	67
5.2.3 Análise conjunta de brise horizontal e telha métalica	68
5.3 MÉTODO DE SIMULAÇÃO.....	69
5.3.1 Brises horizontais	69
5.3.2 Telha metálica.....	71
5.3.3 Orientações solares	73
5.3.3.1 Norte	73
5.3.3.2 Sul.....	74
5.3.3.3 Leste	76
5.3.3.4 Oeste	78
5.3.3.5 Comparativo de orientações solares.....	79
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	86
REFERÊNCIAS	87
APÊNDICES	91

1 INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica apresenta crescente aumento em sua demanda. De acordo com Grunberg (2014), isto se deve, parcialmente, a ampliação do poder aquisitivo da população, o que resulta na obtenção de maior quantidade de bens de consumo, que visam atingir mais conforto em seus ambientes, como é o caso dos condicionadores de ar. Consequentemente, o aumento da demanda de energia, traz a necessidade da expansão da rede de fornecimento, ou seja, gera mais gastos ao setor público e ocasiona grandes impactos ao meio ambiente.

Entre os setores da sociedade que mais utiliza energia elétrica, pode-se destacar o industrial. Porém, segundo Lamberts et al. (2014), este setor faz o uso de energia, em maior parte, para funcionamento de máquinas e motores, o que limita as possibilidades de soluções para redução do consumo de energia. Por outro lado, o setor residencial, comercial e público permite o uso de estratégias arquitetônicas para aumentar a eficiência energética das edificações, de forma viável. As escolas apresentam a maior responsabilidade social entre os setores, pois abrange várias classes sociais, compreendendo os estudantes e as suas famílias. Com isso, o desempenho energético deste tipo de edificação se torna de grande significado para o bem coletivo (PEREIRA et al., 2014, apud TONDO, 2017, p. 29).

Estudos referentes a sustentabilidade e a eficiência energética das edificações tem adquirido notoriedade para reduzir o consumo de recursos, advindos do uso de energia elétrica e passam a utilizar soluções arquitetônicas. Como cita Grunberg (2014), por meio de estratégias da arquitetura bioclimática aplicadas em edificações do Brasil, de acordo com cada clima, foi comprovado a melhora do desempenho térmico. Assim, tendo como objetivo desenvolver as diretrizes para racionalizar o consumo de energia nas edificações brasileiras, foi criado no ano de 2003 o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL Edifica (PROCEL EDIFICA, 2020) e elaborada a Etiqueta PBE Edifica integrante do Programa Brasileiro de Etiquetagem, a qual classifica as edificações, de acordo com seu nível de eficiência energética, sendo considerados os quesitos de envoltória, sistema de iluminação e condicionamento de ar, alcançando a etiqueta “A” as edificações com alta eficiência energética e a etiqueta “E” as edificações com baixo nível de eficiência.

O presente estudo tem como finalidade, realizar a análise do desempenho térmico e eficiência energética da envoltória das edificações do Instituto Federal de

Santa Catarina - IFSC. Foram identificadas as edificações existentes nos câmpus de diferentes municípios do estado que utilizaram o mesmo projeto de salas de aula e quais alterações podem ser propostas para adaptar um mesmo projeto em cidades com zoneamento bioclimático distinto para o alcance da etiqueta A do Procel Edifica, conforme as diretrizes da NBR 15220/05 - Desempenho Térmico de Edificações e a Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas - INI-C, tendo como variáveis da pesquisa o zoneamento bioclimático de cada município, a orientação solar e as propriedades térmicas dos materiais construtivos.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa são determinados como geral e específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar o nível de eficiência energética da envoltória de edificação da área educacional para adequá-lo à zoneamentos bioclimáticos distintos no estado de Santa Catarina.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- a)** Identificar os blocos de salas de aula que utilizaram o mesmo projeto arquitetônico nos câmpus do IFSC, para avaliação de desempenho térmico;
- b)** Determinar a qualidade da eficiência energética das edificações, por meio do método prescritivo e método de simulação;
- c)** Determinar a classe de etiquetagem adquirido com o projeto;
- d)** Propor melhorias em sombreamento, cobertura e posicionamento da edificação que permitam a otimização do desempenho térmico e eficiência energética para obtenção da etiqueta “A” do PROCEL Edifica.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são discutidas as normas e regulamentações brasileiras para realizar a análise do desempenho térmico de edificações para identificação dos métodos de avaliação a serem utilizados no presente estudo, além de, apresentar a relação do desempenho térmico e eficiência energética em edificações educacionais e a estruturação do IFSC, objeto de análise da pesquisa.

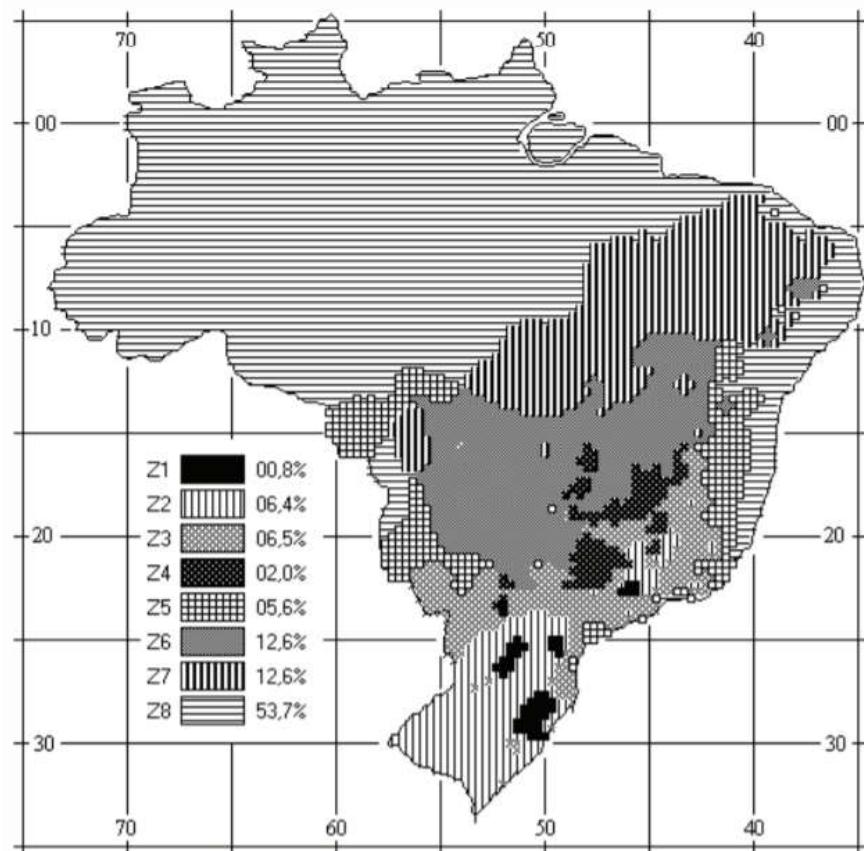
2.1 NORMAS BRASILEIRAS REGULAMENTADORAS DE DESEMPENHOS TÉRMICO EM EDIFICAÇÕES

No Brasil, uma das principais entidades regulamentadoras é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que elabora diversas normas regulamentadoras. Uma das áreas que apresenta parâmetros e regras a serem seguidas é o desempenho de edificações. Algumas normas que se destacam são a NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575 – Desempenho de Edificações Habitacionais (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

As normas regulamentadoras apresentam maiores diretrizes para as habitações, mas que podem ser adaptadas a qualquer edificação. Desta forma, a NBR 15220 (ABNT, 2005) conta com um zoneamento bioclimático brasileiro, conforme apresenta a Figura 01, o qual divide o país em oito zonas bioclimáticas distintas, definidas por meio das médias mensais de temperaturas máximas, médias e mínimas e a umidade do ar.

Com o objetivo de oferecer temperaturas confortáveis no interior de edificações as NBRs fornecem valores apropriados de desempenho térmico dos materiais para vedação e cobertura a serem utilizados nas construções, conforme o zoneamento bioclimático brasileiro. Entre os fatores mais determinantes para o desempenho térmico da edificação está a envoltória, caracterizada pelas propriedades térmicas dos materiais que a compõem, conforme apresentados nas NBRs (ABNT, 2005).

Figura 01 - Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Muitos estudos científicos e acadêmicos estão em curso para revisar o zoneamento bioclimático brasileiro. Esse zoneamento foi originalmente criado com base em dados de cerca de 300 municípios, utilizando a técnica de interpolação para estender os resultados para o restante do país (RORIZ, 2012). Dada a diversidade climática do Brasil, é necessário revisar esse zoneamento. De acordo com Bogo (2016), a principal limitação do zoneamento atual é a falta de parâmetros relacionados ao controle da insolação direta e à capacidade térmica das coberturas, o que compromete o conforto e o desempenho térmico das edificações.

Roriz (2012) propôs uma redefinição do zoneamento bioclimático brasileiro para melhor atender à diversidade de climas do país. Com esse objetivo, ele elaborou a Classificação de Climas do Brasil, apresentada em 2012, mas, não está em vigor. Essa nova classificação expandiu o zoneamento para 24 zonas climáticas, denominadas grupos climáticos. Roriz utilizou dados climáticos do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia para a elaboração dessa classificação. A proposta de Roriz representa uma importante atualização do zoneamento bioclimático brasileiro,

permitindo uma melhor adequação dos projetos de edificações às características climáticas regionais.

Estudos na área de conforto e desempenho térmico continuam em desenvolvimento, visando aprimorar as diretrizes de análise existentes. Nesse sentido, destaca-se as análises realizadas para utilização do método proposto por Roriz como base para a inserção de dados climáticos da Instrução Normativa Inmetro (INI-C). Esse método pode fornecer informações mais precisas e atualizadas sobre as condições climáticas locais, o que é fundamental para o projeto de edificações com alto desempenho térmico e conforto ambiental.

2.2 REGULAMENTO TÉCNICO DE QUALIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES

Em 2003, a Eletrobrás desenvolveu o Programa Procel Edifica com o intuito de ser aplicado em conjunto com as normas brasileiras para medir e qualificar o desempenho energético das edificações e em 2009, publicou a primeira versão do Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) com origem ao PBE Edifica, ou seja, ao sistema de etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações (ELETROBRÁS/PROCEL; INMETRO; CB3E, 2014).

Conforme mencionado por Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o governo federal estabeleceu medidas para mensurar o desempenho térmico de edificações. Essas medidas incluem a elaboração do RTQ-R para edificações residenciais e do RTQ-C para edificações comerciais, de serviços e públicas, com o objetivo de abranger todos os tipos de construções. Esta iniciativa do governo federal visa promover a eficiência energética nas edificações, reduzindo o consumo de energia e os impactos ambientais associados à construção civil.

A elaboração do RTQ seguiu as diretrizes de desempenho e características climáticas do zoneamento bioclimático brasileiro, conforme estabelecido pela NBR 15220 da ABNT (2005). No caso do RTQ-C, os critérios para a determinação da etiquetagem são divididos em três sistemas: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. As etiquetas podem ser aplicadas à edificação como um todo ou a partes específicas, dependendo do sistema avaliado. No que diz respeito à arquitetura, destaca-se a importância da envoltória, que abrange as

vedações e coberturas determinadas no projeto (ELETROBRÁS/PROCEL, INMETRO e CB3E, 2014).

É importante salientar que o RTQ apresenta limitações que necessitam ser solucionadas. Por isso, o Programa Procel Edifica, em colaboração com a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, efetuou uma nova proposta de método de avaliação denominado Instrução Normativa Inmetro (INI). A atualização do RTQ, por meio da inclusão e atualização de dados, é fundamental para garantir a eficiência energética e o conforto térmico das edificações no Brasil.

2.3 INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO

A Instrução Normativa Inmetro - INI se distingue, assim como, o RTQ em INI-R para edificações residenciais e INI-C para edifícios comerciais, de serviços e públicas e mantêm as mesmas etiquetas utilizadas no RTQ.

A INI-C foi aprovada através da Portaria Inmetro nº 42, de 24 de fevereiro de 2021 e passou por alterações, sendo revogada e substituída pela Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022 (BRASIL, 2022). A portaria publicada no ano de 2021 apresentava a classificação climática do Brasil com base nos 24 grupos climáticos de Roriz, porém em sua atualização no ano de 2022, foi definida o retorno da utilização dos 8 zoneamentos bioclimáticos, conforme a NBR 15220-3, em sua versão vigente para a aplicação da norma.

A INI-C realiza a classificação tendo como base o consumo de energia primária para efetuar a comparação entre uma edificação real com a mesma edificação com características de referência, definidas pela própria instrução normativa, de acordo com a tipologia da edificação e suas propriedades, sendo a classificação D o equivalente a condição de referência. A INI-C permite a classificação do nível de etiquetagem de uma edificação por meio de dois métodos, o simplificado e o de simulação (BRASIL, 2022).

Conforme Brasil (2022), o método simplificado utiliza metamodelos, que são modelos matemáticos que utilizam redes neurais artificiais que permitem avaliar o desempenho térmico da construção, considerando diversas variáveis como a geometria da edificação, os materiais utilizados na construção, as condições climáticas locais e o uso e operação do edifício. Os dados são aplicados em um metamodelo disponibilizado em um endereço eletrônico.

O método de simulação termo energética também utiliza duas versões para a análise, sendo elas, a edificação real e a de referência, onde são utilizados os dados de arquivos climáticos da cidade onde se localiza a edificação (BRASIL, 2022). Em relação ao *software* para realizar a simulação, o mais utilizado é o EnergyPlus, de acordo com Mendes et al. (2005), pois possibilita estimar o consumo de energia do edifício e suas trocas de calor. Porém, o programa apresenta uma interface complexa o que dificulta a modelagem por parte de usuários comuns, sendo necessário a realização de cursos específicos para aperfeiçoar a sua utilização.

Segundo Oliveira (2017), por meio da simulação computacional a eficiência da edificação pode ser avaliada de forma completa, verificando as variações de consumo de energia elétrica, as relações com a envoltória e o condicionamento artificial.

A INI-C é a versão mais atual de métodos que possibilita analisar o desempenho térmico das edificações a partir de critérios específicos, como o conforto térmico, o consumo energético e a eficiência do sistema de climatização, tendo em vista a publicação da sua portaria pelo INMETRO. Essa nova norma traz importantes avanços em relação às anteriores, permitindo uma avaliação mais precisa do desempenho térmico das edificações e fornecendo orientações mais adequadas para a tomada de decisões em relação ao projeto e construção de edificações mais sustentáveis e eficientes do ponto de vista energético.

2.4 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES EDUCACIONAIS

As edificações residenciais, comerciais e públicas são campos importantes para aplicação de estratégias arquitetônicas que visam aumentar a eficiência energética. É importante destacar que as escolas são edifícios que demandam uma atenção especial em termos de eficiência energética, dado o seu papel social e sua utilização prolongada pelas pessoas ao longo de suas vidas, além das suas residências. Por isso, é necessário considerar a aplicação de estratégias arquitetônicas eficientes, como o uso de materiais isolantes, ventilação natural e iluminação adequada, para garantir um ambiente saudável e confortável aos alunos e professores, bem como reduzir o consumo energético e a emissão de gases poluentes.

Realizar uma compreensão adequada do conforto térmico nas escolas é fundamental, conforme Rodriguez et al. (2021), as condições de conforto térmico inadequadas nas escolas podem levar a uma série de efeitos negativos sobre a saúde e o desempenho dos estudantes. Além disso, o desconforto térmico pode levar a um aumento do consumo de energia nas edificações escolares, o que pode gerar impactos ambientais significativos e aumentar os custos operacionais das escolas. Por isso, é fundamental que as instituições de ensino sejam projetadas e operadas de forma a garantir condições de conforto térmico adequadas para os estudantes e professores.

Tendo em vista que as edificações educacionais possuem diversos ambientes de permanência prolongada, como é o caso das salas de aulas, a envoltória e as janelas são elementos essenciais para um ambiente interno de qualidade e para a conservação de energia, pois são fatores de influência direta na iluminação dos ambientes, sendo que pode causar iluminação inadequada ou excessiva de modo a gerar o desconforto térmico, devido a insolação. Além disso, segundo Lakhdari et al. (2021), a luz natural traz benefícios para os estudantes, entre elas a maior concentração dos alunos, ambientes menos estressantes e o melhor desempenho acadêmico.

Em relação ao projeto arquitetônico das edificações escolares, muitas vezes é adotado um padrão comum em projetos públicos, que tem como objetivo a racionalidade construtiva, funcionalidade e economia de custos e tempo na elaboração dos projetos. Essa padronização pode negligenciar as características de cada local de construção da edificação, como o clima, resultando em ambientes escolares ambientalmente desconfortáveis do ponto de vista ambiental. A fim de permitir a utilização de projetos padrões para instituições de ensino, Kowaltowski (2011) destaca a importância de considerar pontos de flexibilidade projetual, a fim de proporcionar ajustes de acordo com as características de cada local de implantação, como clima, topografia e ventilação por exemplo.

Conforme Barret et al. (2015), a aprendizagem dos alunos pode aumentar em até 16%, por meio de melhorias nos ambientes internos através de soluções bioclimáticas. Tendo em vista que, a acústica, a iluminação e a ventilação promovem melhorias em até 50% nas salas de aula, pois influenciam diretamente no desempenho da edificação.

Geraldi (2021) realizou uma pesquisa em 426 escolas do Brasil e identificou que os ambientes escolares não tem a qualidade adequada para o aprendizado e que as principais variáveis para o consumo de energia de edifícios escolares no Brasil são o número de alunos, a área construída, o tempo de operação, as especificações do sistema de condicionamento de ar e o clima do local. Com isto se mostra significativo a importância de estudos para a melhoria da qualidade dos ambientes escolares com a finalidade de redução do consumo de energia, melhoria do aprendizado e otimização do desempenho térmico das edificações.

2.5 ESTRUTURAÇÃO DO IFSC

A estruturação do Instituto Federal no estado de Santa Catarina teve início por meio do decreto nº 7.566, de 23 de setembro de 1909, que determinou a inauguração da primeira sede em 01 de setembro de 1910 com a denominação de Escola de Aprendizes Artífices de Santa Catarina, localizada no município de Florianópolis, com a finalidade de oferecer formação profissional aos filhos de classes socioeconômicas menos beneficiadas e o fornecimento de conteúdos que atendessem as necessidades do setor produtivo do período (ALMEIDA, 2002).

Conforme Almeida (2002), a nomenclatura da instituição passou por diversas modificações, sendo denominada no ano de 1942 como Escola Industrial de Florianópolis, ampliando sua oferta de cursos para a área industrial. Em 1968 acrescentou a denominação de técnica ao nome, tornando-se Escola Técnica Federal de Santa Catarina, com especialização em cursos técnicos destinados ao segundo grau com áreas voltadas para o uso de tecnologia.

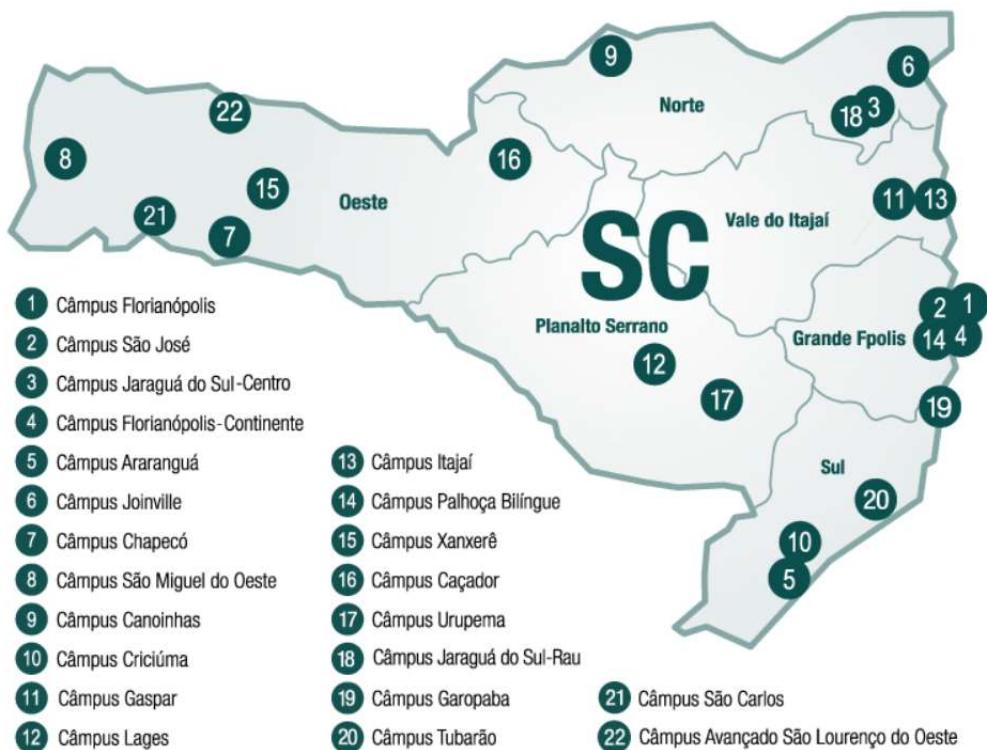
A ampliação de câmpus do instituto em Santa Catarina começou a ocorrer em 1988, na cidade de São José, em 1994 com a unidade Jaraguá do Sul e em 1995 em Joinville, crescendo também, a oferta em áreas de cursos na saúde (ALMEIDA, 2002).

A disponibilidade de cursos superiores de tecnologia e de pós-graduação lato sensu teve início em 2002, passando por uma nova alteração de nomenclatura para Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina - CEFET, a qual permaneceu até o ano de 2008 com sua última alteração de nome para Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC, sendo vinculado ao Ministério da Educação, com autonomia administrativa, patrimonial,

financeira, didático-pedagógica e disciplinar, com oferta de educação básica, profissional e superior com vários câmpus no estado e com forte vínculo na área de pesquisa e extensão (IFSC, s.d.).

Atualmente, o IFSC possui 22 câmpus distribuídos pelo estado, como demonstrado na Figura 02, oferecendo mais de 25 mil vagas em cursos que abrangem qualificação profissional, formação de jovens e adultos, além de cursos técnicos, superiores e pós-graduação. Sua equipe é composta por mais de dois mil servidores, aproximadamente metade deles professores e a outra metade técnicos administrativos (IFSC, s.d.). Adicionalmente, o IFSC possui um câmpus dedicado a cursos à distância, localizado na cidade de Florianópolis, denominado Centro de Formação e Educação a Distância - CERFEAD.

Figura 02 - Câmpus do IFSC.



Fonte: IFSC (s.d.).

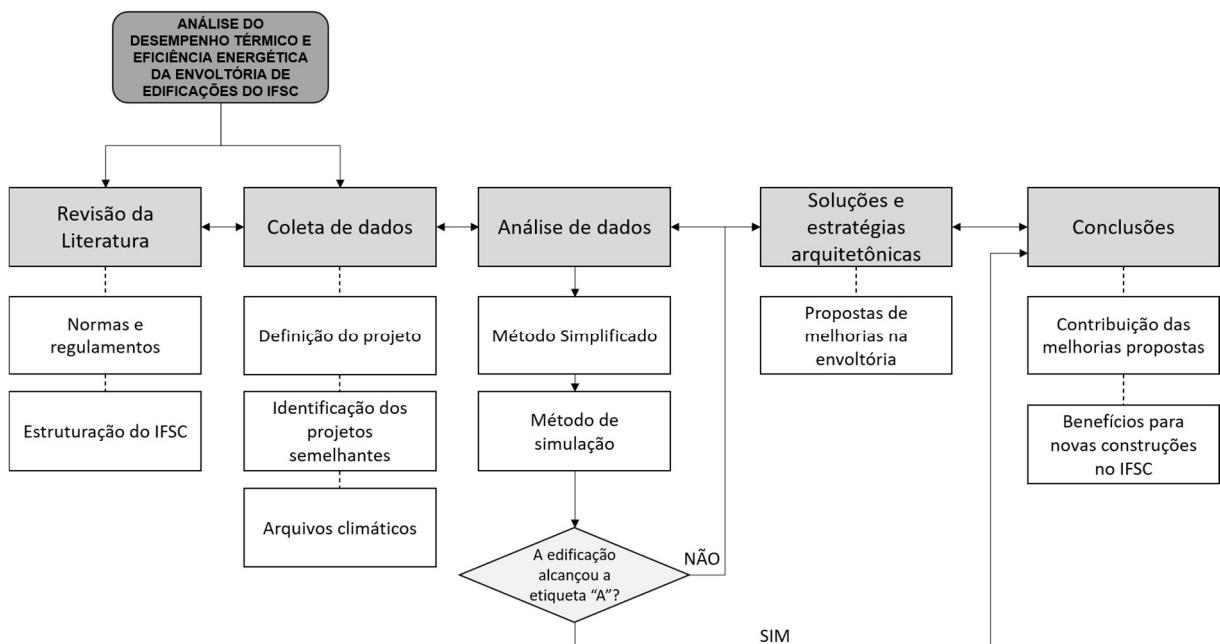
Os valores do IFSC como instituição de ensino visam o compromisso social, a democracia, a equidade e a ética, abrangendo vários setores da sociedade e buscam a inovação e a qualidade no ensino para oferta de cursos públicos, de modo a atender diversos públicos e classes sociais, pautados no respeito e na sustentabilidade

ambiental, social e econômica (IFSC, s.d.). Estes valores embasam o intuito de analisar o desempenho térmico e eficiência energética de suas edificações trazendo benefícios para a instituição e para a sociedade.

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve a metodologia adotada na pesquisa com o objetivo de avaliar o desempenho energético da envoltória de edificações da área educacional, a fim de adequá-la aos diferentes zoneamentos bioclimáticos presentes no estado de Santa Catarina. O organograma da Figura 03 ilustra as etapas envolvidas na elaboração do estudo, que foram divididas em cinco etapas.

Figura 03 - Organograma da pesquisa



Fonte: A autora (2021).

No presente estudo, a pesquisa é iniciada com a revisão da literatura, com o objetivo de buscar conteúdos para o desenvolvimento da pesquisa. Na segunda etapa, é realizada a coleta de dados, que consiste na identificação dos blocos de sala de aula que utilizaram o mesmo projeto arquitetônico entre os 22 câmpus do IFSC. Esse processo é realizado por meio da verificação dos projetos arquitetônicos e da consulta aos arquivos climáticos de cada município em estudo. O instrumento de obtenção de dados foi definido por meio de um inventário que contempla informações da INI-C e da NBR 15220, e os parâmetros construtivos do edifício foram obtidos a partir do projeto arquitetônico.

A terceira etapa consiste em analisar por meio do método simplificado e de simulação da INI-C as edificações, de modo a verificar a qualidade da eficiência energética das construções e o nível de etiquetagem real. Foram utilizados os instrumentos específicos para obtenção dos dados, como o metamodelo, disponível em interface web para inserção de dados e a obtenção da carga térmica anual total da edificação e o EnergyPlus para simulação computacional.

A quarta etapa tem o intuito de verificar melhorias na envoltória dos edifícios que permitam a otimização de seu desempenho térmico e eficiência energética para obtenção da etiqueta “A” do PROCEL Edifica. A quinta etapa, consiste na apresentação dos resultados obtidos, das contribuições para a implantação da etiquetagem nos edifícios em estudo e os benefícios do estudo para novas construções do IFSC.

O desenho de pesquisa é experimental, pois apresenta validação interna, através da simulação computacional e validação externa, por meio da comparação de resultados entre projetos em localidades distintas, pertencendo a categoria de experimento puro. O alcance determinado é explicativa/causal, pois analisa com profundidade o projeto da edificação, ou seja, estuda os materiais construtivos, as propriedades térmicas, quesitos de insolação e ventilação. A partir disso, faz a verificação do enquadramento da edificação em relação a sua qualidade de desempenho térmico e eficiência energética para chegar ao resultado final, sendo este, a etiquetagem da construção e a verificação se um mesmo projeto arquitetônico de salas de aula pode ser construído em diferentes zoneamentos bioclimáticos.

3.1 DEFINIÇÃO DO PROJETO

O projeto arquitetônico escolhido para realização do estudo foi determinado, por meio de amostra não probabilística, pois definiu uma edificação de estudo entre as construções do IFSC. O projeto estabelecido foi inicialmente implantado no câmpus Joinville, apresentado na Figura 04, inaugurado em 18 de outubro de 2018, com o total de 1.250 metros quadrados, com três pavimentos, destinados a oito salas de aula e laboratórios e um andar exclusivo para a biblioteca. Neste projeto, a edificação recebeu o nome de Bloco VI e foi construída por meio da união com um bloco já

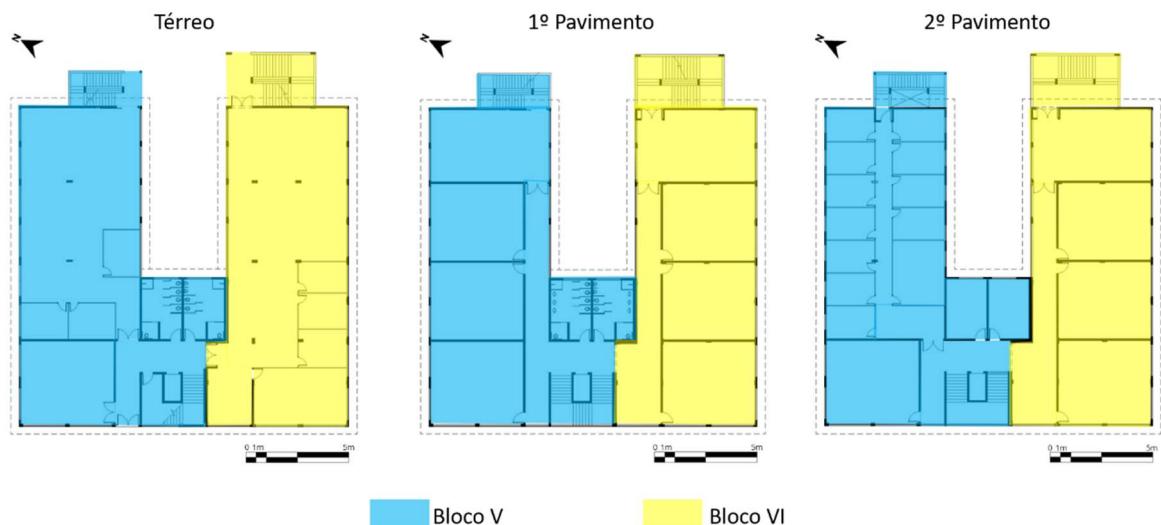
existente no câmpus, denominado Bloco V, como mostram as plantas baixas da Figura 05.

Figura 04 – Localização do Bloco VI no IFSC Câmpus Joinville



Fonte: A autora (2021).

Figura 05 – Plantas baixas dos Blocos V e VI.



Fonte: A autora (2021).

A escolha do projeto do Bloco VI foi realizada devido ao ano de construção ser atual, ou seja, inaugurada a menos de cinco anos da data do início da realização deste

estudo e seu projeto ser utilizado para a construção de outros blocos em câmpus distintos, como realizado no município de Xanxerê construído em 2019 e Jaraguá do Sul construído em 2020, de acordo com a Figura 06 e Figura 07. Além de, seu projeto conter diferentes ambientes que permitem abranger o estudo de desempenho térmico e eficiência energética para esta tipologia educacional.

Figura 06 – Câmpus Jaraguá do Sul.



Fonte: IFSC (s.d.)

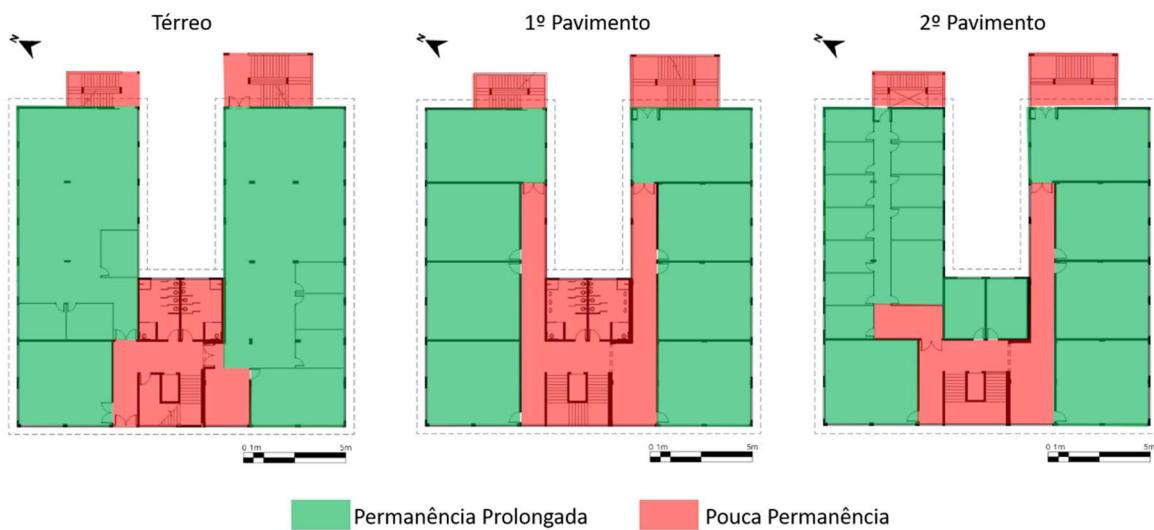
Figura 07 – Câmpus Xanxerê.



Fonte: IFSC (s.d.)

Os blocos V e VI, possuem três pavimentos, sendo estes interligados por área de circulação vertical, consistindo esta união dos blocos no formato de “U”, conforme a Figura 08. O norte indicado na figura é referente a edificação do município de Joinville.

Figura 08 – Definição dos ambientes.



Fonte: A autora (2021).

O estudo foi desenvolvido utilizando as áreas caracterizadas como de permanência prolongada, principalmente para a análise por meio do método simplificado da INI-C, como apresentado na Figura 07, sendo elas, salas de aula, laboratórios, biblioteca e salas dos professores. Para alguns cálculos como insolação, não foram consideradas as áreas de pouca permanência, como os banheiros e a circulação vertical.

3.2 ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO

O desenvolvimento da análise do desempenho térmico dos blocos V e VI do Instituto Federal de Santa Catarina foi realizado para a edificação do município de Joinville, conforme especificações da NBR 15220/05. Inicialmente, foi realizada a coleta de informações projetuais, sendo estas de dimensionamento dos ambientes, aberturas e materiais construtivos.

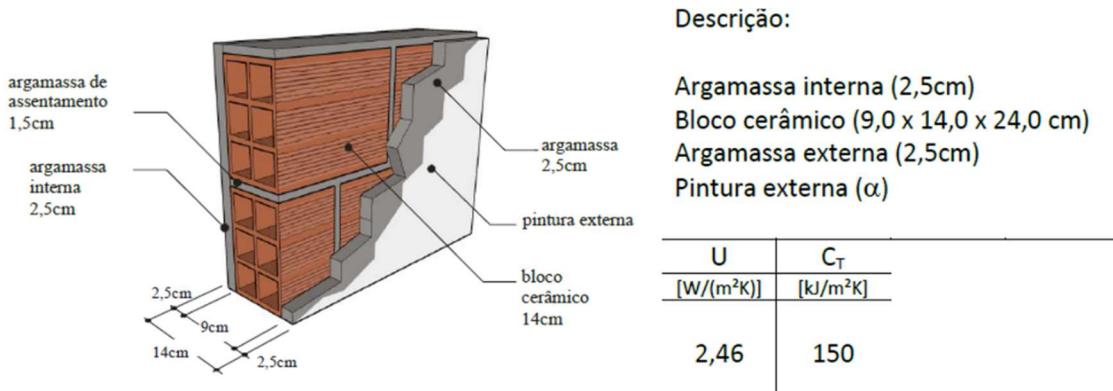
Em seguida, foram identificados dados climáticos de Joinville, Santa Catarina, com o auxílio dos dados de insolação do software Analysis SOL-AR, disponibilizado pelo LabEEE da UFSC e da rosa dos ventos elaborada por Grunberg (2014, p.92) para o município de Joinville. Assim, foi possível obter uma análise dos dados encontrados, de modo a verificar a insolação incidente na edificação, bem como a

possibilidade da aplicação de novas estratégias da arquitetura bioclimática para a melhora na qualidade do local.

3.2.1 Propriedades térmicas dos materiais da envoltória

Os blocos V e VI do IFSC Joinville, são construídos de alvenaria convencional de tijolos de seis furos, conforme Figura 09. Desta forma, foi elaborado o cálculo da resistência e transmitância térmica de suas paredes e cobertura, conforme a NBR 15220/05 e inseridos dados de radiação solar, temperatura interna e externa, obtidos da cidade de São Francisco do Sul, conforme Frota e Schiffer (2001), devido esta ser a cidade da mesma zona bioclimática, com caracterização de radiação solar mais próximas de Joinville, com dados disponíveis.

Figura 09 – Propriedades térmicas paredes.



Fonte: INMETRO (2013).

As fachadas do IFSC são compostas por vidro em suas aberturas e suas paredes são pintadas de branco, verde claro e verde escuro, constituindo faixas, que formam elementos estéticos para a fachada. Desta forma, foi calculado o fluxo de calor para cada elemento, conforme as equações (1), (2) e (3),

$$Q = U \cdot (t_{sol-ar} + t_{ext} - t_{int}) \quad (1)$$

$$t_{sol-ar} = \alpha \cdot I \cdot R_{se} \quad (2)$$

$$Q = q \cdot A \quad (3)$$

para densidade de fluxo de calor das cores, sendo α a absorvidade da superfície, I a radiação solar, R_{se} a resistência superficial externa, U a transmitância térmica, q a densidade de fluxo de calor, A a área e os valores encontrados na norma NBR 15220/05 para as cores foram de $\alpha = 0,2$ para o branco e verde claro e $\alpha = 0,7$ para o verde escuro.

Para a determinação do fluxo de calor do vidro foram utilizadas as equações (4) e (5), para a densidade de fluxo de calor que atravessa a abertura por condução

$$Q = U \cdot \Delta t + F_s \cdot I \quad (4)$$

$$q = U \cdot (t_{ext} - t_{int}) \quad (5)$$

e a equação (6) para o ganho solar pelo vidro,

$$q = F_s \cdot I \quad (6)$$

sendo q a densidade de fluxo de calor, U a transmitância térmica, Δt a variação da temperatura do ambiente, F_s o fator solar, I a radiação solar, t_{ext} a temperatura externa e t_{int} a temperatura interna. E, o valor encontrado para o fator solar na norma NBR 15220/05 para o vidro simples 6mm é de $\alpha=0,83$.

Utilizando as equações e os dados obtidos, foi calculado o fluxo de calor do metro quadrado da parede de acordo com cada cor, sem a utilização de elementos de sombreamento e o fluxo de calor do vidro atual, sem sombreamento e realizado o cálculo, caso sejam instalados elementos de sombreamento nas aberturas.

O Quadro 01, apresenta um comparativo de fluxos de calor para cada 1m² de parede em cada orientação de fachada, conforme a sua cor e sombreamento.

Quadro 01 – Comparativo de fluxos de calor

ORIENTAÇÃO	COR		VIDRO	
	Branco e verde claro	Verde escura	Com sombreamento	Sem sombreamento
Sudoeste	27,10 W/m ²	54,96 W/m ²	15,96 W/m ²	523,09 W/m ²
Sudeste	16,87 W/m ²	19,15 W/m ²		57,46 W/m ²
Noroeste	23,60 W/m ²	42,70 W/m ²		363,70 W/m ²
Nordeste	16,87 W/m ²	19,15 W/m ²		57,46 W/m ²

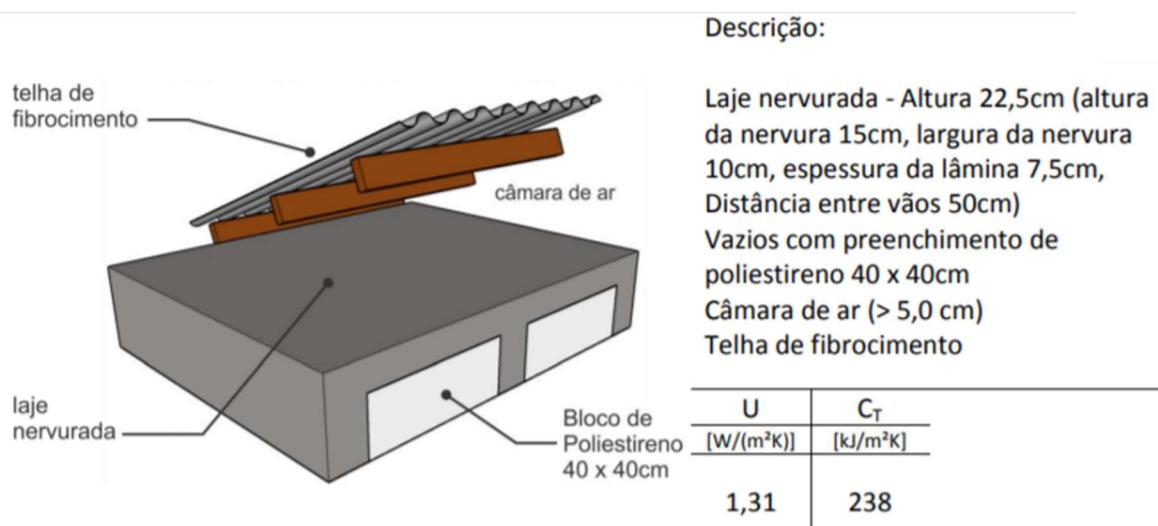
Fonte: A autora (2021).

Além disso, foi determinado o fluxo de calor da cobertura, utilizando a equação (7),

$$q = U \cdot A (t_{ext} + \alpha \cdot R_s \cdot R_{se} - 4 - t_{int}) \quad (7)$$

sendo q a densidade de fluxo de calor, U a transmitância térmica, A a área, t_{ext} a temperatura externa, t_{int} a temperatura interna, α a absorvidade da superfície, R_{se} a resistência superficial externa e R_s a radiação total incidente na superfície, com o total de 51,59 W/m, sendo a cobertura composta de laje nervurada com preenchimento de poliestireno e telha de fibrocimento, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Propriedades térmicas da cobertura.



Fonte: INMETRO (2013).

3.2.2 Ventilação

Com base na rosa dos ventos elaborada por Grunberg (2014, p.92) para Joinville, com predominância dos ventos no sentido sudeste e sudoeste foram calculado os valores de fluxo de ar para ventilação cruzada, equação (8) e ventilação unilateral, equação (9) e número de trocas de ar por hora, equação (10),

$$Q_w = 0,6 \times A_w \cdot V_z \cdot \sqrt{\Delta CP} \quad (8)$$

$$Q_w = 0,025 \cdot A \cdot V_z \quad (9)$$

$$n = \frac{Q_{3600}}{V} \quad (10)$$

sendo Q_w o fluxo de ar, A_w a área equivalente de aberturas, V_z a velocidade do vento, ΔCP o coeficiente de pressão do vento e V o volume.

Os resultados constam no Quadro 02. Sendo considerado, as janelas que permitem a regulagem na angulação de sua abertura.

Quadro 02 – Cálculo de ventilação.

Orientação	Velocidade média do vento – V_z (m/s)	Janela de entrada	Janela de saída	Tipo de Ventilação	Fluxo de ar (m ³ /s)	Nº de trocas de ar (trocas por hora)
Sudoeste	2,0	1,10 x 4,10	1,10 x 3,10	Cruzada	0,14	0,10
				Unilateral	0,04	0,03
Sudeste	3,5	1,10 x 3,10	1,10 x 4,10	Cruzada	0,25	0,17
				Unilateral	0,06	0,04
Noroeste	1,3	1,10 x 3,10	1,10 x 4,10	Cruzada	0,10	0,07
				Unilateral	0,02	0,01
Nordeste	3,0	0,60 x 2,40	1,10 x 2,30	Cruzada	0,06	0,04
				Unilateral	0,02	0,014

Fonte: A autora (2021).

Conforme os dados obtidos, pode-se verificar que as janelas com maiores dimensões proporcionam o número maior de trocas de ar por hora, influenciando na

temperatura do ambiente, sendo possível levar em consideração este dado para dimensionar o tamanho e posicionamento das aberturas, orientação das fachadas e disposição dos ambientes.

3.2.3 Insolação

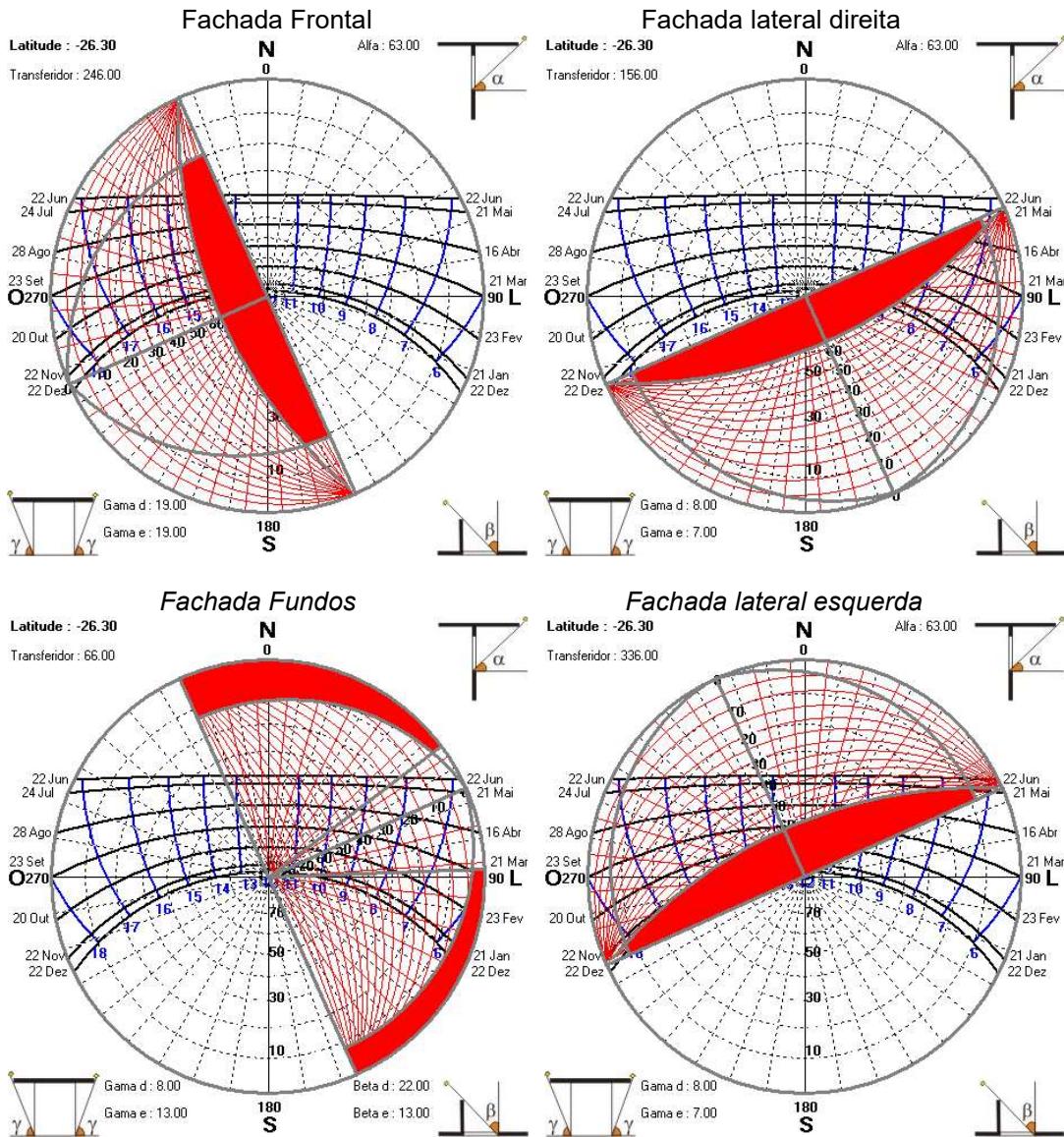
A insolação dos blocos V e VI foi analisada, conforme o dimensionamento das aberturas e o posicionamento das fachadas nos ambientes de permanência prolongada, de acordo com as informações do programa SOL-AR. Desta forma, foi elaborada para cada fachada a análise representativa de cálculo e desenvolvida a carta solar para cada abertura, conforme a Figura 11 e verificada a influência de elementos de sombreamento existentes. Porém, o único componente presente é o beiral, localizado na cobertura da edificação. Desta forma, sua influência de sombreamento atinge somente o primeiro e segundo pavimento, sendo as aberturas do térreo expostas a incidência solar. Para redução desta ocorrência, o instituto instalou películas de controle solar, espelhada, dupla face na cor prata.

Através da análise de cada fachada com sua respectiva carta solar, foi realizada a análise de horários de sol, conforme a disposição das aberturas nas plantas dos blocos.

As fachadas localizadas nas direções sudoeste, sendo esta fachada frontal e noroeste, fachada lateral esquerda e interna direita, recebem insolação no período da tarde em todas as estações do ano. No entanto, somente duas aberturas situadas na fachada interna não possuem insolação no período do verão.

As fachadas dispostas a sudeste, fachada lateral direita e interna esquerda, recebem a influência solar no período da manhã no verão, outono e primavera, mas nenhuma das aberturas recebe insolação no inverno e a fachada posterior, localizada a nordeste, apresenta insolação em todas as estações pela manhã e uma hora de sol à tarde no outono, primavera e inverno.

Figura 11 – Máscaras de sombra.



Fonte: Analysis SOL-AR, desenvolvido pela autora (2021).

3.3 ARQUIVOS CLIMÁTICOS

A busca dos arquivos climáticos foi estabelecida primeiramente pela identificação dos 22 câmpus do IFSC e seu respectivo zoneamento bioclimático, por meio da lista com as 5.564 cidades do território brasileiro, disponibilizada no endereço eletrônico do PBE Edifica. Devido os municípios de Florianópolis, Jaraguá do Sul e São Miguel do Oeste possuírem dois câmpus em cada local, restam 19 cidades distintas a serem analisadas. Desta forma, foi elaborado o Quadro 03 com as informações encontradas.

Quadro 03 – Câmpus do IFSC e seu respectivo zoneamento bioclimático.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático
Lages	1
Urupema	1
Araranguá	2
Caçador	2
Canoinhas	2
Criciúma	2
São Carlos	2
São Miguel do Oeste	2
Tubarão	2
Xanxerê	2
Chapecó	3
Florianópolis	3
Garopaba	3
Gaspar	3
Itajaí	3
Jaraguá do Sul	3
Palhoça	3
São José	3
Joinville	5

Fonte: A autora (2022).

Conforme as informações encontradas foram identificados 4 zoneamentos bioclimáticos distintos, correspondentes aos zoneamentos 1, 2, 3 e 5, conforme a classificação climática da Portaria 309/2022.

3.3.1 Recomendações para os zoneamentos bioclimáticos

De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005), cada zoneamento bioclimático apresenta diferentes recomendações de estratégias. Para a zona bioclimática 1 recomenda-se o uso de aberturas médias para ventilação, permitindo a absorção de radiação solar durante o período de frio. Indica-se o uso de vedações internas pesadas para maior inércia térmica e vedações externas leves.

Na zona bioclimática 2 é possível destacar o uso de aberturas médias para ventilação, permitindo a incidência de radiação solar durante o inverno. É indicado o uso de paredes leves com coberturas isoladas e para o condicionamento passivo, sugere-se a utilização da ventilação cruzada durante o período de verão e o aquecimento solar com vedações internas pesadas no inverno para maior inércia térmica.

Para a zona bioclimática 3 é sugerido o uso de aberturas de tamanho médio que possibilitem o acesso da radiação solar no inverno; paredes externas devem ser leves e refletores, com cobertura leve e isolada. Os métodos construtivos incluem a ventilação cruzada no verão, o aquecimento solar da edificação e o uso de vedações internas pesadas para o inverno.

Na zona bioclimática 5 é viável o uso de aberturas médias e sombreadas. A construção deve contar com paredes externas leves e refletores, juntamente com uma cobertura leve e isolada. Para o inverno recomenda-se o uso de vedações internas pesadas para proporcionar maior inércia térmica, enquanto no verão, a ventilação cruzada desempenha um papel fundamental.

É importante que as edificações sejam projetadas levando em consideração as características do clima local e as estratégias bioclimáticas adequadas para garantir um uso eficiente da energia e maior conforto térmico ao longo do ano.

3.4 INI-C

Primeiramente, para a aplicação das diretrizes estabelecidas na INI-C e a determinação do método a ser utilizado para a classificação da etiquetagem de edificações, alguns parâmetros da construção devem ser analisados, pois caso não sejam atendidos a análise deve seguir somente pelo método de simulação, não atendendo a quesitos de entrada para ter sua análise através do método simplificado. Os requisitos denominados de entrada que a edificação deve atender são apresentados no Quadro 04, relacionados ao desempenho térmico dos materiais de envoltória. Os parâmetros identificados para o IFSC possuem como base os valores calculados no item 3.2.1.

Quadro 04 – Limites dos dados de entrada atendidos pelo método simplificado INI-C.

Parâmetro	Limites	IFSC	É aplicável?
Absortância solar da cobertura (α_{cob})	0,2 – 0,8	0,8	Sim
Absortância solar da parede (α_{par})	0,2 – 0,8	0,3	Sim
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0° - 80°	0°	Sim
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0° - 80°	0°	Sim
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0° - 90°	0°	Sim
Capacidade térmica da cobertura (CT _{cob})	10 - 450 kJ/m ² K	238 kJ/m ² K	Sim
Capacidade térmica da parede externa (CT _{par})	40 - 450 kJ/m ² K	150 kJ/m ² K	Sim
Fator solar do vidro (FS)	0,21 – 0,87	0,83	Sim
Pé-direito (PD)	2,6 – 6,6 m	4,32m e 3,20m	Sim
Percentual de área de abertura da fachada (PAF)	0% - 80%	20%	Sim
Transmitância térmica da cobertura (U _{cob})	0,51 - 5,07 W/m ² K	1,31 W/m ² K	Sim
Transmitância térmica da parede externa (U _{par})	0,50 - 4,40 W/m ² K	2,46 W/m ² K	Sim
Transmitância térmica do vidro (U _{vid})	1,9 - 5,7 W/m ²	5,7	Sim

Fonte: Adaptado de Brasil (2022).

Efetuada a análise do enquadramento da edificação aos critérios de limite de entrada, define-se a sua aplicabilidade para o diagnóstico de sua eficiência através do método simplificado.

Para a obtenção de valores de referência da edificação são utilizadas características definidas pela INI-C, conforme a tipologia da construção, para o caso em estudo o padrão são as edificações educacionais, como mostra a Figura 12.

Figura 12 – Valores de referência para edificações educacionais.

Uso típico	Edificações educacionais			
	Condição real	Condição de referência		
		Educação infantil	Ensino fundamental e médio	Ensino superior
Geometria				
Área (m ²)		Condição real		
Orientação solar		Condição real		
Pé-direito (piso a teto) (m)		Condição real		
Aberturas				
PAF - Percentual de área de abertura da fachada (%)	Condição real	40 (0,40)		
Componentes construtivos				
Parede	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)		
Upar - Transmitância da parede externa (W/(m ² .K))	Condição real	2,39		
α PAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5		
CTpar - Capacidade térmica da parede externa (kJ/(m ² .K))	Condição real	150		
Cobertura	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)		
Ucob - Transmitância da cobertura (W/(m ² .K))	Condição real	2,06		
α COB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8		
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/(m ² .K))	Condição real	233		
Vidro	Condição real	Vidro simples incolor 6mm		
FS - Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82		
Uvid - Transmitância do vidro (W/(m ² .K))	Condição real	5,7		
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0		
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0		
AOV - Ângulo de obstrução vizinha (°)*		Condição real		
Iluminação e ganhos internos				
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m ²)	Condição real	15,5**		
Ocupação (m ² /pessoa)	Condição de referência	2,5	1,5	1,5
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m ²)***	Condição de referência	15,0		
Horas de ocupação (horas)		8		
Dias de ocupação (N _{ano})****		200		
Situação do piso		Condição real		
Situação da cobertura		Condição real		
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento		
Condicionamento de ar (refrigeração)				
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,60		
Temperatura setpoint (°C)*****		24,0		
Aquecimento de água*****				
Eficiência do sistema de aquecimento de água sem acumulação ^a	Condição real	0,95		
Eficiência do sistema de aquecimento de água com acumulação ^b	Condição real	0,85		
Temperatura de armazenamento		Mínimo 50 °C		
Temperatura de uso de água quente		38 °C (norte e nordeste) 40 °C (demais regiões)		
Temperatura de uso de água fria (°C)		Condição real		
Perdas na tubulação – sistema de aquecimento de água sem acumulação	Condição real	0		

Fonte: Brasil (2022).

Através da Figura 12, é possível identificar as condicionantes que são comuns para as duas edificações, real e referência, com base nas condicionantes existentes na edificação, sendo eles área, orientação solar, pé direito, ângulo de obstrução

vizinha, horas e dias de ocupação, assim como a situação de pisos e coberturas. As demais características devem ser inseridas de acordo com a edificação a ser simulada, sendo os parâmetros dos materiais construtivos as principais variações.

Efetuando a inserção de dados, conforme o método escolhido obtêm-se os resultados para $CgTR$ e $CgTR_{ref}$ e devem ser realizados os cálculos para determinação da classificação de eficiência energética da envoltória, através da equação 11, conforme a Portaria 309/2022, definida pelo zoneamento bioclimático,

$$i = \frac{(CRCgTT_{D-A}.100)}{3} \quad (11)$$

onde i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes e $CRCgTT_{D-A}$ é o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para A, determinado pela equação 12 e pela classificação climática em que a edificação está inserida,

$$FF = \frac{A_{env}}{V_{tot}} \quad (12)$$

onde FF o fator de forma da edificação, A_{env} é a área da envoltória e V_{tot} é o volume total construído da edificação.

Após, a determinação do valor do coeficiente de representação de intervalos, deve ser efetuado o cálculo do valor do percentual de redução da carga térmica total anual da edificação, de acordo com a equação 13,

$$RedCgTT = \frac{(CgTT_{refD} - CgTT_{real})}{CgTT_{refD}} \cdot 100 \quad (13)$$

onde $RedCgTT$ é o percentual de redução da carga térmica total anual da envoltória, $CgTT_{refD}$ é a carga térmica total anual da edificação na sua condição de referência e $CgTT_{real}$ é a carga térmica total anual da edificação real.

Em sequência, deve ser comparado o valor do percentual de redução da carga térmica total anual da edificação $RedCgTT$ com os limites definidos, conforme o Quadro 05, identificando a classificação de eficiência energética da envoltória.

Quadro 05 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória – Portaria 309/2022.

RedCgTT (%)					
	A	B	C	D	E
Classificação de Eficiência	RedCgTT > 3i	$3i \geq RedCgTT > 2i$	$2i \geq RedCgTT > i$	$i \geq RedCgTT \geq 0$	$RedCgTT < 0$

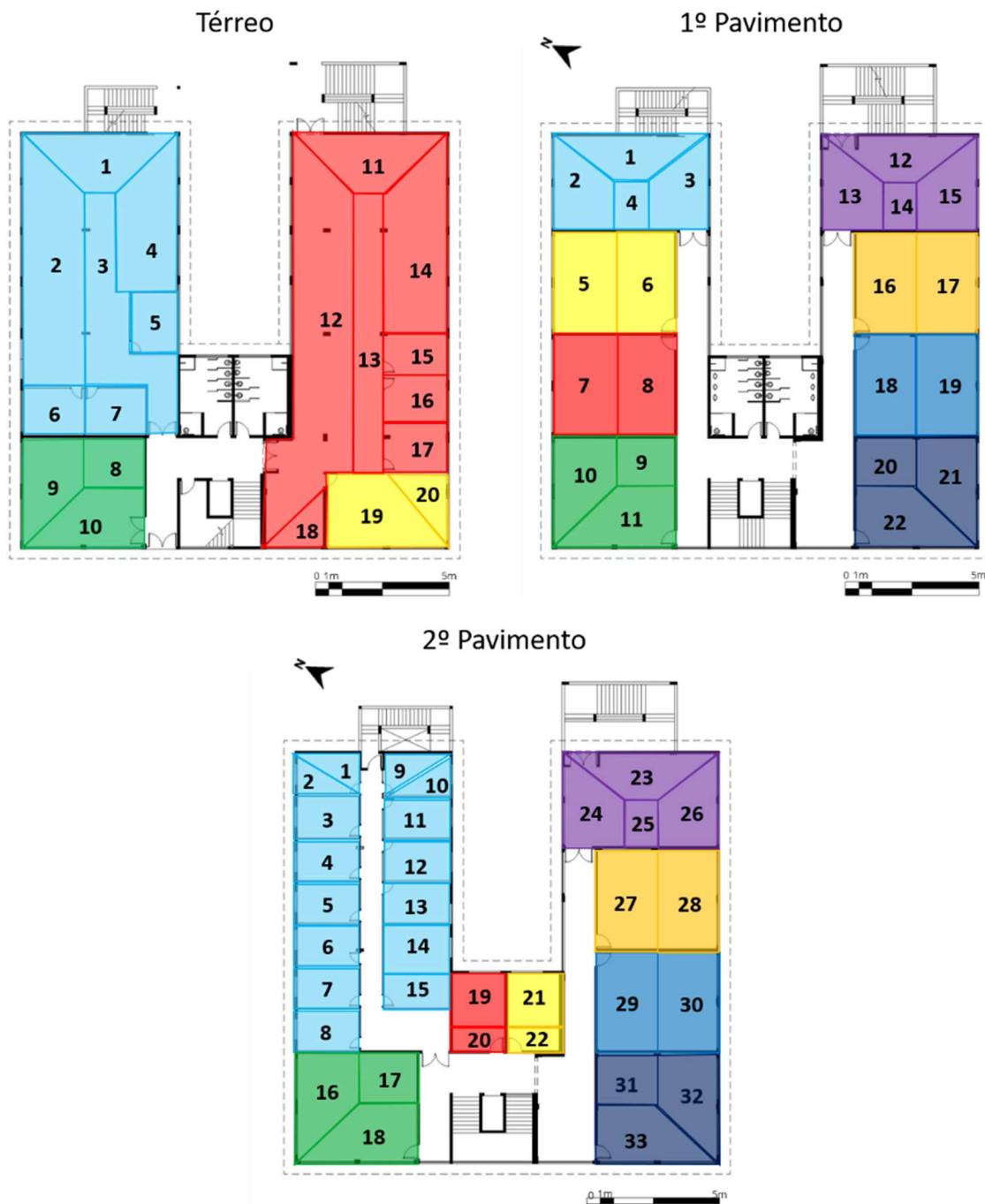
Fonte: Adaptado de Brasil (2022).

3.4.1 Método Simplificado

Inicialmente, a classificação da envoltória foi conduzida através do método simplificado da INI-C, utilizando a Interface Web para obter os resultados. Assim, uma vez que todos os requisitos de entrada foram atendidos, procede-se à primeira etapa de desenvolvimento, que é a definição da tipologia do edifício, sendo esta educacional, conforme a Figura 12. A edificação foi dividida em zonas térmicas, mas apenas para os ambientes climatizados. Nesse caso, os mesmos ambientes considerados como de permanência prolongada foram utilizados para a análise de desempenho térmico.

As zonas térmicas podem ser definidas de duas formas, internas ou perimetrais e devem estar associadas somente a uma orientação de fachada, sendo considerado um afastamento máximo da face interna da parede externa de 4,5m (Brasil, 2022), o que possibilita que um mesmo ambiente conte cole duas zonas térmicas, conforme apresenta a Figura 13, assim cada ambiente foi representado por uma cor da figura e dividido em zonas térmicas de acordo com as numerações, totalizando 20 zonas térmicas para o térreo, 22 para o 1º pavimento e 33 para o 2º pavimento.

Figura 13 – Zonas térmicas.



Fonte: A autora (2021).

Os dados climáticos utilizados estão conforme o indicado no item 3.3, de modo a obter resultados de acordo com os zoneamentos bioclimáticos. No entanto, como a maioria dos municípios de estudo não possuem dados climáticos na interface web para desenvolvimento da análise, foram utilizadas as informações de outras cidades com similaridade de clima, como mostra o Quadro 06.

Quadro 06 – Arquivo climático para inserção na interface web.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Município do Metamodelo
Lages	1	Curitiba/PR
Urupema	1	Curitiba/PR
Araranguá	2	Santa Maria/RS
Caçador	2	Santa Maria/RS
Canoinhas	2	Santa Maria/RS
Criciúma	2	Santa Maria/RS
São Carlos	2	Santa Maria/RS
São Miguel do Oeste	2	Santa Maria/RS
Tubarão	2	Santa Maria/RS
Xanxerê	2	Santa Maria/RS
Chapecó	3	Florianópolis/SC
Florianópolis	3	Florianópolis/SC
Garopaba	3	Florianópolis/SC
Gaspar	3	Florianópolis/SC
Itajaí	3	Florianópolis/SC
Jaraguá do Sul	3	Florianópolis/SC
Palhoça	3	Florianópolis/SC
São José	3	Florianópolis/SC
Joinville	5	Niterói/RJ

Fonte: A autora (2022).

Após, os dados foram inseridos na planilha do metamodelo da interface web, de acordo com cada zona térmica determinada. Após concluir a inclusão das informações, os resultados são gerados, fornecendo os valores de carga térmica de refrigeração por zona térmica e o valor total da edificação real, denominada Carga Térmica de Refrigeração Anual ($CgTR$). Em seguida, os dados na planilha são alterados para corresponderem aos valores informados na INI-C para o modelo de referência. Dessa forma, são obtidos os valores totais denominados como Carga Térmica de Refrigeração Anual do modelo de Referência ($CgTR_{ref}$).

3.4.2 Comparativo entre a Portarias

A INI-C foi aprovada através da Portaria Inmetro nº 42, de 24 de fevereiro de 2021, sendo revogada e substituída pela Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022 (BRASIL, 2022), trazendo algumas distinções entre as duas, como é o caso das definições climáticas, determinadas uma por zoneamentos climáticos e a outra por grupos climáticos. Além de trazer diferenças na forma de obtenção do cálculo para classificação da etiquetagem. Esta subseção tem a finalidade de comparar os resultados obtidos seguindo as diretrizes de cada Portaria da INI-C e verificar seus impactos na determinação da etiquetagem de edificações.

Para efetuar esta análise a primeira etapa foi verificar se os grupos climáticos estão semelhantes aos zoneamentos climáticos. O Quadro 07 apresenta a comparação dos arquivos climáticos utilizados, destacando em verde os locais em que o mesmo município de referência foi empregado tanto para a análise pelo zoneamento bioclimático quanto pelo grupo climático. Os municípios de Caçador, Canoinhas e São Carlos utilizaram o arquivo climático de Santa Maria/RS, enquanto Florianópolis, Garopaba, Palhoça e São José utilizaram o arquivo climático de Florianópolis. Já o município de Joinville utilizou os dados climáticos de Niterói. Os demais locais apresentam municípios distintos para a aplicação no metamodelo.

Quadro 07 – Zoneamentos bioclimáticos e seus respectivos grupos climáticos.

Câmpus	Portaria 309/2022		Portaria 42/2021	
	Zoneamento Bioclimático	Município do Metamodelo	Grupo Climático	Município do Metamodelo
Lages	1	Curitiba/PR	5	Porto Alegre/RS
Urupema	1	Curitiba/PR	5	Porto Alegre/RS
Araranguá	2	Santa Maria/RS	6	Porto Alegre/RS
Caçador	2	Santa Maria/RS	7	Santa Maria/RS
Canoinhas	2	Santa Maria/RS	7	Santa Maria/RS
Criciúma	2	Santa Maria/RS	6	Porto Alegre/RS
São Carlos	2	Santa Maria/RS	7	Santa Maria/RS
São Miguel do Oeste	2	Santa Maria/RS	6	Porto Alegre/RS
Tubarão	2	Santa Maria/RS	5	Porto Alegre/RS
Xanxerê	2	Santa Maria/RS	6	Porto Alegre/RS
Chapecó	3	Florianópolis/SC	7	Santa Maria/RS
Florianópolis	3	Florianópolis/SC	1b	Florianópolis/SC
Garopaba	3	Florianópolis/SC	1b	Florianópolis/SC
Gaspar	3	Florianópolis/SC	13	Rio de Janeiro/RJ
Itajaí	3	Florianópolis/SC	13	Rio de Janeiro/RJ
Jaraguá do Sul	3	Florianópolis/SC	13	Rio de Janeiro/RJ
Palhoça	3	Florianópolis/SC	1b	Florianópolis/SC
São José	3	Florianópolis/SC	1b	Florianópolis/SC
Joinville	5	Niterói/RJ	9	Niterói/RJ

Fonte: A autora (2022).

3.4.2.1 Cálculos para classificação, conforme grupos climáticos

A inserção de dados na interface web é a mesma apresentada no item 3.4 para as duas portarias, inserindo dados de arquivo climático, tipologia, zonas térmicas e propriedades térmicas da edificação, obtendo após a finalização do input de dados, os valores para $CgTR$ e $CgTR_{ref}$.

Uma das diferenças entre as portarias está no método de cálculo para classificação da etiquetagem; a Portaria 309/2022 vigente, utiliza dos cálculos demonstrados no item 3.4. Por outro lado, a Portaria 42/2021, contempla a resolução apresentada a seguir.

Com os resultados obtidos para $CgTR$ e $CgTR_{ref}$ foram realizados os cálculos para determinar a classificação de eficiência energética da envoltória, através da equação 14, conforme a Portaria 42/2021, constituída pelos grupos climáticos,

$$i = \frac{CgTT_{ref} \cdot CRCgTT_{D-A}}{3} \quad (14)$$

onde i é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes, $CgTT_{ref}$ é a carga térmica total da edificação do modelo de referência e $CRCgTT_{D-A}$ é o coeficiente de redução de carga térmica total anual da classificação D para A, determinado pela equação 12 e pelo grupo climático em que a edificação está inserida.

Após, a determinação do valor do coeficiente de representação de intervalos, foi realizado o preenchimento do Quadro 08 e comparado o valor da carga térmica total anual da edificação real com os limites determinados pela carga térmica anual de referência.

Quadro 08 – Limites dos intervalos das classificações de eficiência energética da envoltória – Portaria 42/2021.

	A	B	C	D	E
Limite mínimo	-	> Cgtref - 3i	> Cgtref - 2i	> Cgtref - i	> Cgtref
Limite máximo	< Cgtref - 3i	< Cgtref - 2i	< Cgtref - i	< Cgtref	-

Fonte: Adaptado de CB3e (2021).

3.4.3 Método de Simulação

O método de simulação termoenergética é aplicável a todas as edificações, tornando-se obrigatório para aquelas que não atendem às condições definidas no Quadro 04. Assim, as edificações que possuem aquecimento artificial, aberturas zenitais, vidros em frente às paredes da fachada, fachadas ventiladas, ambientes com elevada geração de carga interna, dispositivos móveis de sombreamento interno automatizados, vidros com comportamento dinâmico ou outras soluções de desempenho inovadoras devem passar por avaliação utilizando o método de simulação termo energética (BRASIL, 2022).

Para realizar a simulação computacional de acordo com as diretrizes da INI-C, é essencial que o programa escolhido atenda aos requisitos estabelecidos para calcular as diversas situações presentes na edificação. Isso inclui considerar variações horárias de ocupação, potência de iluminação e equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural, cada um definido de forma separada. Além disso, é importante considerar as trocas de calor entre o solo e a edificação, conforme definido pelas normas e diretrizes estabelecidas pelo órgão competente (BRASIL, 2022).

Para a simulação computacional, optou-se pelo uso do EnergyPlus, um programa escolhido por sua organização eficiente e desenvolvimento preciso de módulos. É importante ressaltar que o EnergyPlus é uma opção gratuita, disponibilizada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e desenvolvida pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL).

O arquivo climático a ser empregado na simulação deve conter os valores de temperatura de bulbo seco, temperatura de orvalho, pressão atmosférica, umidade relativa, intensidade de radiação, direção e velocidade do vento. Os arquivos utilizados estão disponibilizados no link <<http://pbeedifica.com.br/arquivos-climaticos>> e para os casos das cidades que não sejam encontrados dados específicos do local, sugere-se a utilização de arquivos de uma cidade próxima, com clima semelhante, tendo como base as informações de latitude, longitude e altitude.

Com base nessas informações, verificou-se quais municípios tinham arquivos climáticos disponíveis. Para os que não apresentavam esses dados, foram identificadas cidades próximas com climas similares, conforme apresentado no Quadro 09.

Entre as 19 cidades em estudo, referente a localização dos câmpus do IFSC, 8 delas não possuem arquivo climático disponível, sendo elas, Urupema, Canoinhas, São Carlos, Tubarão, Garopaba, Gaspar, Jaraguá do Sul e Palhoça. Por isso, foram utilizados climas similares para obter dados de análise, ressaltando que os climas semelhantes pertencem ao mesmo zoneamento que a cidade do câmpus correspondente.

De acordo com as diretrizes do Brasil (2022), o método de simulação termoenergética também recomenda a realização de comparações entre o modelo real da edificação e o modelo de referência para fins de análise. Entre as características em comum entre o edifício real e o de referência estão a utilização do

mesmo arquivo climático, contato com o solo e o exterior, através da cobertura, mesma orientação solar, áreas, pavimentos, zonas térmicas, padrões de uso, equipamentos e infiltração do ar.

Quadro 09 – Arquivos climáticos para o método de simulação.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Arquivo Climático Disponível	Clima Semelhante Utilizado
Lages	1	Sim	-
Urupema	1	Não	Urubici
Araranguá	2	Sim	-
Caçador	2	Sim	-
Canoinhas	2	Não	Major Vieira
Criciúma	2	Sim	-
São Carlos	2	Não	Novo Horizonte
São Miguel do Oeste	2	Sim	-
Tubarão	2	Não	Urussanga
Xanxerê	2	Sim	-
Chapecó	3	Sim	-
Florianópolis	3	Sim	-
Garopaba	3	Não	Florianópolis
Gaspar	3	Não	Indaial
Itajaí	3	Sim	-
Jaraguá do Sul	3	Não	Navegantes
Palhoça	3	Não	São José
São José	3	Sim	-
Joinville	5	Sim	-

Fonte: A autora (2022).

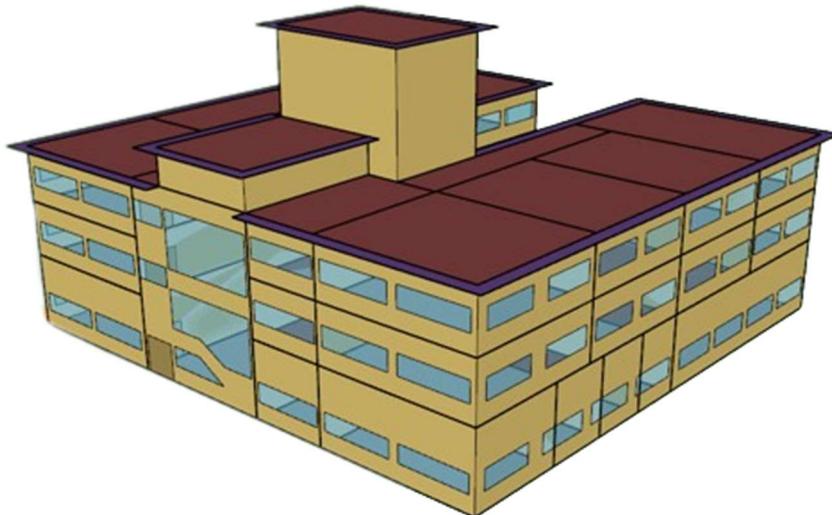
É recomendado levar em consideração todas as trocas térmicas entre as superfícies em contato nos diversos ambientes da edificação, evitando o uso de superfícies adiabáticas. Em edificações com dois pavimentos ou mais, é especialmente orientado considerar a transferência de calor entre o piso e a cobertura desses pavimentos (BRASIL, 2022).

A primeira etapa para o desenvolvimento da simulação consiste na criação do modelo 3D da edificação, incluindo as zonas térmicas e suas respectivas superfícies. Para essa tarefa, utilizou-se o *software* SketchUp, na versão 2017, em conjunto com o plugin OpenStudio. Essas ferramentas possibilitam a criação das zonas térmicas e

a inserção dos dados para cada superfície. Com o suporte dessas ferramentas, o modelo é criado de acordo com o projeto padrão necessário para a análise no EnergyPlus, versão 9.3

No método de simulação, a divisão das zonas térmicas difere do método anterior, uma vez que é adotada uma zona térmica para cada ambiente representativo. A modelagem da edificação foi desenvolvida considerando todos os ambientes, tanto os de permanência prolongada quanto os de pouca permanência. No entanto, o total de zonas térmicas ficou em 10 para o térreo, 8 para o 1º pavimento e 20 para o 2º pavimento. A Figura 14 apresenta a representação da modelagem volumétrica criada para a análise da envoltória, utilizando a simulação computacional.

Figura 14 – Modelagem método de simulação.



Fonte: A autora (2022).

Para realizar a simulação, foram adotados diversos procedimentos no programa EnergyPlus. Isso incluiu a modelagem das superfícies, a aplicação dos materiais construtivos na envoltória, a inserção da taxa metabólica dos usuários, a configuração dos horários e ocupação das zonas térmicas, a inserção das cargas térmicas dos aparelhos e equipamentos, bem como a modelagem da ventilação natural e do sombreamento, entre outros aspectos relacionados à geometria da edificação.

Os dados inseridos no EnergyPlus foram baseados nos elementos apresentados no Quadro 10, utilizados para a inclusão das propriedades térmicas dos materiais, superfícies, aberturas e cargas térmicas.

Quadro 10 – Dados da modelagem no EnergyPlus

Elemento	Objeto
Localização e Clima	Site: Location RunPeriod
Horários	ScheduleTypeLimits Schedule:Compact
Superfícies	Zone BuildingSurface:Detailed FenestrationSurface:Detailed
Materiais Construtivos	Material Material:AirGap WindowMaterial:Glazing Construction
Cargas Internas	People Lights ElectricEquipment
Solo	Ground Domain:Slab
Ventilação	AirFlowNetwork
Ar condicionado	HVACT Templates

Fonte: A autora (2022).

As variáveis de saída dos dados da simulação referem-se à carga térmica de resfriamento, utilizada para a avaliação com condicionamento artificial, e à temperatura operativa, empregada para a análise de ventilação natural. Esses dados são registrados em intervalos horários ao longo de um ano típico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos, por meio dos métodos simplificado e de simulação, conforme as diretrizes da INI-C para a área educacional e na sequência, efetuadas as análises dos dados obtidos com a classificação da etiquetagem das edificações, visando a otimização de seu desempenho térmico e eficiência energética.

4.1 MÉTODO SIMPLIFICADO

A partir dos dados inseridos no metamodelo, foram obtidos os resultados de CgTR e CgTR_ref, os quais possibilitaram a realização dos cálculos para a classificação da etiquetagem da edificação, de acordo com as diretrizes apresentadas no Quadro 05. Para observar o nível de eficiência energética da envoltória dos câmpus do IFSC utilizando o método simplificado, foi elaborado o Quadro 11.

Os valores encontrados para a edificação real do IFSC, conforme demonstrado no Quadro 11, situam-se na classificação de nível B pelo método simplificado da INI-C para todos os municípios, considerando os métodos de cálculo da Portaria 309/2022. Ao analisar as cargas térmicas totais para cada município, observou-se que o zoneamento 5, correspondente ao município de Joinville (local de implantação da edificação em estudo), apresentou a carga mais elevada, enquanto os menores valores foram identificados para a zona bioclimática 1, que abrange os municípios de Lages e Urupema.

Através de uma análise detalhada dos dados, sugere-se que os resultados podem estar influenciados por fatores como a insolação. Isso se deve ao fato de a edificação em estudo possuir uma grande quantidade de janelas, o que aumenta a incidência solar e, consequentemente, gera valores mais elevados de carga térmica para o município da zona bioclimática 5, caracterizado por um clima temperado. Por

outro lado, o desempenho térmico na zona bioclimática 1, correspondente a um clima frio, é favorecido devido a fatores climáticos específicos.

*Quadro 11 – Classificação de eficiência energética da envoltória
– Método Simplificado.*

Portaria 309/2022				
Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência (kWh/ano)	Real (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	218543.82	182293.10	B
Urupema	1			
Tubarão	2			
Araranguá	2			
Criciúma	2			
São Miguel do Oeste	2	345525.07	301137.40	B
Xanxerê	2			
Caçador	2			
Canoinhas	2			
São Carlos	2			
Chapecó	3			
Gaspar	3			
Itajaí	3			
Jaraguá do Sul	3	430477.40	381317.50	B
Florianópolis	3			
Garopaba	3			
Palhoça	3			
São José	3			
Joinville	5	502148.59	446667.00	B

Fonte: A autora (2022).

4.1.1 Comparativo entre a Portarias

O comparativo entre a Portaria 42/2021 e a Portaria nº 309, teve como resultado os valores apresentados no Quadro 12. Nota-se que para as duas situações a classificação das edificações pelo método simplificado, atingiu o nível B. Ou seja, não ocasionou mudança para a etiquetagem das edificações do caso em estudo. No entanto, impactou no valor de carga térmica total anual de alguns municípios que apresentaram cidades distintas para aplicação no metamodelo para cada análise.

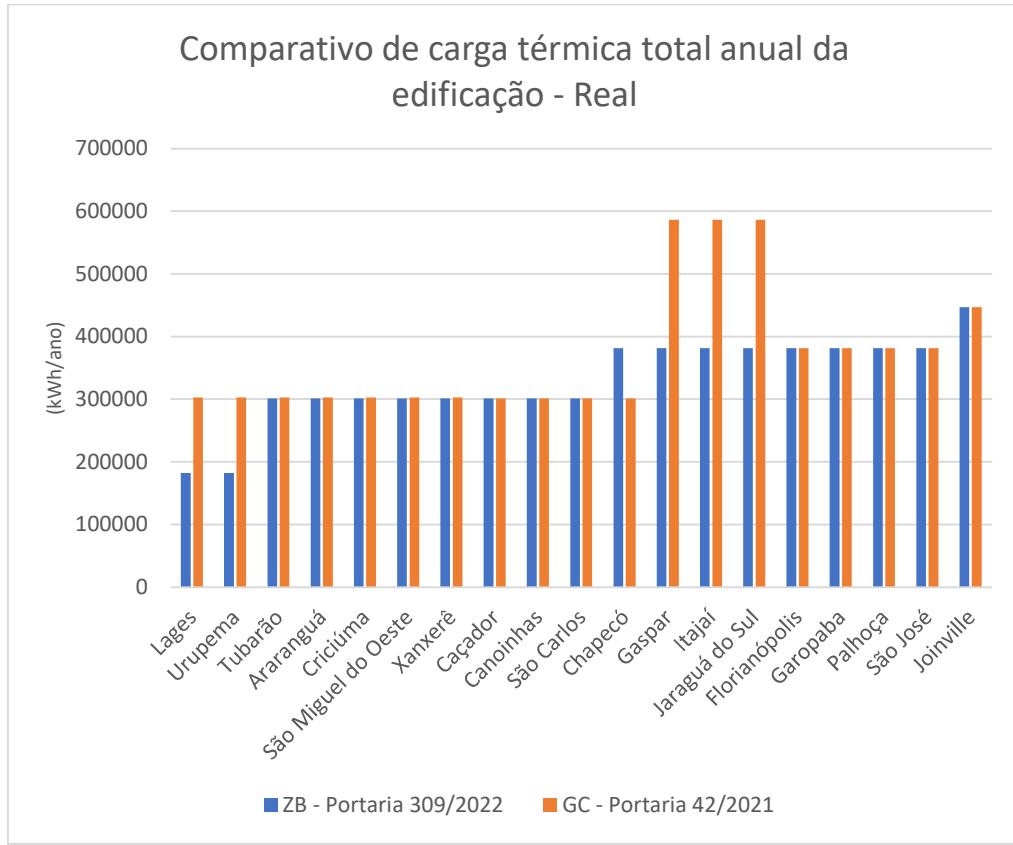
Quadro 12 – Comparaçao entre a Portaria 309/2022 e a Portaria 42/2021.

Câmpus	Portaria 309/2022				Portaria 42/2021			
	Zoneamento Bioclimático	Referência (kWh/ano)	Real (kWh/ano)	Classificação	Grupo Climático	Referência (kWh/ano)	Real (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	218543.82	182293.10	B	5	346617.78	302935.66	B
Urupema	1				5			
Tubarão	2				5			
Araranguá	2				6			
Criciúma	2				6			
São Miguel do Oeste	2	345525.07	301137.40		6			
Xanxerê	2				6			
Caçador	2				7			
Canoinhas	2				7	345525.07	301137.44	B
São Carlos	2				7			
Chapecó	3			B	7	652565.18	586214.82	B
Gaspar	3				13			
Itajaí	3				13			
Jaraguá do Sul	3	430477.40	381317.50		13			
Florianópolis	3				1b			
Garopaba	3				1b			
Palhoça	3				1b			
São José	3				1b			
Joinville	5	502148.59	446667.00	B	9	502148.59	446666.95	B

Fonte: A autora (2022).

O gráfico da Figura 15 apresenta os valores da edificação real e os valores de carga térmica atingidos com a classificação da Portaria 309/2022 e da Portaria 42/2021 para que seja possível identificar a variação ocorrida em cada sistema de análise da classificação da eficiência energética da envoltória das edificações.

Figura 15 – Comparativo de carga térmica total anual da edificação - Real.



Fonte: A autora (2022).

Assim, foi observado que os municípios de Lages, Urupema, Gaspar, Itajaí e Jaraguá do Sul apresentaram uma redução no valor de sua carga térmica ao utilizar a classificação pelos zoneamentos bioclimáticos. Por outro lado, Chapecó foi a única cidade em que houve um acréscimo no valor de sua carga térmica ao adotar a classificação do zoneamento bioclimático. Os demais municípios mantiveram o mesmo valor para as duas classificações climáticas.

4.2 MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Nesta seção, serão apresentados os resultados da carga térmica total de refrigeração das edificações do IFSC em 19 municípios analisados, juntamente com suas respectivas classificações de etiquetagem do nível de eficiência energética, seguindo as diretrizes do Procel Edifica para a envoltória. Os dados são provenientes da modelagem da edificação no Sketchup, com o suporte do plugin OpenStudio, e da importação das propriedades construtivas e arquivos climáticos no EnergyPlus. Os

cálculos dos resultados foram obtidos utilizando o programa RStudio, que utiliza uma linguagem de programação para a geração de gráficos e cálculos estatísticos.

O Quadro 13 apresenta os resultados do método de simulação em uma comparação entre a edificação real e a edificação de referência.

*Quadro 13 – Classificação de eficiência energética da envoltória
– Método de Simulação.*

Município	Zoneamento Bioclimático	Referência	Real	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	359411.71	319791.88	C
Urupema	1	251984.48	225211.34	C
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B
Caçador	2	320498.98	285180.02	B
Canoinhas	2	353548.68	314169.51	B
Criciúma	2	658447.78	588039.56	B
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B
Xanxerê	2	407075.19	363226.56	B
Chapecó	3	599477.30	535827.25	B
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B
Itajaí	3	618006.92	552230.62	B
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B
São José	3	558608.07	499577.13	B
Joinville	5	798065.16	716696.21	B

Fonte: A autora (2023).

Ao analisar os dados do Quadro 13, pode-se observar que, de um total de 19 cidades estudadas, apenas três delas resultaram em um nível C de etiquetagem da envoltória, enquanto as demais atingiram o nível B. Isso significa que a grande maioria dos municípios analisados apresentou um desempenho térmico mais eficiente do que a edificação de referência definida com o nível D, que serve como padrão de comparação.

Verificando as cidades classificadas no nível C, é possível identificar que as duas cidades pertencentes ao zoneamento bioclimático 1 alcançaram essa classificação. Essa constatação tem como conclusão que, para esses locais específicos, a eficiência energética da edificação em estudo, em sua condição real, apresenta um desempenho térmico inferior se comparado com as demais cidades. Em outras palavras, a construção não se adapta de forma otimizada às condições climáticas desses locais.

Conforme mencionado, Joinville se destaca por apresentar os valores mais elevados de cargas térmicas totais. No entanto, é importante ressaltar que há um potencial significativo para reduzir essas cargas térmicas em Joinville e em outros municípios por meio da implementação de estratégias bioclimáticas adequadas ao zoneamento bioclimático de cada região. Essas estratégias podem envolver a utilização de técnicas de projeto que se baseiam nas condições climáticas locais, aproveitando recursos naturais como ventilação, sombreamento e isolamento térmico para tornar as edificações mais eficientes em termos energéticos e confortáveis para seus ocupantes.

Desta forma, ao levar em conta as informações do Quadro 13 e as características específicas de cada município, torna-se evidente que o planejamento e a adoção de estratégias bioclimáticas são cruciais para a otimização da eficiência energética das edificações e a redução do consumo de energia. Por meio dessas práticas, é possível aprimorar o desempenho térmico e a eficiência energética da edificação, bem como alcançar níveis mais elevados de etiquetagem.

4.3 COMPATIVO ENTRE MÉTODOS

A INI-C apresenta em sua estrutura a possibilidade de análise por meio de dois métodos, simplificado e de simulação, que se baseiam em diretrizes, em muitos quesitos, distintas uma da outra. Por isso, o resultado obtido com as investigações pode ser diferente entre elas. A comparação entre os métodos apresenta-se pertinente para observar essas variações que podem ocorrer entre os estudos.

No Quadro 14 são apresentados os valores de carga térmica total obtidos tanto pelo método simplificado quanto pelo método de simulação e as suas respectivas classificações do nível de eficiência energética da envoltória da edificação do IFSC.

Quadro 14 – Comparativo entre método simplificado e método de simulação.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Método Simplificado		Método de Simulação	
		CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	218543.82	B	319791.88	C
Urupema	1			225211.34	C
Araranguá	2			494321.63	B
Caçador	2			285180.02	B
Canoinhas	2			314169.51	B
Criciúma	2			588039.56	B
São Carlos	2			369332.77	C
São Miguel do Oeste	2			544205.90	B
Tubarão	2			512446.31	B
Xanxerê	2			363226.56	B
Chapecó	3	430477.40	B	535827.25	B
Florianópolis	3			403400.88	B
Garopaba	3			403400.88	B
Gaspar	3			497950.33	B
Itajaí	3			552230.62	B
Jaraguá do Sul	3			526711.34	B
Palhoça	3			499577.13	B
São José	3			499577.13	B
Joinville	5	502148.59	B	716696.21	B

Fonte: A autora (2023).

A análise comparativa dos resultados mostra que apenas uma pequena parcela, correspondente a 15% da amostra dos municípios estudados, teve suas classificações alteradas entre os diferentes métodos empregados, esses municípios são Lages, Urupema e São Carlos.

Ao examinar os resultados, torna-se perceptível que todos os valores de carga térmica apresentaram variações significativas entre os diferentes métodos utilizados, sendo que cerca de 80% dos municípios analisados registraram aumento nos valores de suas cargas térmicas. Esta informação pode estar atrelada a forma como o método de simulação realiza a sua análise, sendo esta da edificação completa, além de proporcionar a inserção do arquivo climático do município corresponde, de modo a proporcionar maior precisão no cálculo das trocas térmicas reais da edificação. No

entanto, essa maior precisão vem acompanhada de valores mais elevados de carga térmica, como apresentado em 15 municípios.

Essa discrepância nos valores das cargas térmicas pode ser atribuída, em parte, às características intrínsecas de cada método de análise utilizado. Enquanto alguns métodos podem fornecer resultados mais conservadores e subestimar as cargas térmicas, o método de simulação, ao abordar a edificação em sua totalidade e considerar uma série de variáveis complexas, pode refletir de forma mais fiel a realidade térmica da construção.

Em resumo, a análise comparativa dos resultados dos diferentes métodos evidencia que um número reduzido de municípios sofreu alterações em suas classificações, e os valores de carga térmica apresentaram variações em grande parte dos casos. A abordagem por meio de simulação completa da edificação mostrou-se mais elaborada, levando em conta um maior número de informações sobre a construção, componentes construtivos e dados climáticos mais precisos, ainda que apresentando resultados em valores de carga térmica mais elevados.

Considerando que os métodos utilizaram arquivos climáticos distintos, devido à quantidade reduzida de municípios com dados disponíveis na interface web para a realização do método simplificado, foram realizadas simulações computacionais para as cidades de Niterói/RJ, Santa Maria/RS e Curitiba/PR. Embora essas cidades não estivessem entre os locais de estudo, seus arquivos climáticos foram utilizados para os resultados do método simplificado. Desse modo, essas simulações foram desenvolvidas para calcular a variação entre as cargas térmicas dos métodos, partindo de um mesmo clima.

O Quadro 15 apresenta o comparativo entre os métodos de análise, conforme os arquivos climáticos do método simplificado para a edificação real, sendo constatado que para dois arquivos climáticos, Curitiba e Santa Maria, os valores de carga térmica sofreram aumento quando efetuada a simulação computacional, resultando em diferente nível de etiquetagem para o zoneamento bioclimático 1. Por outro lado, os municípios com utilização do clima de Florianópolis e Niterói tiveram redução em sua carga, mas os níveis de classificação da envoltória foram mantidos em B.

Quadro 15 – Comparativo entre métodos de análise, conforme arquivos climáticos do método simplificado.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Arquivo Climático	Método Simplificado		Método de Simulação	
			CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	Curitiba/PR	218543.82	B	289878.99	C
Urupema	1					
Araranguá	2					
Caçador	2					
Canoinhas	2					
Criciúma	2					
São Carlos	2					
São Miguel do Oeste	2					
Tubarão	2					
Xanxerê	2	Santa Maria/RS	345525.07	B	547535.90	B
Chapecó	3					
Florianópolis	3					
Garopaba	3					
Gaspar	3					
Itajaí	3					
Jaraguá do Sul	3					
Palhoça	3					
São José	3					
Joinville	5	Niterói/RJ	502148.59	B	469107.47	B

Fonte: A autora (2023).

Com a finalidade de verificar a variação de carga térmica com a alteração de arquivos climáticos, foi gerado o Quadro 16, utilizando os dois métodos de análise, com ambos os resultados obtidos por meio de simulação computacional, porém os valores da coluna zoneamento bioclimático correspondem aos arquivos climáticos indicados pelo seu zoneamento, como utilizado no método simplificado, considerando os municípios de Curitiba/PR, Santa Maria/RS, Florianópolis/SC e Niterói/RJ. E, os dados da coluna município são os dados que utilizaram o próprio clima do local, ou seja, valores mais fiéis a realidade da localização de cada câmpus do IFSC.

Quadro 16 – Comparativo entre arquivos climáticos no método de simulação.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Zoneamento Bioclimático			Dados do Município		
		Arquivo Climático	CgTT (kWh/ano)	Classificação	Arquivo Climático	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	Curitiba/PR	289879.00	C	Lages	319791.88	C
Urupema	1				Urubici	225211.34	C
Araranguá	2	Santa Maria/RS	547535.90	B	Araranguá	494321.63	B
Caçador	2				Caçador	285180.02	B
Canoinhas	2				Major Vieira	314169.51	B
Criciúma	2				Criciúma	588039.56	B
São Carlos	2				Novo Horizonte	369332.77	C
São Miguel do Oeste	2				São Miguel do Oeste	544205.90	B
Tubarão	2				Urussanga	512446.31	B
Xanxerê	2				Xanxerê	363226.56	B
Chapecó	3	Florianópolis /SC	403400.90	B	Chapecó	535827.25	B
Florianópolis	3				Florianópolis	403400.90	B
Garopaba	3				Florianópolis	403400.90	B
Gaspar	3				Indaial	497950.33	B
Itajaí	3				Itajaí	552230.62	B
Jaraguá do Sul	3				Navegantes	526711.34	B
Palhoça	3				São José	499577.13	B
São José	3				São José	499577.13	B
Joinville	5	Niterói/RJ	469107.50	B	Joinville	716696.21	B

Fonte: A autora (2023).

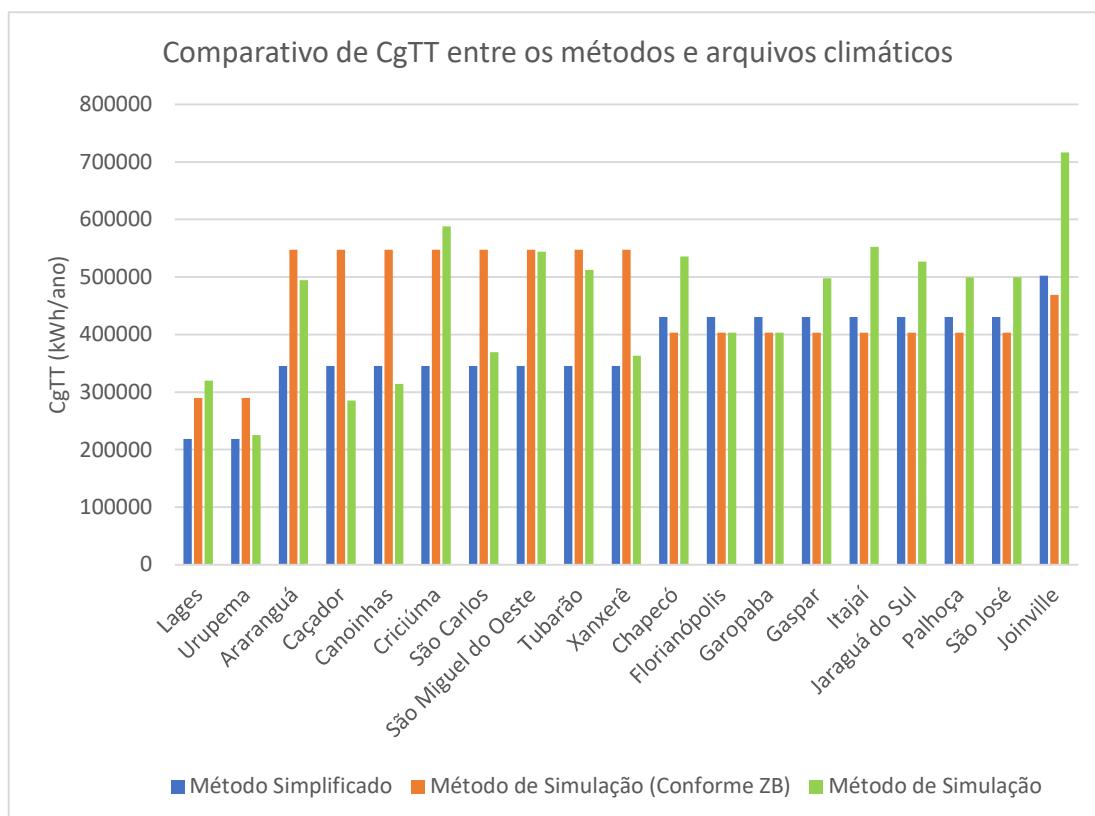
Os resultados obtidos revelaram uma distribuição equitativa entre a metade da amostra com carga térmica superior e a outra metade com carga inferior, quando comparados. Quanto à classificação da etiquetagem, apenas a cidade de São Carlos apresentou uma alteração de B para C, enquanto os demais locais mantiveram suas classificações inalteradas.

A Figura 16 apresenta um gráfico com o comparativo entre a carga térmica total anual da edificação, conforme o método simplificado, o método de simulação e o método de simulação com base nos arquivos climáticos dos zoneamentos.

Verifica-se que as cidades correspondentes aos zoneamentos bioclimáticos 3 e 5, obtiveram valores maiores de carga térmica no método de simulação com seus arquivos climáticos reais. Para a zona bioclimática 2, 75% de suas localidades tiveram

a carga térmica mais elevada por meio do método de simulação computacional com base nos arquivos climáticos.

Figura 16 – Comparativo de carga térmica total anual da edificação entre os métodos e seus arquivos climáticos.



Fonte: A autora (2023).

Após a análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que o método de simulação se sobressai por oferecer dados mais precisos e representativos das edificações estudadas. Essa distinção é fundamentada no fato de que esse método incorpora diversos elementos que contribuem para a acurácia das informações, tais como o uso de arquivos climáticos específicos do local de estudo e a consideração minuciosa de todos os ambientes da edificação.

É importante ressaltar que a escolha dos arquivos climáticos pertinentes à localidade em questão é um fator crucial para garantir que os resultados da simulação retratem de forma realista as condições ambientais reais experimentadas pela edificação. Essa abordagem leva em consideração as variações climáticas específicas do local ao longo do ano, permitindo uma avaliação mais abrangente e realista do comportamento térmico da construção em diferentes situações climáticas.

Outro aspecto relevante é que, ao realizar os cálculos com base na totalidade dos ambientes da edificação e suas propriedades térmicas, o método de simulação oferece uma visão abrangente da interação entre esses elementos, considerando suas influências mútuas no desempenho térmico geral da construção. Dessa forma, as análises tornam-se mais abrangentes e detalhadas, resultando em informações mais confiáveis para tomada de decisões em termos de eficiência energética e otimização do conforto térmico dos ocupantes.

5 PROPOSTAS DE MELHORIAS NA ENVOLTÓRIA

Os resultados obtidos com a realização do método simplificado e do método de simulação mostrou que para ambos os municípios o nível mais elevado de classificação da etiquetagem da edificação de estudo em seus diferentes municípios com câmpus do IFSC em Santa Catarina, foi o nível B. Para a conquista da etiqueta A e consequente melhora do desempenho térmico e eficiência energética da edificação foram elaboradas as proposta de inclusão de sombreamento, alteração de telha e estudo de posicionamento da edificação em relação as orientações solares, como será apresentado neste capítulo.

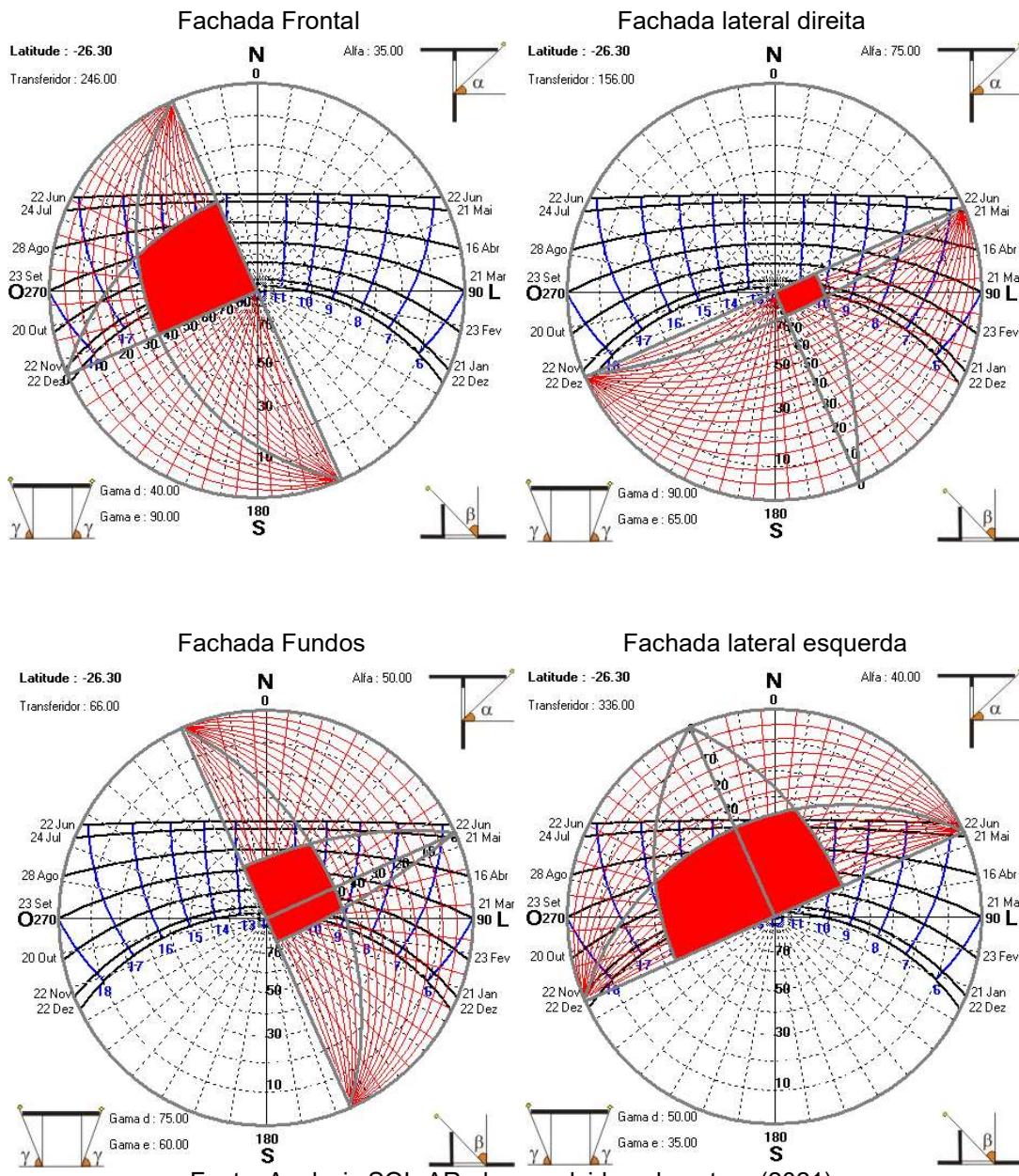
5.1 SOMBREAMENTO

Durante o desenvolvimento da pesquisa, ao analisar o desempenho térmico da edificação do IFSC, principalmente para a construção original do estudo, em Joinville, foram obtidos dados que mostraram a necessidade de priorizar elementos de sombreamento nas fachadas que recebem o sol da tarde, no intervalo compreendido entre 12:00h e 16:00h, durante as estações de verão, outono e primavera. Por outro lado, as aberturas que são expostas ao sol da manhã podem ser equipadas com elementos de sombreamento adequados no período das 10:00h às 12:00h.

Nesse contexto, a inserção de brises horizontais nas aberturas apresentou-se como uma solução viável, capaz de proporcionar o sombreamento necessário para evitar a incidência direta da luz solar nas salas de aula, seguindo as máscaras de sombra retratadas na Figura 17. Essa abordagem permite que, nos períodos de maior exposição à radiação solar, a entrada de calor seja efetivamente controlada, contribuindo para um ambiente interno mais agradável e confortável para os usuários das edificações, consequentemente otimizando seu desempenho térmico e sua eficiência energética.

Ao adotar tais medidas de sombreamento, é possível mitigar o impacto do calor excessivo, que poderia resultar em desconforto térmico, ofuscamento e elevado consumo de energia para refrigeração. Além disso, essa estratégia de projeto alinhada ao posicionamento adequado dos brises horizontais maximiza a eficiência energética das edificações, proporcionando ambientes mais sustentáveis e reduzindo o uso de sistemas de climatização.

Figura 17 – Máscaras de sombra – Com elemento de sombreamento.

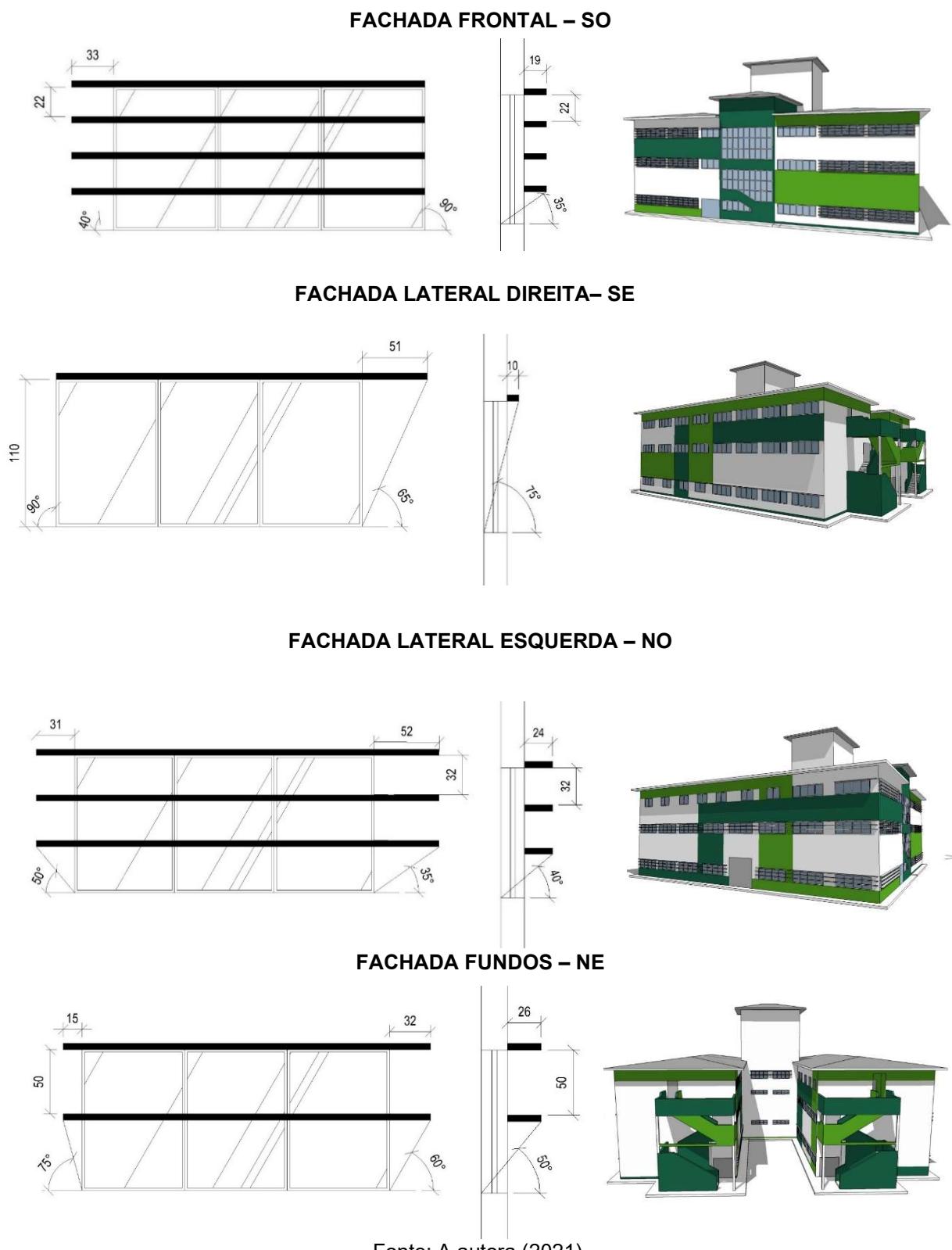


Fonte: Analysis SOL-AR, desenvolvido pela autora (2021).

No pavimento térreo do edifício, foram adicionadas as janelas do projeto real, películas de controle solar, que reduzem a incidência direta dos raios solares. Entretanto, o uso dessas películas pode afetar a visibilidade para o exterior, ocasionando desconforto visual aos estudantes. Embora cumpram a função de proporcionar melhor conforto térmico, é possível que o desconforto visual resultante seja minimizado pela instalação de brises fixos, cuja angulação permita a visibilidade e impeça a radiação solar em momentos desfavoráveis, proporcionando maior conforto térmico aos estudantes. A Figura 18 apresenta os modelos de projeto de brise

horizontal com angulações de sombreamento para a fachadas, conforme a edificação original, construída em Joinville/SC.

Figura 18 – Proposta de brise.



Além disso, com a inclusão de elementos de sombreamento nas aberturas, é possível reduzir o fluxo de calor que incide nos vidros, reduzindo consideravelmente a temperatura interna da edificação. Em relação a ventilação dos blocos, é perceptível que a mesma é bem distribuída, com janelas amplas, o que proporciona ventilação cruzada entre os ambientes e a qualidade do ar no local.

5.2 MÉTODO SIMPLIFICADO

5.2.1 Brises horizontais

Com a instalação de brises horizontais na edificação serão alteradas as cargas térmicas da edificação para a classificação da envoltória. Assim, foram inseridas as informações dos elementos de sombreamento adicionados a edificação real do IFSC na interface web do método simplificado e realizado o cálculo das cargas totais para a edificação real. Os resultados atingidos com a inclusão destes elementos estão no Quadro 17.

Quadro 17 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de sombreamento.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência		Real		Sombreamento	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação	
Lages	1	218543.82	182293.14	B	168443.96	A	
Urupema	1						
Araranguá	2						
Caçador	2						
Canoinhas	2						
Criciúma	2						
São Carlos	2	345525.07	301137.44	B	284610.63	A	
São Miguel do Oeste	2						
Tubarão	2						
Xanxerê	2						
Chapéco	3						
Florianópolis	3						
Garopaba	3						
Gaspar	3						
Itajaí	3	430477.40	381317.48	B	361864.91	A	
Jaraguá do Sul	3						
Palhoça	3						
São José	3						
Joinville	5	502148.59	446666.95	B	425361.66	A	

Fonte: A autora (2022).

Com a incorporação de brises horizontais na edificação, todos os 19 municípios estudados alcançaram o nível A de classificação de suas envoltórias, demonstrando a significativa influência exercida por esses elementos de sombreamento nas construções. Essa implementação dos brises permitiu o controle da passagem de radiação solar em horários desejados, enquanto bloqueava sua incidência em períodos inoportunos.

5.2.2 Telha metálica

Outra proposta para a edificação real foi a alteração da telha de fibrocimento para a telha metálica simples, o que ocasionou nos resultados do Quadro 18, verificado que todos os municípios obteram o nível A de classificação da envoltória.

Quadro 18 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de troca de telha.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência		Real		Telha metálica	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação	
Lages	1	218543.82	182293.14	B	170057.96	A	
Urupema	1						
Araranguá	2						
Caçador	2						
Canoinhas	2						
Criciúma	2						
São Carlos	2		345525.07	B	286747.64	A	
São Miguel do Oeste	2						
Tubarão	2						
Xanxerê	2						
Chapecó	3	430477.40	381317.48	B	364873.58	A	
Florianópolis	3						
Garopaba	3						
Gaspar	3						
Itajaí	3						
Jaraguá do Sul	3						
Palhoça	3						
São José	3						
Joinville	5	502148.59	446666.95	B	427373.08	A	

Fonte: A autora (2022).

5.2.3 Análise conjunta de brise horizontal e telha metálica

Tendo como finalidade a identificação da variação de carga térmica gerada entre a implantação de uma única proposta de melhoria, sombreamento ou telha, e o seu valor final com a junção das duas propostas foi elaborado o Quadro 19.

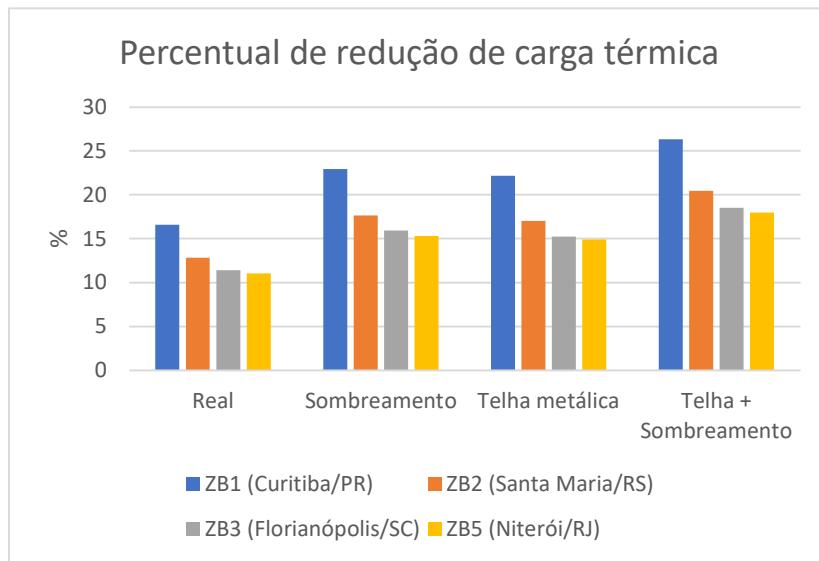
Quadro 19 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de sombreamento e troca de telha.

		Referência	Real		Telha + Sombreamento	
Câmpus	Zoneamento Bioclimático	CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	218543.82	182293.14	B	161016.51	A
Urupema	1					
Araranguá	2					
Caçador	2					
Canoinhas	2					
Criciúma	2					
São Carlos	2		301137.44	B	274864.50	A
São Miguel do Oeste	2					
Tubarão	2					
Xanxerê	2					
Chapecó	3	430477.40	381317.48	B	350717.65	A
Florianópolis	3					
Garopaba	3					
Gaspar	3					
Itajaí	3					
Jaraguá do Sul	3					
Palhoça	3					
São José	3					
Joinville	5	502148.59	446666.95	B	411866.66	A

Fonte: A autora (2022).

Assim, foi verificado que inclusão das duas alterações foi possível aumentar em 4% o percentual de redução de carga térmica da edificação, este valor não apresenta grande variação quando comparado com a redução já obtida somente com uma das propostas.

Figura 19 – Percentual de redução de carga térmica.



Fonte: A autora (2022).

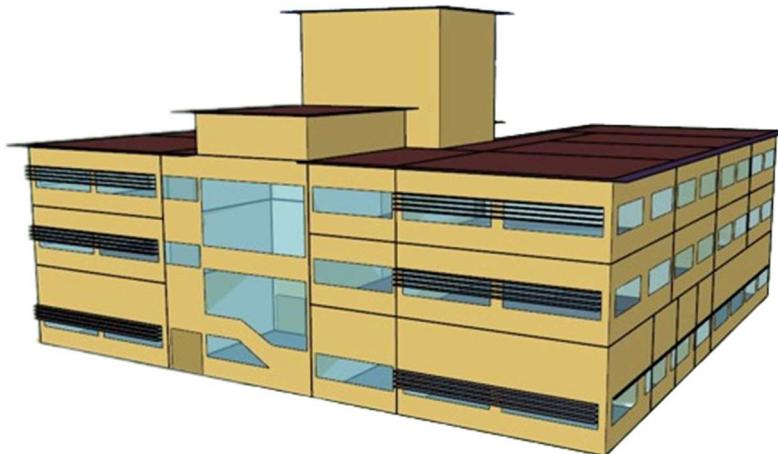
Conforme o gráfico da Figura 19, a inclusão de sombreamento apresenta acima de 17% de redução de carga térmica comparada a edificação de referência, a telha metálica acima de 15% e as duas alternativas juntas 18% para todas as 19 cidades analisadas.

5.3 MÉTODO DE SIMULAÇÃO

5.3.1 Brises horizontais

Os brises horizontais foram inseridos na modelagem da edificação realizada no SketchUp, no plugin OpenStudio, conforme a Figura 20 e assim incluídos os dados de sombreamento nos parâmetros do EnergyPlus, seguindo as definições do brise do item 5.1 elaborado para o município de Joinville, sendo este o local original da edificação.

Figura 20 – Modelagem método de simulação com brises horizontais.



Fonte: A autora (2023).

Os brises horizontais definidos como fixos obtiveram os resultados de carga térmica, conforme o Quadro 20, sendo observados que todos os municípios obteram melhora em sua carga térmica total, elevando ao menos em um nível a sua classificação de etiquetagem. As cidades que em sua condição real eram classificadas como B tiveram sua otimização atingindo o nível A e as edificações com nível C subiram para B. No entanto, um caso em específico teve uma variação, o município de São Carlos, em sua condição real tinha o alcance do nível C, porém somente com a inclusão de sombreamento chegou ao nível A.

Os brises horizontais, ao serem posicionados estratégicamente nas fachadas, mostraram-se efetivos em direcionar e filtrar a luz solar, proporcionando o aproveitamento adequado da radiação nos momentos em que é benéfica para o conforto e a iluminação natural das edificações.

Em simultâneo, esses elementos de sombreamento foram capazes de bloquear a incidência solar nos momentos críticos, como nos horários de pico de calor, evitando assim o superaquecimento e reduzindo a necessidade de sistemas de refrigeração, resultando em economia de energia e recursos.

Quadro 20 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de sombreamento.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência		Real		Sombreamento	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação	
Lages	1	359411.71	319791.88	C	293771.24	B	
Urupema	1	251984.48	225211.34	C	206758.59	B	
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B	453816.04	A	
Caçador	2	320498.98	285180.03	B	261786.68	A	
Canoinhas	2	353548.68	314169.52	B	288468.70	A	
Criciúma	2	658447.78	588039.57	B	540170.11	A	
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C	339203.59	A	
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B	499939.23	A	
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B	470626.51	A	
Xanxerê	2	407075.19	363226.57	B	333597.92	A	
Chapecó	3	599477.30	535827.25	B	492299.48	A	
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B	370384.62	A	
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B	370384.62	A	
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B	457227.88	A	
Itajaí	3	618006.92	552230.63	B	507004.61	A	
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B	483726.74	A	
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B	458747.72	A	
São José	3	558608.07	499577.13	B	458747.72	A	
Joinville	5	798065.16	716696.21	B	658436.86	A	

Fonte: A autora (2023).

5.3.2 Telha metálica

Para a proposta de melhoria da telha metálica, foi realizada a substituição dos valores referente a telha de fibrocimento para o novo material e efetuada a simulação computacional para os 19 municípios de análise. Os valores obtidos com esta proposta estão apresentados no Quadro 21, identificando resultados semelhantes aos obtidos com o sombreamento da edificação. Todos os municípios tiveram mudança na sua carga térmica total e atingiram um nível mais alto de classificação da envoltória, passando de B para A e C para B, com o caso específico de São Carlos, que teve como edificação real o nível C e com a troca da telha já chegou ao alcance do nível A.

Quadro 21 – Nível de etiquetagem obtida com proposta de troca de telha.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência	Real		Telha metálica	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	359411.71	319791.88	C	299205.25	B
Urupema	1	251984.48	225211.34	C	207676.39	B
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B	460604.55	A
Caçador	2	320498.98	285180.03	B	262418.16	A
Canoinhas	2	353548.68	314169.52	B	292802.79	A
Criciúma	2	658447.78	588039.57	B	550362.81	A
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C	343500.04	A
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B	508823.09	A
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B	476817.37	A
Xanxerê	2	407075.19	363226.57	B	337274.84	A
Chapecó	3	599477.30	535827.25	B	501565.83	A
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B	376517.68	A
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B	376517.68	A
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B	464619.38	A
Itajaí	3	618006.92	552230.63	B	514432.82	A
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B	493988.24	A
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B	465797.41	A
São José	3	558608.07	499577.13	B	465797.41	A
Joinville	5	798065.16	716696.21	B	673782.05	A

Fonte: A autora (2023).

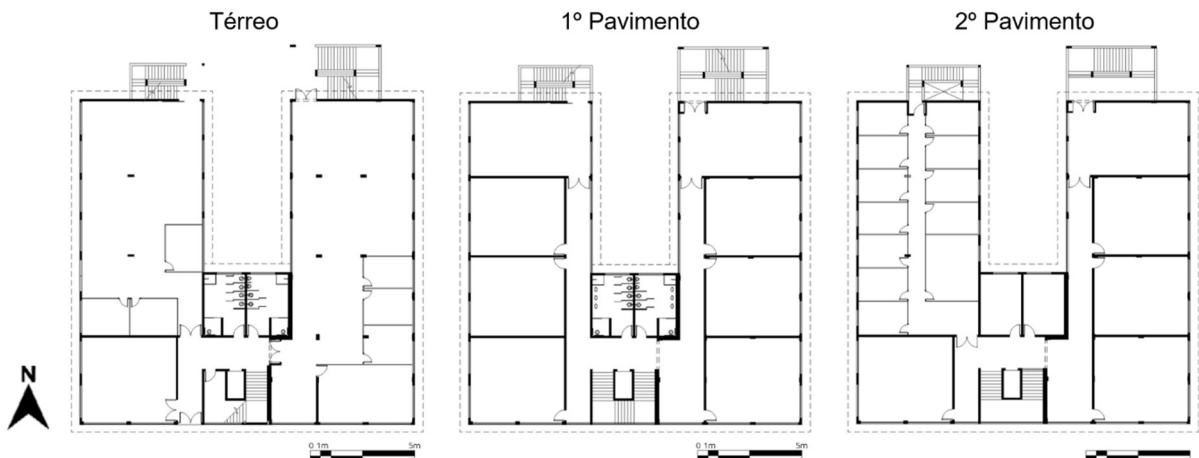
5.3.3 Orientações solares

As orientações solares foram analisadas tendo em vista a sua relação com o posicionamento da edificação, de modo a influenciar em como principalmente a radiação solar e a incidência de ventos atinge a construção e influencia de forma positiva ou negativa o seu desempenho térmico e a eficiência energética. Esta análise foi desenvolvida, rotacionando a edificação em relação as orientações solares, devido a construção real estar implantada a 66º em relação ao norte.

5.3.3.1 Norte

O posicionamento da edificação em relação ao norte, fez com que o seu ângulo de implantação em relação ao mesmo fosse considerado como 0º. A implantação corresponde ao indicado na Figura 21.

Figura 21 – Posição da edificação - Norte.



Fonte: A autora (2023).

Efetuando o método de simulação com os parâmetros da edificação com 0º em relação ao norte, resultou nos valores do Quadro 22, que demostram que a construção apresentou o mesmo nível de classificação para 13 cidades, dois municípios alteraram de classificação para valores melhores passando de C para B, sendo estes Urupema e São Carlos. E, 4 cidades tiveram a redução da sua classificação de B para C, através do aumento de sua carga térmica total, sendo eles Criciúma, Jaraguá do Sul e Joinville.

Quadro 22 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Norte.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência	Real		Norte	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	359411.71	319791.88	C	326507.76	C
Urupema	1	251984.48	225211.34	C	214202.76	B
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B	479010.93	B
Caçador	2	320498.98	285180.03	B	278422.32	B
Canoinhas	2	353548.68	314169.52	B	309378.57	B
Criciúma	2	658447.78	588039.57	B	588874.30	C
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C	351213.48	B
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B	529457.95	B
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B	508712.67	B
Xanxerê	2	407075.19	363226.57	B	343815.54	B
Chapecó	3	599477.30	535827.25	B	546318.89	C
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B	398285.01	B
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B	398285.01	B
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B	486511.09	B
Itajaí	3	618006.92	552230.63	B	544193.55	B
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B	534363.99	C
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B	501856.95	B
São José	3	558608.07	499577.13	B	501856.95	B
Joinville	5	798065.16	716696.21	B	756342.98	C

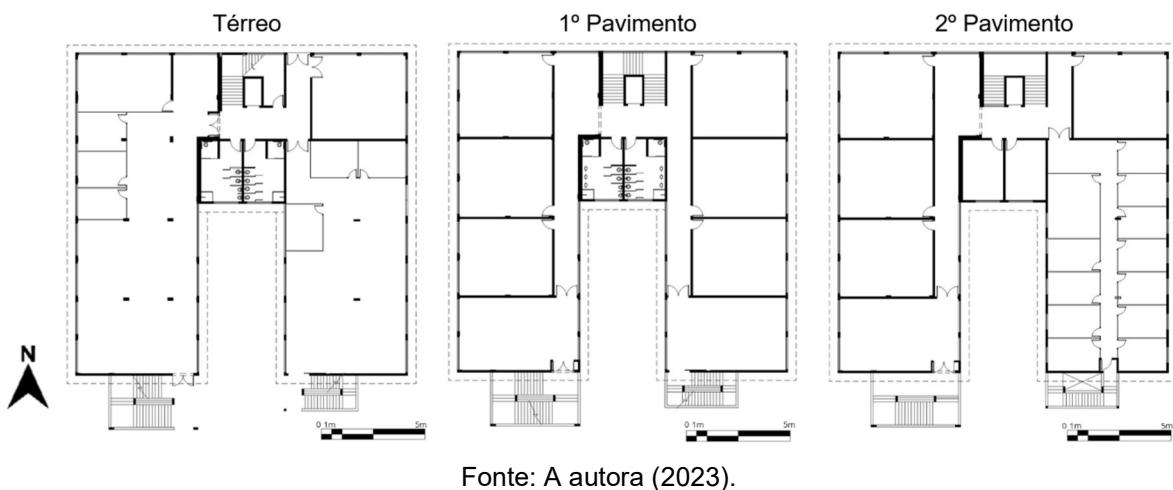
Fonte: A autora (2023).

Portanto, a rotação da edificação em relação ao norte apresentou a redução de carga térmica em 12 municípios, com um valor médio de 2,33% de redução de carga térmica nos mesmos.

5.3.3.2 Sul

Para as análises de influência da rotação da edificação para a orientação sul em relação ao posicionamento real, foi adicionado um ângulo de 180º em relação ao norte no método de simulação, conforme indicado na Figura 23.

Figura 22 – Posição da edificação - Sul.



Fonte: A autora (2023).

Através da simulação computacional, foram obtidos os valores de carga térmica conforme apresentados no Quadro 22 para a orientação sul da edificação. Ao analisarmos esses resultados, fica claro que apenas um dos municípios, São Carlos, registrou uma melhora em sua carga térmica e nível de classificação, avançando de C para B. Por outro lado, 16 cidades alteraram de nível B para C, enquanto duas mantiveram o nível C.

A rotação da edificação em relação a sul apresentou o aumento de carga térmica em 17 municípios, com um valor médio de 3,04% de acréscimo de carga térmica nos mesmos.

Esses resultados indicam que, para a orientação sul da edificação, os valores simulados se apresentaram inferiores aos valores reais. Esse cenário pode ser atribuído, em grande parte, à grande quantidade de aberturas dispostas para norte nessa orientação, o que acarreta uma maior exposição dessas aberturas. Esse aumento na exposição solar contribui para o aumento da carga térmica das edificações, pois mais calor é absorvido pelas superfícies internas, o que pode resultar em desconforto térmico e maior necessidade de resfriamento. Além disso, a fachada da edificação exposta a sul apresenta somente 3 portas, que resulta em menor área para infiltração de vento na edificação nesta orientação.

Quadro 23 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Sul.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência	Real		Sul	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	359411.71	319791.88	C	319855.43	C
Urupema	1	251984.48	225211.34	C	224452.08	C
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B	516164.45	C
Caçador	2	320498.98	285180.03	B	288178.92	C
Canoinhas	2	353548.68	314169.52	B	316797.06	C
Criciúma	2	658447.78	588039.57	B	621561.41	C
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C	366136.23	B
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B	562860.37	C
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B	526038.60	C
Xanxerê	2	407075.19	363226.57	B	365426.60	C
Chapecó	3	599477.30	535827.25	B	565952.33	C
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B	419734.76	C
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B	419734.76	C
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B	506752.83	C
Itajaí	3	618006.92	552230.63	B	560569.94	C
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B	557622.28	C
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B	513398.73	C
São José	3	558608.07	499577.13	B	513398.73	C
Joinville	5	798065.16	716696.21	B	755360.62	C

Fonte: A autora (2023).

5.3.3.3 Leste

Para a rotação da edificação em relação a leste foi considerado o ângulo de 90º em relação a norte, conforme o indicado na Figura 23.

Figura 23 – Posição da edificação - Leste.



Fonte: A autora (2023).

Os resultados do método de simulação para a orientação leste estão apresentados no Quadro 24. Entre as 19 cidades analisadas, 12 mantiveram seu nível de classificação em B, 4 reduziram de B para C, 2 reduziram de C para D (Lages e São Carlos) e 1 aumentou de C para B (Urupema).

A rotação da edificação em relação ao leste apresentou a redução de carga térmica em 11 municípios, com um valor médio de 1,41% de redução de carga térmica nos mesmos.

Quadro 24 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Leste.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência	Real		Leste	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	359411.71	319791.88	C	338167.65	D
Urupema	1	251984.48	225211.34	C	217428.99	B
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B	485514.88	B
Caçador	2	320498.98	285180.03	B	279222.53	B
Canoinhas	2	353548.68	314169.52	B	314001.71	B
Criciúma	2	658447.78	588039.57	B	594427.20	C
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C	394049.90	D
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B	535287.07	B
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B	511696.73	B
Xanxerê	2	407075.19	363226.57	B	344277.88	B
Chapéco	3	599477.30	535827.25	B	551697.57	C
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B	401910.98	B
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B	401910.98	B
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B	490924.84	B
Itajaí	3	618006.92	552230.63	B	549005.38	B
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B	542984.77	C
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B	503691.64	B
São José	3	558608.07	499577.13	B	503691.64	B
Joinville	5	798065.16	716696.21	B	735748.17	C

Fonte: A autora (2023).

5.3.3.4 Oeste

A análise para a orientação oeste considerou o ângulo de 270º em relação a norte, conforme indicado na Figura 24.

Figura 24 – Posição da edificação - Oeste.



Fonte: A autora (2023).

Os resultados para a orientação oeste são apresentados no Quadro 25. Dos municípios analisados 12 mantiveram seu nível de classificação B, 2 permaneceram com nível C, 4 reduziram de nível B para C e 1 teve seu nível aumentado de C para B.

A rotação da edificação em relação ao oeste apresentou a redução de carga térmica em 9 municípios, com um valor médio de 0,75% de redução de carga térmica nos mesmos e o aumento de carga térmica em 10 cidades, com um valor médio de 1,04% de acréscimo.

Quadro 25 – Nível de etiquetagem obtida com a orientação solar - Oeste.

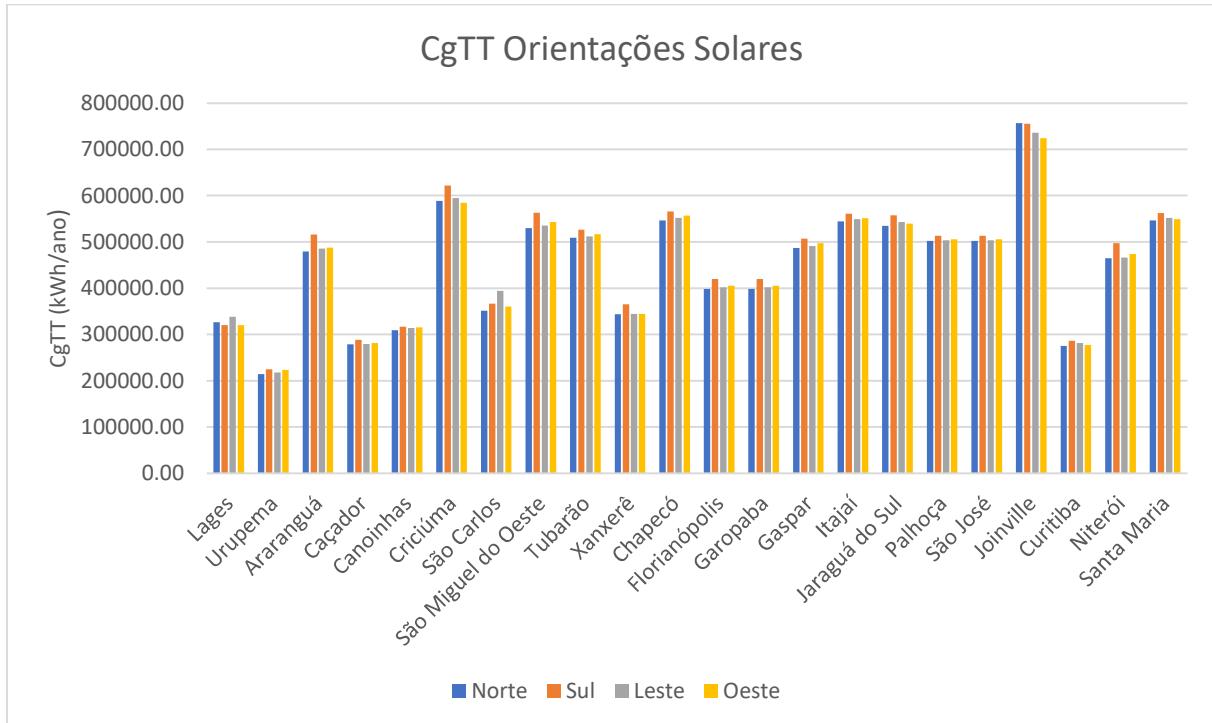
Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Referência	Real		Oeste	
		CgTT (kWh/ano)	CgTT (kWh/ano)	Classificação	CgTT (kWh/ano)	Classificação
Lages	1	359411.71	319791.88	C	320320.55	C
Urupema	1	251984.48	225211.34	C	223504.30	C
Araranguá	2	553827.44	494321.63	B	487362.07	B
Caçador	2	320498.98	285180.03	B	281086.47	B
Canoinhas	2	353548.68	314169.52	B	315506.38	B
Criciúma	2	658447.78	588039.57	B	584365.23	B
São Carlos	2	412824.81	369332.77	C	359901.52	B
São Miguel do Oeste	2	609247.41	544205.90	B	542976.03	B
Tubarão	2	573966.87	512446.31	B	516810.48	C
Xanxerê	2	407075.19	363226.57	B	344613.42	B
Chapecó	3	599477.30	535827.25	B	556565.75	C
Florianópolis	3	451229.46	403400.88	B	405205.58	B
Garopaba	3	451229.46	403400.88	B	405205.58	B
Gaspar	3	557707.89	497950.33	B	497009.15	B
Itajaí	3	618006.92	552230.63	B	551328.79	B
Jaraguá do Sul	3	586808.78	526711.34	B	539696.26	C
Palhoça	3	558608.07	499577.13	B	505422.62	B
São José	3	558608.07	499577.13	B	505422.62	B
Joinville	5	798065.16	716696.21	B	724210.51	C

Fonte: A autora (2023).

5.3.3.5 Comparativo de orientações solares

Com os resultados obtidos, por meio do método de simulação para as orientações solares, foi perceptível a influência no ganho de calor da edificação com a rotação de seu posicionamento. Com isto, foi elaborado o gráfico da Figura 25, agrupando todos os resultados obtidos para as quatro orientações, de modo que para cada cidade seja identificado a posição que mais lhe traga benefícios.

Figura 25 – Comparativo de orientações solares.



Fonte: A autora (2023).

No Quadro 26 é apresentado a compilação dos dados das orientações solares, com a indicação da melhor e da pior posição para cada município, considerando os valores de carga térmica.

Quadro 26 – Indicações de orientações solares.

Câmpus	Zoneamento Bioclimático	Melhor Resultado		Pior Resultado	
		Orientação	Classificação	Orientação	Classificação
Lages	1	Sul	C	Leste	D
Urupema	1	Norte	B	Sul	C
Araranguá	2	Norte	B	Sul	C
Caçador	2	Norte	B	Sul	C
Canoinhas	2	Norte	B	Sul	C
Criciúma	2	Oeste	B	Sul	C
São Carlos	2	Norte	B	Sul	C
São Miguel do Oeste	2	Norte	B	Leste	D
Tubarão	2	Norte	B	Sul	C
Xanxerê	2	Norte	B	Sul	C
Chapecó	3	Norte	C	Sul	C
Florianópolis	3	Norte	B	Sul	C
Garopaba	3	Norte	B	Sul	C
Gaspar	3	Norte	B	Sul	C
Itajaí	3	Norte	B	Sul	C
Jaraguá do Sul	3	Norte	C	Sul	C
Palhoça	3	Norte	B	Sul	C
São José	3	Norte	B	Sul	C
Joinville	5	Oeste	C	Norte	C

Fonte: A autora (2023).

No conjunto das cidades analisadas, um total de 16 delas mostraram-se com menor valor de cargas térmicas quando direcionadas para a orientação norte. Essa preferência se deve ao fato de que a fachada voltada para o norte apresenta uma menor quantidade de aberturas, o que resulta em uma redução significativa da incidência direta de radiação solar no interior da edificação. Isso implica em menor ganho de calor e possibilita um melhor controle da temperatura interna.

Por outro lado, as demais fachadas, com aberturas distribuídas ao longo de sua extensão, viabilizam a passagem de ventos e contribuem para a ventilação cruzada em todo o edifício.

No entanto, é relevante destacar que as orientações menos favoráveis, totalizando 16 municípios, foram aquelas voltadas para o sul. Essas fachadas

enfrentam uma maior exposição à incidência solar direta, o que pode acarretar um aumento significativo na carga térmica das edificações.

Além disso, foram identificados dois municípios com fachadas direcionadas para o leste e um município com fachada voltada para o norte como as piores orientações em termos de desempenho térmico. Isso mostra que a adequada escolha da orientação da edificação desempenha um papel crucial no desempenho térmico e eficiência energética das edificações.

A análise abrangente das orientações das fachadas nas edificações dos municípios revela a importância de se considerar cuidadosamente o posicionamento das aberturas e a exposição solar direta em relação ao desempenho térmico. A opção por uma orientação adequada, como a orientação norte que oferece menor incidência solar, aliada à utilização da ventilação cruzada para a otimização do desempenho térmico da edificação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No cenário atual brasileiro é comum a realização de projetos sem um estudo para aproveitamento de recursos naturais, os quais são imprescindíveis para o melhor desempenho térmico e eficiência energética das edificações, sendo este, um problema nacional que se estende a região de estudo. A adaptação ao clima do local de implantação da edificação é de grande importância. Deve-se pensar em fatores como a insolação e direcionamento dos ventos, além de localização de janelas, cores de coberturas e fachadas, utilização de itens para sombreamento e elementos naturais de seu entorno, como a vegetação.

O presente estudo teve a finalidade de elucidar a importância do estudo do desempenho térmico e eficiência energética nas edificações educacionais, de forma a melhorar a qualidade do ambiente de ensino e aprendizagem, analisando, se o custo reduzido, originado da padronização de projetos em setores públicos é viável, do ponto de vista da qualidade das edificações para as pessoas que a utilizam, e se as adaptações realizadas a cada edificação são eficazes. Com isso, pode-se modificar a visão e enriquecer a aplicação da arquitetura bioclimática na implementação de projetos no setor público, principalmente na área da educação, de modo a pensar na qualidade do ensino, aliada ao bem-estar do estudante no seu local de estudo. Além disso, tem o intuito de propor melhorias para as construções analisadas, seguindo diretrizes da arquitetura bioclimática para tornar o IFSC uma instituição de ensino pública com etiqueta “A” do Procel Edifica.

O estudo abrange questões de interesse social, econômico e ambiental, tendo em vista sua importância para o progresso econômico, o qual deve ser conquistado paralelamente com o uso racional de recursos naturais, com objetivo de evitar sua escassez. Assim, desenvolvendo edifícios que apresentam melhor desempenho térmico e eficiência energética é possível reduzir a demanda de geração de energia, atenuar os danos gerados ao meio ambiente, diminuir os gastos do próprio edifício público e fornecer melhor conforto térmico.

Para a obtenção dos resultados foram utilizados os dois métodos de análise da INI-C, sendo estes o método simplificado e o método de simulação para os 19 municípios com câmpus do IFSC, sendo este pertencente ao estado de Santa Catarina e compreendendo 4 zoneamentos bioclimáticos distintos.

Para a análise do método simplificado foi utilizado o metamodelo disponível na interface web, com os arquivos climáticos disponibilizados para cidades com climas denominados semelhantes, conforme a INI-C. Obteve-se como resultado a classificação B da edificação real, o que se mostrou positivo comparado a edificação de referência, mas foi constatada a necessidade de aprimorar a envoltória da edificação a fim de otimizar o seu desempenho.

Para o método de simulação foi efetuada a modelagem completa da edificação por meio do Sketchup e do plugin OpenStudio, a qual permite constituir a base dos arquivos a serem utilizados no EnergyPlus, sendo inserido neste programa as informações de propriedades térmicas da edificação, assim como informações específicas de seu funcionamento. O destaque para este método está na maior disponibilidade de arquivos climáticos dos locais da análise, o que permite que as informações relacionadas estejam mais fiéis a realidade. Os resultados obtidos com a comparação da edificação real com a de referência por este método, alcançaram a classificação B e C. Ao total foram realizadas oito simulações por município, correspondente aos itens de edificação real, referência, alteração de telha, sombreamento, norte, sul, leste e oeste, totalizando 152 simulações e dois arquivos para cada uma delas, um para ventilação e outro para ar condicionado.

O estudo de melhorias da envoltória foi realizado por meio da inclusão de elementos de sombreamento e alteração da telha da edificação, os quais se mostraram benéficos, pois reduziram a carga térmica da edificação e aumentaram o nível de classificação para o alcance da etiqueta A. As orientações solares também foram analisadas, por meio da rotação da edificação, verificando que para diferentes orientações são obtidas cargas térmicas diferentes, e utilizando desta informação para os projetos das edificações pode-se melhorar o seu desempenho térmico.

Ao comparar os métodos, foram identificadas diferenças na classificação do nível de etiquetagem das edificações, foi efetuada uma comparação no método de simulação entre os resultados obtidos com o arquivo climático do local da edificação e o arquivo climático utilizado para análise no método simplificado, de modo que tornasse possível a verificação de que os arquivos climáticos utilizados no primeiro método de estudo estavam próximos ou não a realidade dos municípios que estão associados.

Em Joinville, esta comparação mostrou grande variação. Na análise do método simplificado da cidade foi utilizado o arquivo climático de Niterói/RJ e no método de

simulação o arquivo de clima foi o do próprio município. A comparação evidencia que as cargas térmicas em Niterói são inferiores às de Joinville, o que demonstra que as duas cidades possuem climas distintos.

Com os resultados do estudo é perceptível que o método de simulação apresenta resultados mais precisos, devido a utilização de arquivos climáticos dos locais de estudo e o detalhamento dos dados de entrada para a simulação. A interface web atual do método simplificado possui algumas oportunidades de melhoria para aumentar a eficiência da ferramenta, sendo os principais pontos a falta de capacidade de salvar informações para análise e edições futuras, assim como a disponibilização de um maior banco de dados climáticos de cidades com zoneamento distintos, de forma a promover uma maior precisão nos resultados.

Por fim, o presente estudo alcançou seus objetivos, identificando outros câmpus do IFSC que utilizaram o mesmo projeto da edificação do câmpus Joinville, efetuando a análise de sua eficiência energética através dos métodos simplificado e de simulação, para classificar o nível de etiquetagem dos projetos e propôs melhorias para a otimização do desempenho térmico e da eficiência energética das edificações.

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Efetuar a análise dos outros sistemas para classificação da eficiência energética conforme a INIC.
- Investigar o desempenho térmico e a eficiência energética de diferentes sistemas construtivo aplicadas a edificações na área da educação, tais como alvenaria convencional, alvenaria com isolamento térmico, e construções em steel frame, visando identificar qual proporciona melhores resultados.
- Analisar o desempenho térmico e energético de edificações em diferentes regiões climáticas do país não abordadas neste trabalho, levando em consideração zoneamento bioclimáticos distintos, e propor soluções específicas para cada localidade.
- Desenvolver um guia prático e acessível para os profissionais da construção civil, contendo diretrizes e recomendações para projetar e construir edificações na área da educação com alta eficiência energética, abordando questões técnicas, legislação vigente e melhores práticas sustentáveis.
- Estender a análise do desempenho térmico e eficiência energética para outras edificações públicas ou institucionais, comparando os resultados com os padrões do IFSC, a fim de identificar tendências e diretrizes para aprimorar a eficiência energética em diferentes tipos de construções.
- Realizar um estudo de caso sobre a implementação de medidas de eficiência energética em edificações do IFSC, acompanhando os resultados após a aplicação das melhorias, para avaliar o impacto real na economia de energia e no conforto dos usuários.
- Desenvolver um estudo de diretrizes para elaboração do projeto arquitetônico, abordando os temas da orientação das edificações, a configuração das aberturas e o layout interno, no desempenho térmico das construções na área da educação, visando propor projetos mais eficientes e com um maior conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais de até 5 pavimentos: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ALMEIDA, Alcides Vieira de. **Dos aprendizes artífices ao CEFET-SC**. Florianópolis: CEFET-SC, 2002.

BARRETT P., DAVIES F., ZHANG Y., BARRETT L. **O impacto do design da sala de aula na aprendizagem dos alunos**. Building and Environment. V. 89, p. 118-132. Jul. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.013>.

BOGO, A. J. **Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575**. Holos. Natal, v. 07, n. 32. p. 290-298. ago. 2016. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/4389>. Acesso em: 14 mai. 2021.

BRASIL. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro**. Portaria nº 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). Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2021.

BRASIL. **Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro**. Portaria nº 309, de 6 de setembro de 2022. Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C). Diário Oficial da União, Brasília - DF, 2022.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – CB3E. **Manual de aplicação da INI-C**. Florianópolis: CB3E, 2021. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/Manual%20INI-C_JUN_V01.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES – CB3E. **Tutorial para o preenchimento da Interface Web de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas**. Florianópolis: CB3E, 2021. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/INI/Tutorial%20de%20uso%20-%20Interface%20Web%20Comercial.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2022.

ELETROBRAS/PROCEL; INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial; CB3E - Centro Brasileiro de eficiência energética em edificações. **Manual para etiquetagem de edificações públicas**: gestor público. Florianópolis, 2014.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GERALDI, Matheus Soares. **Building stock modelling for energy benchmarking of schools in Brazil.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

GRUNBERG, Paula Regina Mendes. **Avaliação das estratégias bioclimáticas de projeto para clima quente e úmido através de simulação:** Estudo de caso de edificação unifamiliar em Joinville/SC. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

IFSC. **Campus.** Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://www.ifsc.edu.br/campus>. Acesso em: 13 maio 2021.

IFSC. **Missão, visão e valores.** Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://www.ifsc.edu.br/missao-visao-e-valores>. Acesso em: 13 maio 2021.

IFSC. **Onde tudo começou?** Instituto Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.ifsc.edu.br/historico>. Acesso em: 13 maio 2021.

GARCIA, Jayne. **Análise do desempenho termoenergético da envoltória em habitações de interesse social de Joinville/SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2020.

GONÇALVES, J. C. S.; BODE, K. **Edifício ambiental.** [S.I.]: Oficina de Textos, 2015.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comercias, de Serviços e Públicas (RTQ-C).** Rio de Janeiro, 2013.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas.** 2021.

INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Anexo geral V – Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros.** 2013.

KAMIMURA, Arthur; GNECCO, Veronica; FOSSATI, Michele; DE VECCHI, Renata; LAMBERTS, Roberto. **Da eficiência energética à nzeb: avaliação de uma edificação educacional pelo método simplificado da ini-c.** XVI encontro nacional de conforto no ambiente construído, [S. I.], p. 2-9, 2 fev. 2021.

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

KUMAWAT, R.; SINGH, R. **Planing and design of green building architecture: A concept of sustainability.** International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering, v. 6, n. 4, p. 04–06, 2019.

LABEEE. **Manual de Simulação Computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus - Versão 8.0.** LABEEE: [s. n.], 2013. 56 p.

LAKHDARI, K.; SRITI, L.; PAINTER, B. **Parametric optimization of daylight, thermal and energy performance of middle school classrooms, case of hot and dry regions.** Building and Environment. 21 jul. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/-abs/pii/S0360132321005746>.

LAMBERTS, R. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética no Brasil: Pesquisa Setor Comercial e Prédios Públicos.** PROCEL-Eletrobrás, 2007.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3.ed. São Paulo. 2014.

LAMBERTS, Roberto et al. **Desempenho térmico de edificações.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2016.

LEITE, Ellen Flávia Weis. **A influência da ventilação e do sombreamento de aberturas na eficiência energética da envoltória de edificações da administração municipal de Joinville/SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2020.

LEITE, E. F. W. et al. **Análise estatística de dados climáticos das cidades de Joinville/SC e Niterói/RJ.** Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 9, n. esp., p. 207-223, fev. 2020. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8696/4849.

MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. da. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil.** Ambiente Construído, Porto Alegre. 2005.

MOSTAFAVI, N.; FARZINMOGHADAM, M.; HOQUE, S. **Envelope retrofit analysis using equest, iesve revit plug-in and green building studio: a university dormitory case study.** International Journal of Sustainable Energy, Taylor & Francis. 2015.

OLIVEIRA, P. A. de. **Influência dos elementos de envoltória no desempenho termo energético de edifícios institucionais no clima tropical semiárido.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2017.

PEREZ, Y. V.; CAPELUTO, I. G. Climatic considerations in school building design in the hothumid climate for reducing energy consumption. Applied Energy, v. 86, mar. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.05.007>.

PROCEL EDIFICA. **Eletrobras – PROCEL Edifica.** Disponível em: <<http://www.pbeedi-fica.com.br/node/24>> Acesso em: 10 jun. 2020.

RODRÍGUEZ, C. M. ; CORONADO, M. C.; MEDINA, J. M. **Thermal comfort in educational buildings: The Classroom-Comfort-Data method applied to schools in Bogotá, Colombia.** Building and Environment. 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/-article/abs/pii/S0360132321000937>.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil.** São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012.

RORIZ, M. **Segunda proposta de revisão do zoneamento bioclimático do Brasil.** São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 2012.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – versão 3.0.** São Carlos: ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. 2014.

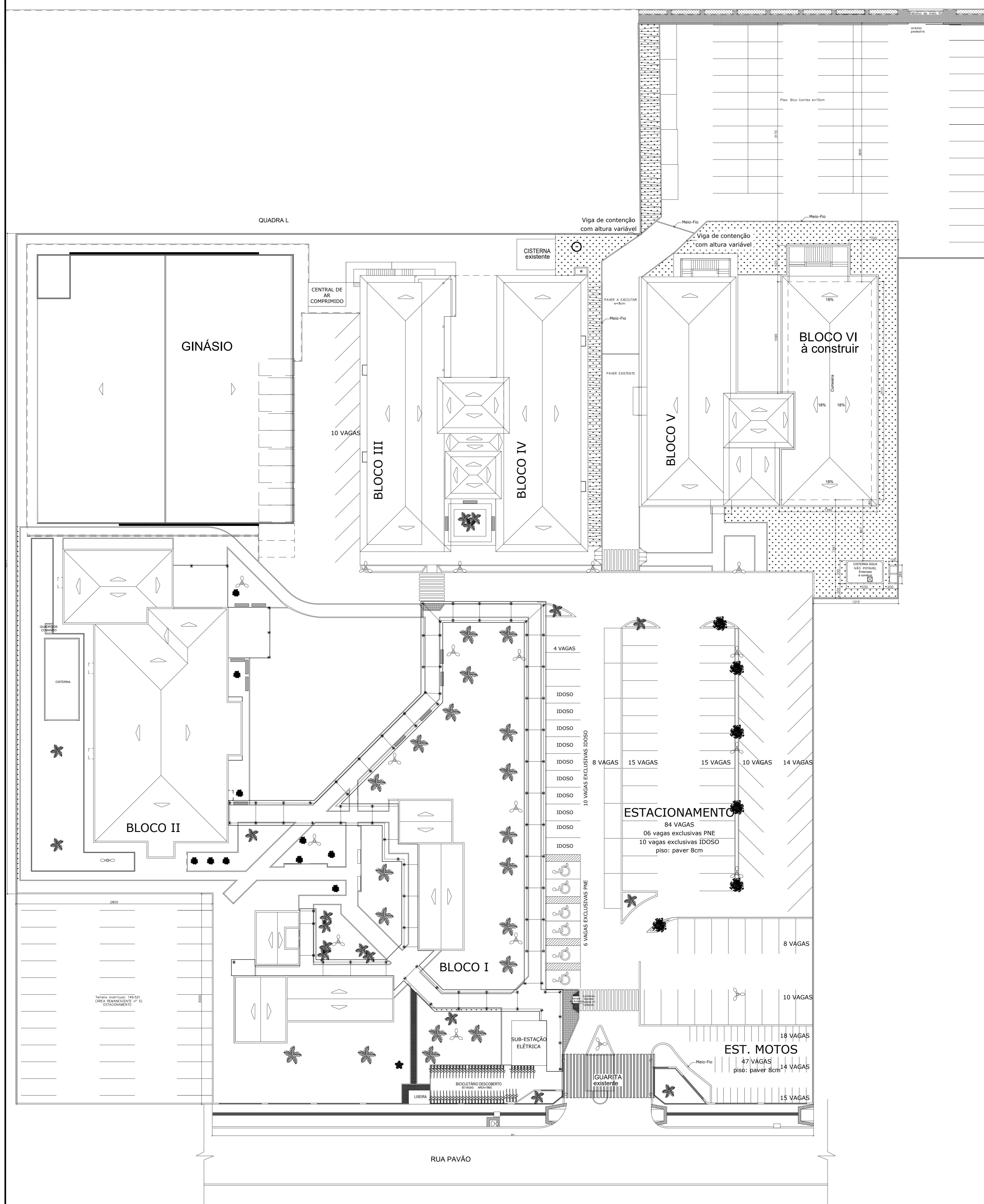
RITA, A. J. d. S. et al. **Construção, materiais e conforto em ambiente tropical: a arquitetura nos trópicos.** Edições Universitárias Lusófonas, 2014.

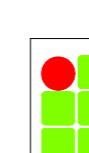
SARAIVA, T. S.; DA SILVA, E. M.; ALMEIDA, M.; BRAGANÇA, L. **Comparative study of comfort indicators for school constructions in sustainability methodologies: Schools in the amazon and the southeast region of Brazil.** Sustainability. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5216>.

TONDO, Gabriela Hanna. **Influência das estratégias bioclimáticas no desempenho térmico em edifícios escolares.** 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2017.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PROJETO ARQUITETÔNICO



 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
Coordenação de Engenharia-COENGE

PROJETO: ARQUITETÔNICO

OBJETO: BLOCO V E VI - CAMPUS JOINVILLE

RESP. TÉCNICO:

PROPRIETÁRIO:

RÓMULO OLIVEIRA GONÇALVES
ENG. CIVIL - CREA-SC/063752-9

IF-SC

ESCALA:
INDICADA
DESENHO:
DATA:
SET/2016

CONTEÚDO:

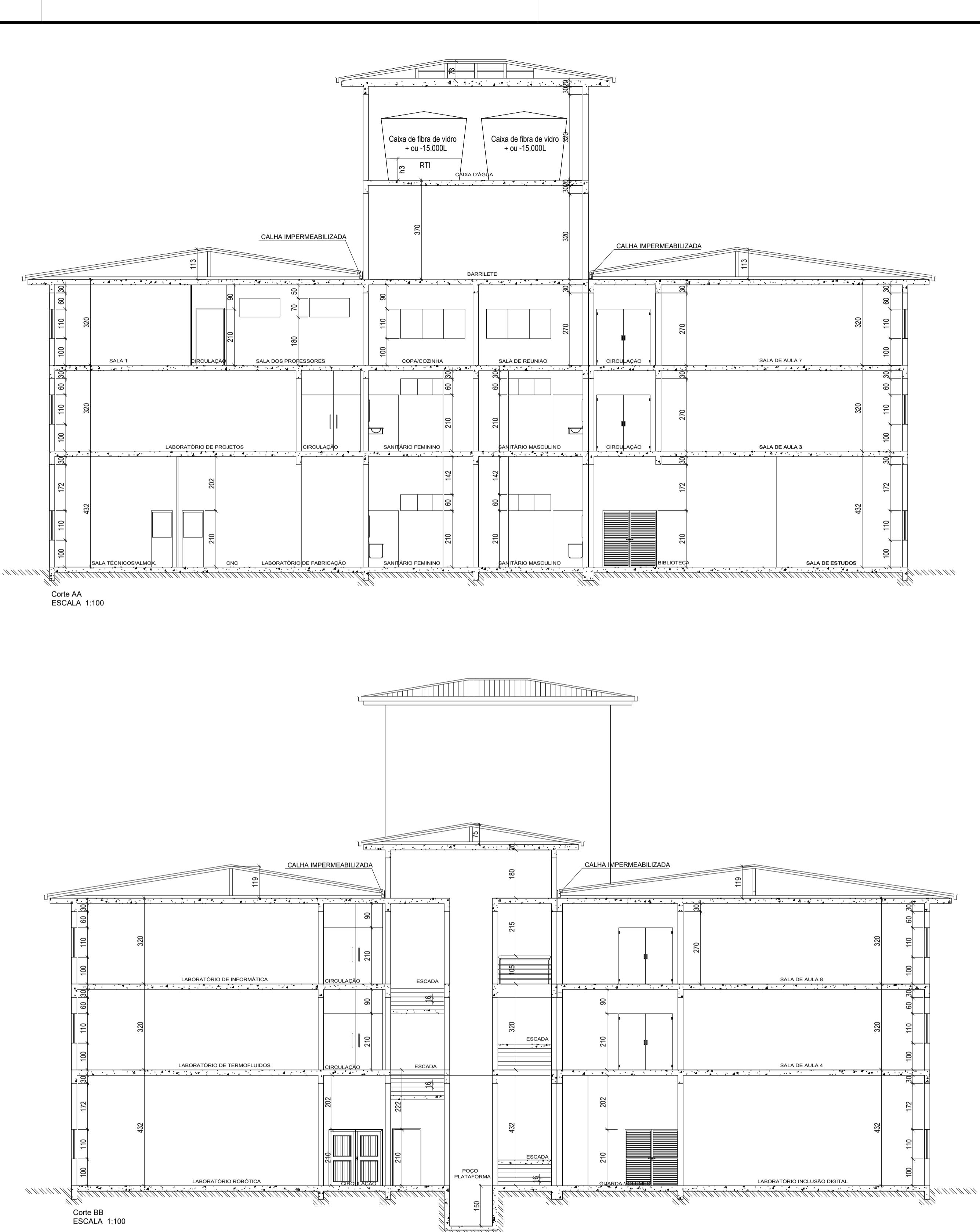
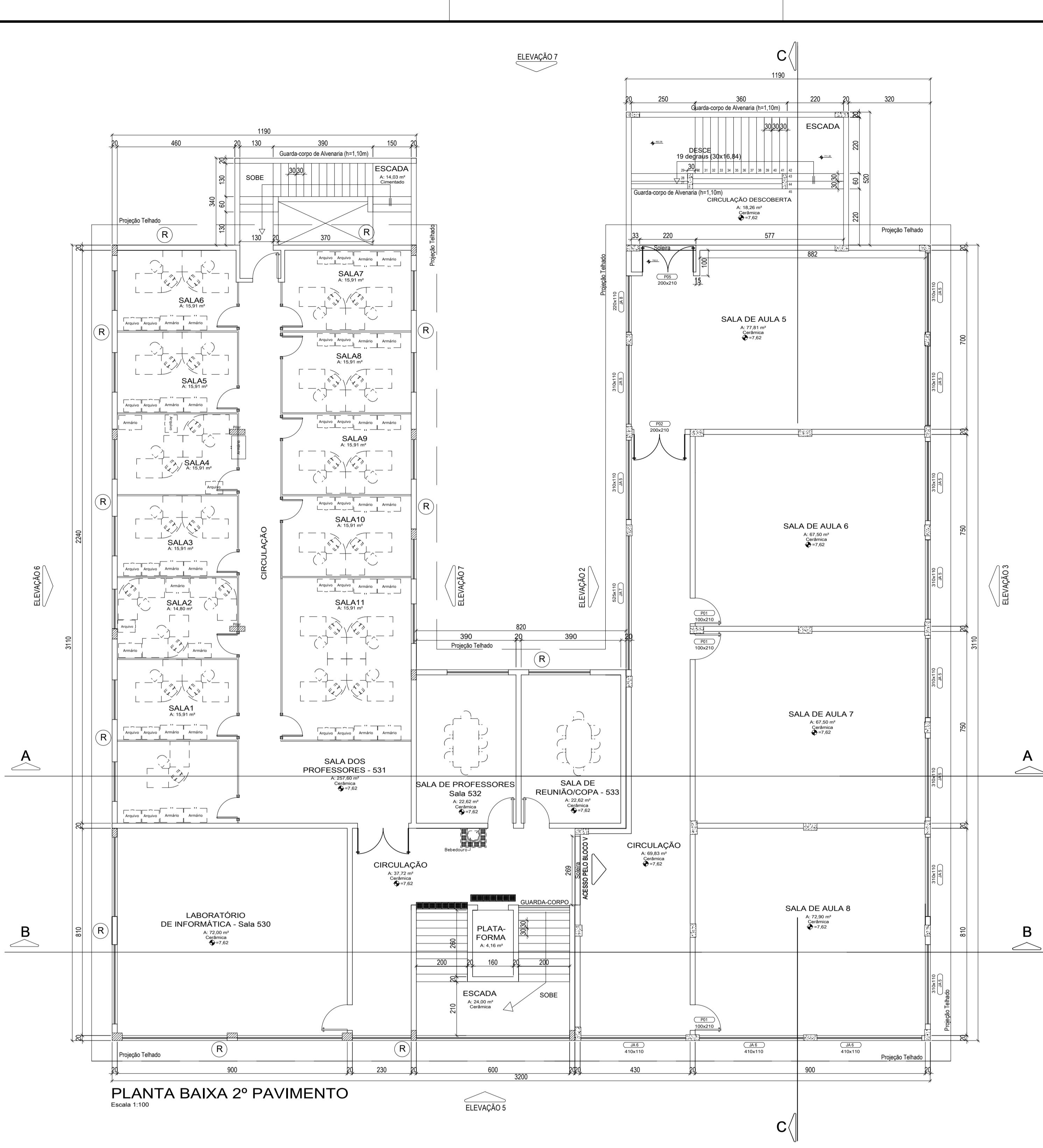
IMPLEMENTAÇÃO

ARQUIVO:

UNIDADE:

JOINVILLE

01
05



 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
Coordenação de Engenharia-COENGE

PROJETO: ABOQUETETÔNICO

OBJETO: BLOCO V E VI - CAMPUS JOINVILLE

RESP. TÉCNICO:

PROPRIETÁRIO:

**ESCALA:
INDICADA**

RÔMULO OLIVEIRA GONÇALVES
ENGº CIVIL - CREA-SC/063752-9

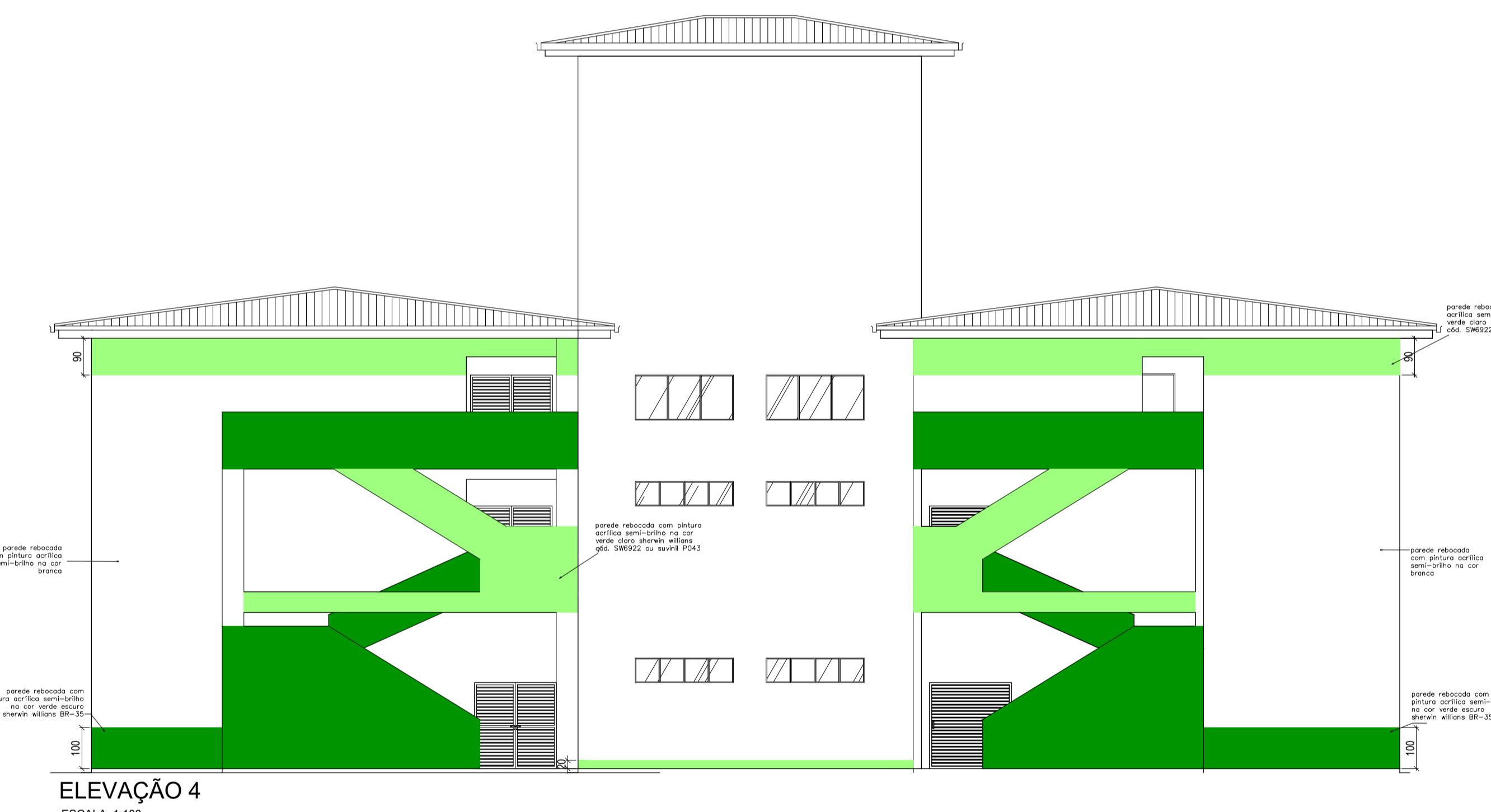
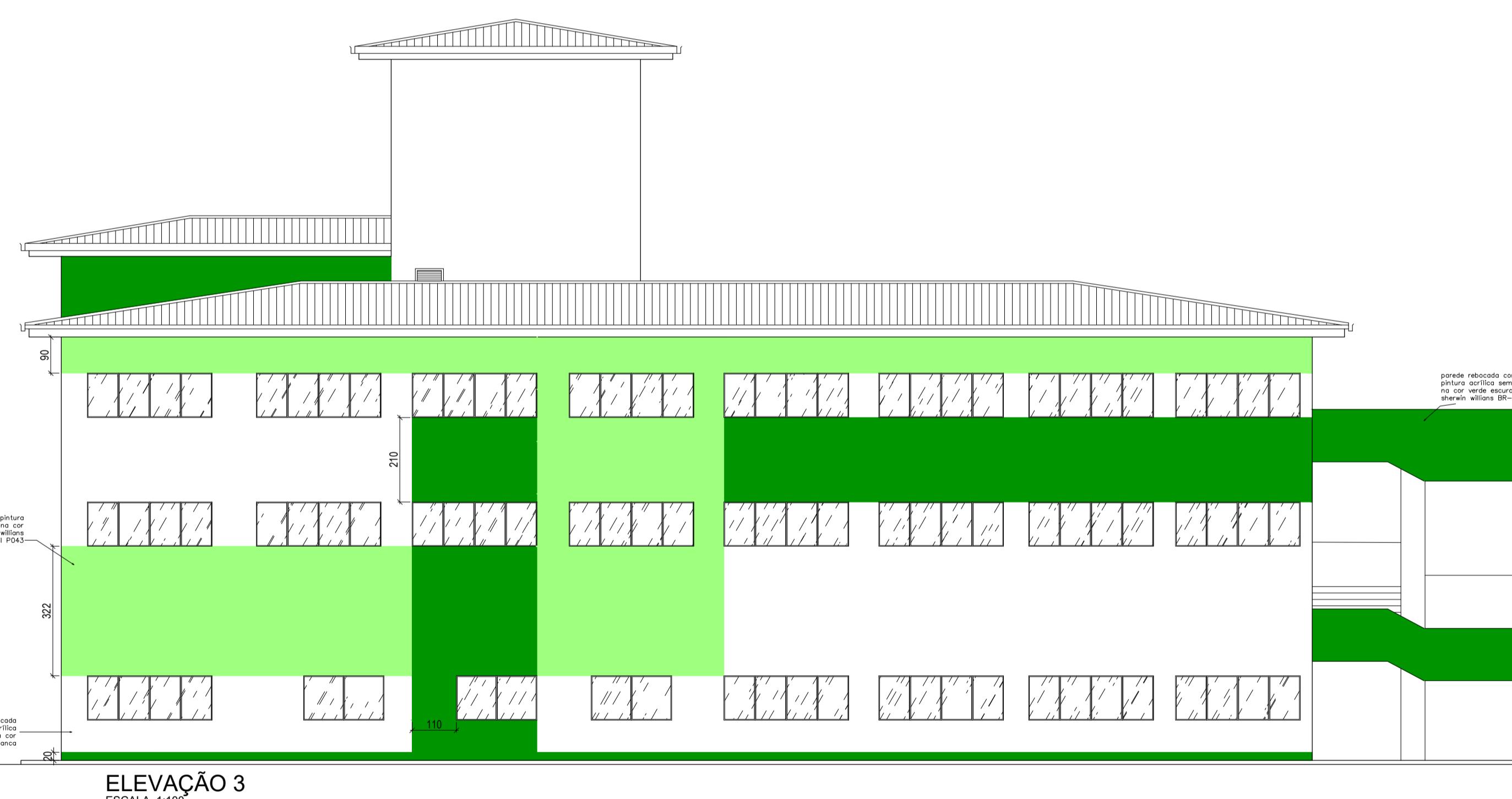
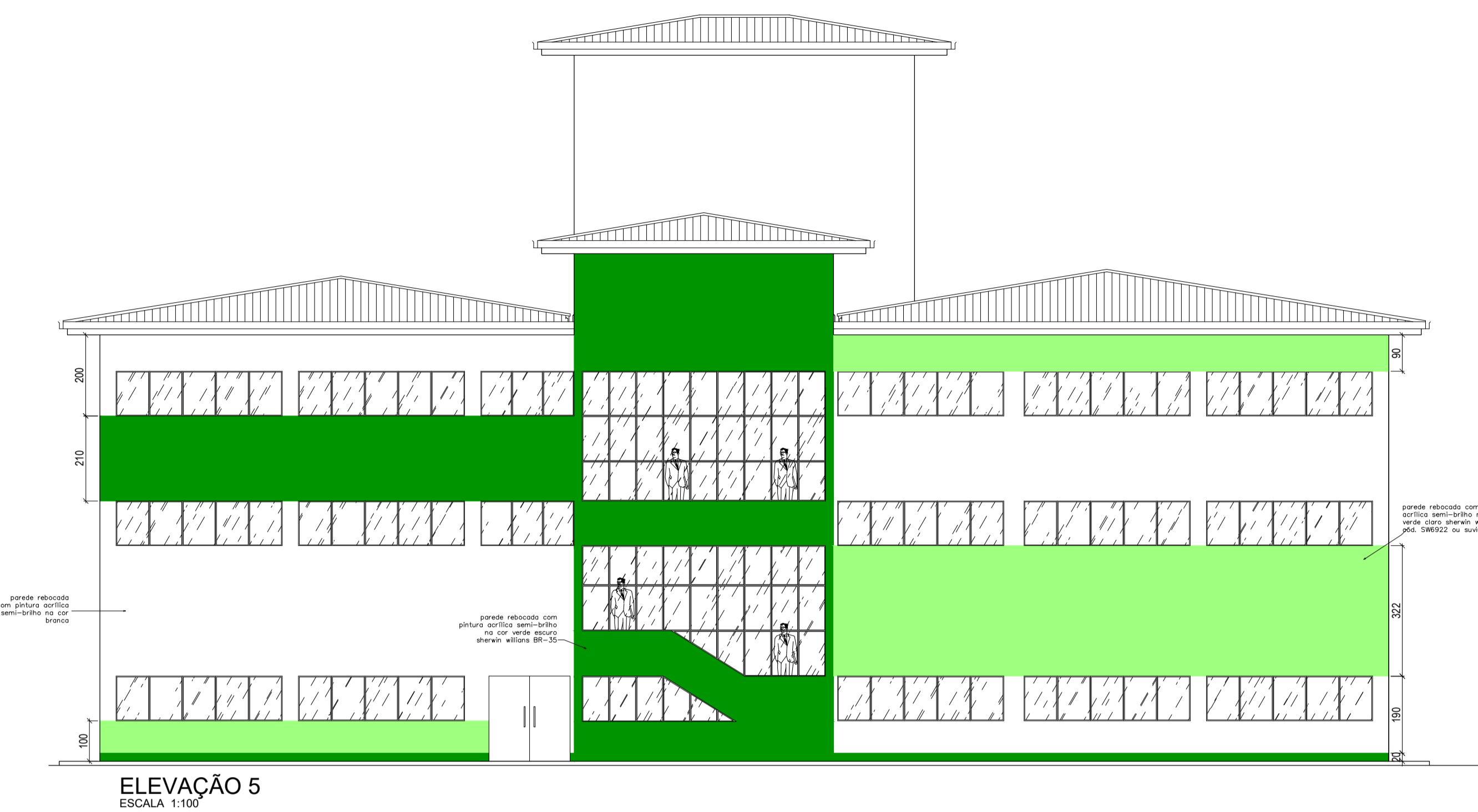
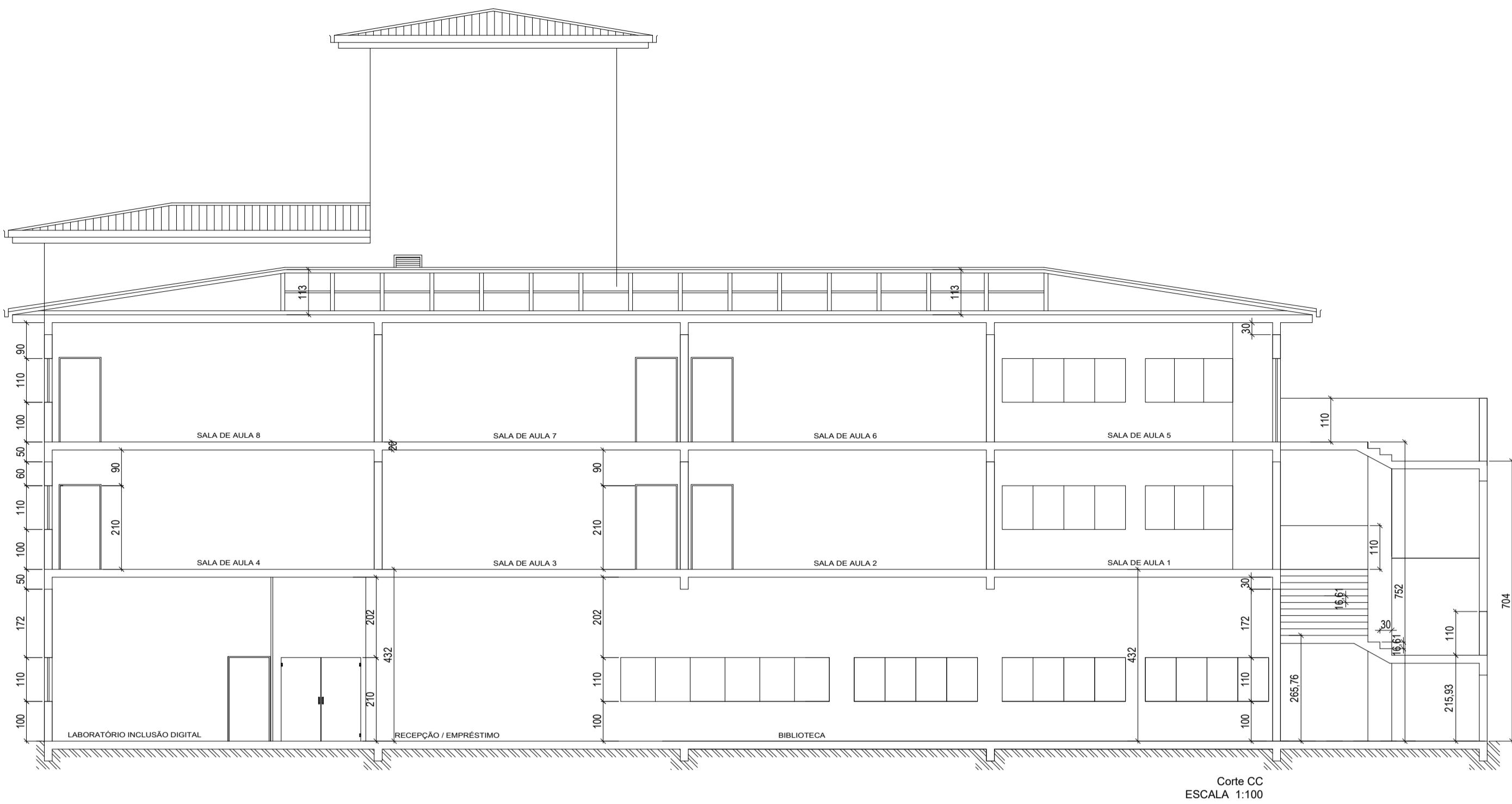
CONTEÚDO:

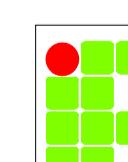
ARQUIVO:	UNIDADE: JOINVILLE
----------	------------------------------

(13)

05

Page 1 of 1



 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
Coordenação de Engenharia-COENGE

PROJETO: ARQUITETÔNICO

OBJETO: BLOCO V E VI - CAMPUS JOINVILLE

RESP. TÉCNICO:

PROPRIETÁRIO:

ESCALA:
INDICADA
DESENHO:

RÔMULO OLIVEIRA GONCALVES
ENG° CIVIL - CREA-SC/063752-9

IF-SC

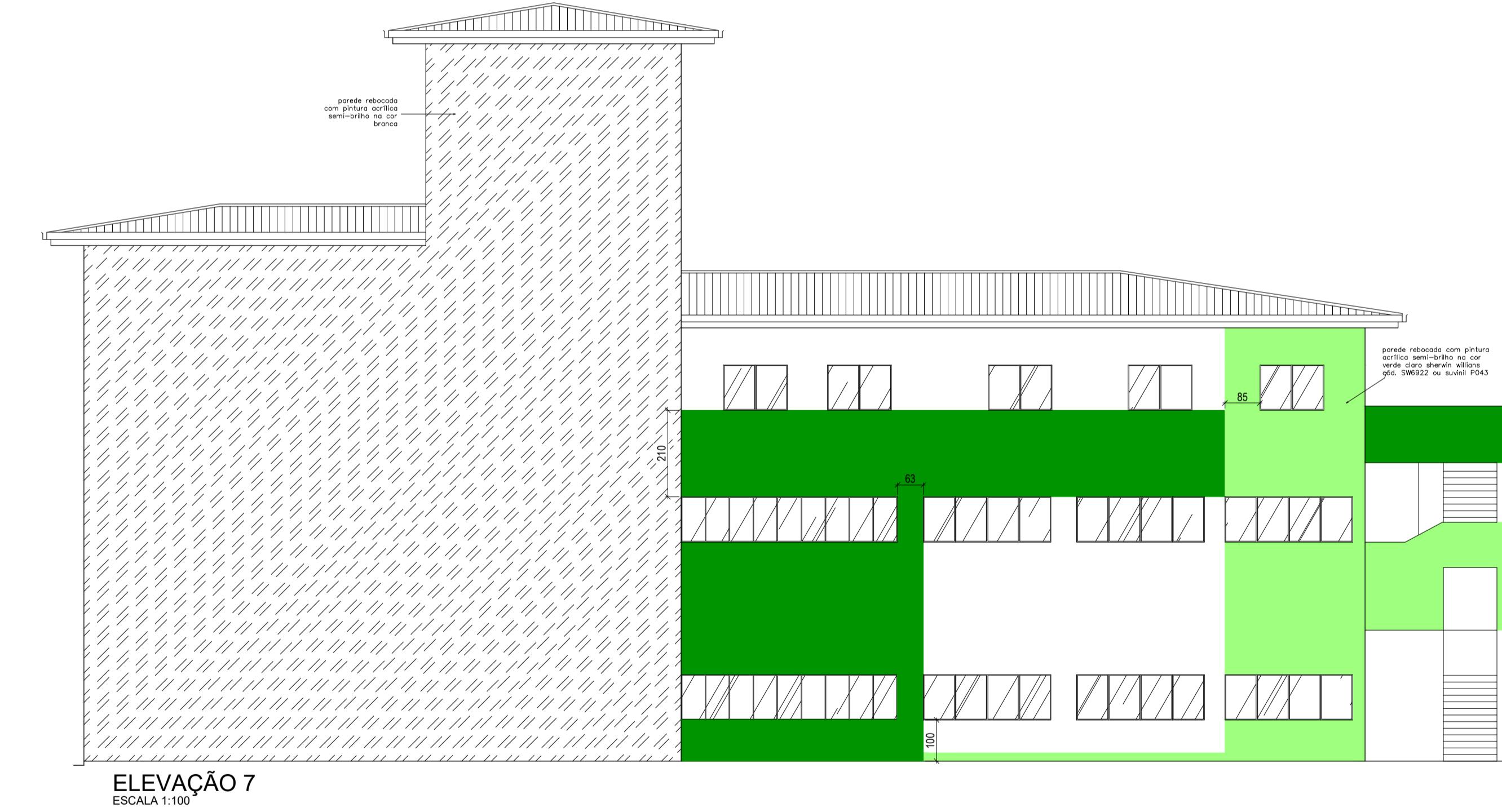
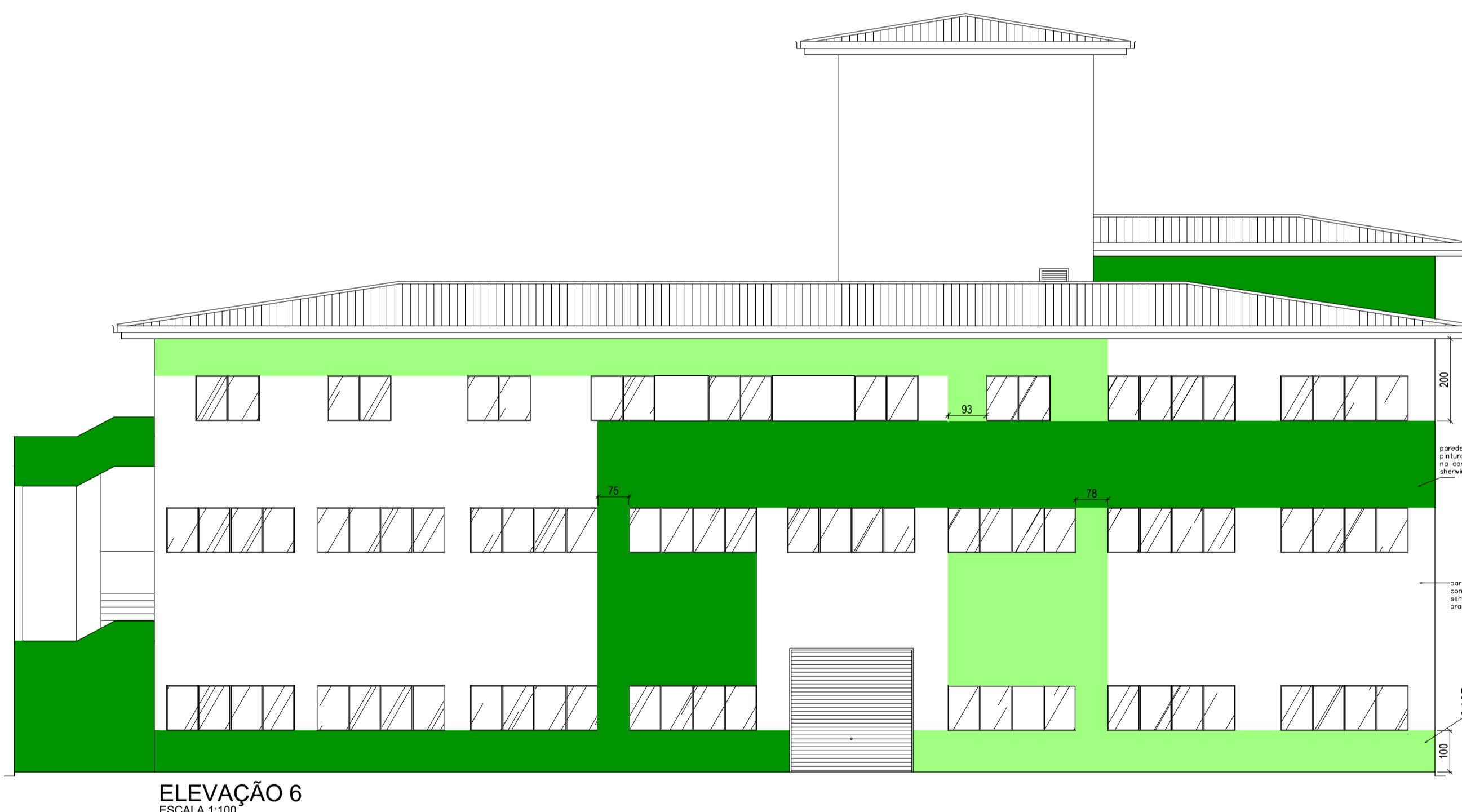
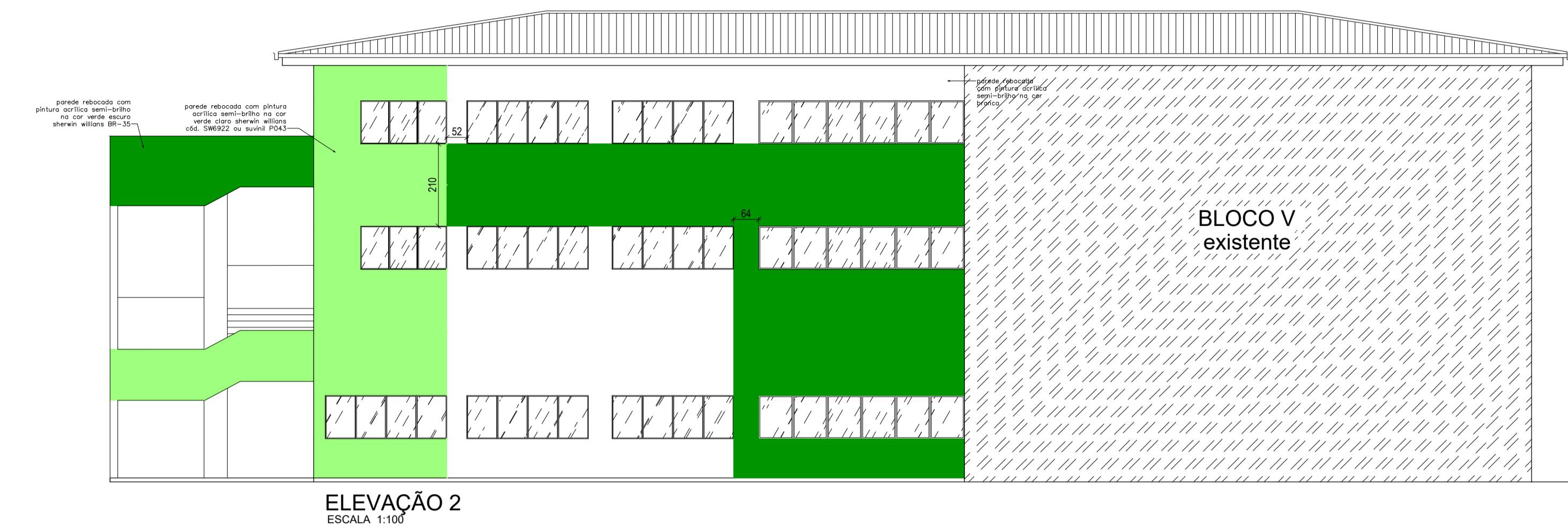
DATA:
SET/2016

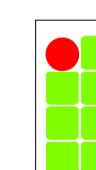
CONTEÚDO:
CORTES E FACHADAS

ARQUIVO: UNIDADE:
JOINVILLE

04

05



 INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
Coordenação de Engenharia-COENGE

PROJETO: ARQUITETÔNICO

OBJETO: BLOCO V E VI - CAMPUS JOINVILLE

RESP. TÉCNICO:	PROPRIETÁRIO:	ESCALA: INDICADA
RÔMULO OLIVEIRA GONCALVES ENGº CIVIL - CREA-SC/063752-9		IF-SC
CONTEÚDO: FACHADAS		DATA: SET/2016
ARQUIVO:	UNIDADE: JOINVILLE	
05	05	