

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE ENERGIA

**ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA  
EDIFICAÇÃO HISTÓRICA EM PORTO ALEGRE**

por

**Caroline Hansel**

Monografia apresentada à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia de Energia da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharel em Engenharia de Energia.

Porto Alegre, outubro de 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE ENERGIA

ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA  
EDIFICAÇÃO HISTÓRICA EM PORTO ALEGRE

por

Caroline Hansel

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS  
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA.**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Flávio Antonio Becon Lemos  
Coordenador do Curso de Engenharia de Energia

Orientadora: Prof. Dra. Leticia Jenisch Rodrigues  
Coorientadora: Dra. Fernanda Lamego Guerra

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cirilo Seppi Bresolin – DEMEC / UFRGS  
Prof. Dr. Francis Henrique Ramos França – DEMEC / UFRGS  
Prof. Dra. Lais Zucchetti – DECIV / UFRGS

Porto Alegre, 05 de outubro de 2022

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, eu gostaria de agradecer aos meus pais, **Ju e Juir**, pelo constante incentivo para que eu seguisse o caminho que me fizesse mais feliz. Pelos exemplos de profissionais e de pessoas que são. As características que formam a engenheira que quero ser vêm de vocês dois.

Aos meus irmãos, **Gabriele e Ezequiel**, e à minha cunhada **Giovanna**, pelo apoio incondicional. Obrigada por seguirem ao meu lado apesar de qualquer acontecimento. Pelo carinho, cuidado e compreensão.

Aos **amigos de Venâncio e companhia**, por terem trilhado comigo toda essa caminhada até aqui. Por, mesmo depois de tanto tempo, tanta história e tantos erros (e acertos também), ainda estarem ao meu lado. Laura, Bá, Nanda, Thomas, Tita, Ju, Lin, Pedro, Lari, Helena, Ana, Camille, Gabi, Ton, Matheus... Dos amigos mais antigos aos mais recentes, muito obrigada por tudo.

Às **amigas da Simone**, pelo carinho de sempre e por me acolherem tão bem. Le, Aguirre, Nati, Le Lopes, Doia, Tartari, Bá, Zorzo. Amo vocês tudo o que dá.

Ao **Gui** e ao **Thomás**, por fazerem todos os dias mais divertidos e leves. Obrigada por me ensinarem tanto em tão pouco tempo (não só sobre o mercado de energia) e pelo cuidado e companhia de sempre.

À minha psicóloga, **Nathalia**, pela dedicação e sensibilidade e por segurar a barra comigo até aqui.

Aos meus colegas da Energia, com quem compartilhei o caminho, e a todos os que vieram antes de nós, por comprovarem que ninguém alcança o sucesso sozinho. Ninguém vira engenheiro sozinho. Obrigada por compartilharem de tantas alegrias e, por muitas vezes, tantos sofrimentos. **Vic, Lu, Haas, Júlia, Gabi, Artur, Gabi M., Ju (é difícil listar todo mundo!), e também a todos os que trocaram de curso pelo caminho**, foi um prazer compartilhar a sala de aula e um pouco da vida com vocês. E ao colega e amigo (e engenheiro!) **Marcos**, que por tantas vezes teve disposição e paciência pra me ajudar no processo do TCC. Obrigada pela atenção e por me tranquilizar.

A todos os amigos que eu fiz na UFRGS, de tantos cursos diferentes. Principalmente à **bateria e à atlética**, por me darem a oportunidade de conhecer tanta gente que fez esses últimos anos serem mais leves. (E ao **Leleo**, por aguentar a minha loucura nos últimos meses com todo o carinho).

À família da Si, **tia Vera, tio Dago, Celso e Dani**, por terem me cuidado tão bem durante esses anos de engenharia e por terem sido como uma segunda família pra mim em Porto Alegre.

Às minhas orientadoras, **prof. Letícia e Fernanda**, por aceitarem fazer parte deste trabalho e por mostrarem tanto entusiasmo pelo tema quanto eu. Muito obrigada pela paciência e pelos ensinamentos. Foi um prazer poder aprender com vocês.

Aos nossos **professores** por incentivarem nossa curiosidade e autonomia, obrigada por todos os ensinamentos.

À **UFRGS e à comunidade acadêmica**, por não abrirem mão da ciência em meio a tantas adversidades. E à sociedade por nos proporcionar um ensino público, gratuito e de qualidade.

Por fim, à **minha melhor amiga, Simone**. Se houvesse a chance de voltar no tempo, por mais que a jornada da engenharia tenha sido difícil, eu repetiria meus passos milhares de vezes, só pra cruzar o teu caminho de novo. Dividir todos os momentos da graduação contigo foi um privilégio e tua companhia é uma leveza que eu quero pra sempre comigo. I love you so so much.

HANSEL, C. **Análise do Desempenho Energético de uma Edificação Histórica em Porto Alegre**. 2022. 25 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

## **RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo investigar as particularidades e possíveis ações da análise de eficiência energética em edificações antigas, visando o conforto térmico de seus ocupantes e a manutenção cultural do patrimônio histórico edificado. O edifício estudado é o Castelinho, edificação que faz parte do conjunto histórico da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), inventariado pela prefeitura municipal de Porto Alegre. Foi construído em 1906 e atualmente, após reforma finalizada em 2006, é utilizado para atividades do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE). Para as análises foi utilizada a ferramenta de simulação computacional *EnergyPlus*, com dados de entrada de ocupação e funcionamento do prédio e utilizados arquivos climáticos específicos de Porto Alegre. Os resultados da simulação permitiram a análise dos índices de conforto térmico segundo a norma ASHRAE 55. Dessa forma, foi possível apresentar alternativas passivas para a climatização, de sombreamento e isolamento térmico. É possível, assim, aprimorar o conforto térmico da edificação e, ao mesmo tempo, respeitar suas características originais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eficiência Energética, EnergyPlus, Conforto Térmico, ASHRAE 55, Edifícios Históricos, Patrimônio Cultural Edificado.

HANSEL, C. **Análise do Desempenho Energético de uma Edificação Histórica em Porto Alegre**. 2022. 25 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

## **ABSTRACT**

This work aims to investigate the particularities and possible actions through energy efficiency analysis in heritage buildings, aiming at the thermal comfort of its occupants and the cultural maintenance of the built historical heritage. The object of study will be the Castelinho, a building that is part of the historic set of the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), inventoried by the municipal government of Porto Alegre. It was built in 1906 and currently, after renovation completed in 2006, it is used for the activities of the Center for Building Innovation (NORIE). For the analyses, the computer simulation tool *EnergyPlus* was used, with input data of the building's occupation and operation and specific climatic files from Porto Alegre. The simulation results allowed the analysis of thermal comfort indices according to the ASHRAE standard 55. In this way, it was possible to present passive alternatives, such as shading and thermal insulation. Thus, it is possible to improve the thermal comfort of the building and, at the same time, respect its original characteristics.

**KEYWORDS:** Energy Efficiency, EnergyPlus, Thermal Comfort, ASHRAE 55, Heritage Buildings, Built Cultural Heritage.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Métodos de determinação de conforto térmico: (a) método gráfico e (b) método adaptativo. . . . .	3
Figura 2	Carta Bioclimática de Porto Alegre. . . . .	4
Figura 3	Fotos da área externa do Castelinho (a) antes (c. 1960) e (b) após (2010) as reformas. . . . .	7
Figura 4	Corte lateral da planta da reforma do Castelinho. . . . .	8
Figura 5	Enumeração das Zonas Térmicas criadas para o modelo. . . . .	9
Figura 6	Vista em perspectiva do modelo do edifício e dos três pavimentos separados. . . . .	10
Figura 7	Vistas sul (a), leste (b), norte (c) e oeste (d) do modelo do edifício. . . . .	10
Figura 8	Exemplo de como são ordenadas as camadas do entrepiso (a) e o forro da zona abaixo(b) . . . . .	11
Figura 9	Bloco de vidro de <i>Falconnier</i> (a) e bloco quebrado, localizado no Instituto Eletrotécnico, do mesmo conjunto que o utilizado na edificação (b). . . . .	12
Figura 10	Representação dos tipos de janela em cada vista da construção. . . . .	13
Figura 11	Representação da carta solar de Porto Alegre. . . . .	14
Figura 12	Detalhes dos elementos de sombreamento na estrutura da edificação. . . . .	14
Figura 13	Representação da incidência solar para as doze horas durante o inverno em Porto Alegre. . . . .	15
Figura 14	Representações da incidência solar para três períodos durante o verão em Porto Alegre (07 horas, 12 horas e 18 horas, respectivamente), mostrando o sombreamento realizado na edificação por parte das árvores e do observatório astronômico. . . . .	15
Figura 15	Número anual de horas de conforto térmico cada zona térmica por estação do ano para o método gráfico. . . . .	17
Figura 16	Resultados do método gráfico para zona térmica da Secretaria 2 (a) e para a Sala de Reuniões (b). . . . .	18
Figura 17	Resultados do método gráfico para a Secretaria 2 (a) e a Sala de Reuniões (b). . . . .	19
Figura 18	Resultados do método adaptativo para a Secretaria 2 (a) e Sala de Reuniões (b). . . . .	20
Figura 19	Resultados do método adaptativo para a Secretaria 2 (a) e Sala de Reuniões (b) utilizando soluções passivas. . . . .	21
Figura 20	Resultados do método gráfico para a Sala de Reuniões utilizando soluções passivas. . . . .	22

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Propriedades dos materiais utilizados na simulação. . . . .	11
Tabela 2	Propriedades dos vidros utilizados na simulação. . . . .	13
Tabela 3	Número de horas em conforto térmico e razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação para o método gráfico. . . . .	17
Tabela 4	Número de horas em conforto térmico e razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação para o método adaptativo. . . . .	18
Tabela 5	Propriedades da cortina escolhida. . . . .	20
Tabela 6	Propriedades do isolamento escolhida. . . . .	21
Tabela 7	Número de horas em conforto térmico e razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação para o método adaptativo, considerando estratégias passivas de climatização. . . . .	21

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.</i>
CTF	<i>Conduction Transfer Function</i> (Função de transferência de condução).
EPE	Empresa de Pesquisas Energéticas.
NORIE	Núcleo Orientado para Inovação da Edificação.
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E_{t,b}$	Irradiação Direta [W/m <sup>2</sup> ].
$E_{t,d}$	Irradiação Difusa [W/m <sup>2</sup> ].
$E_{t,r}$	Irradiação Refletida [W/m <sup>2</sup> ].
$R_{bs}$	Refletância Solar na Direção Normal à Superfície Interna do Vidro [-].
$R_{bv}$	Refletância Visível na Direção Normal à Superfície Interna do Vidro [-].
$R_{fs}$	Refletância Solar na Direção Normal à Superfície Externa do Vidro [-].
$R_{fv}$	Refletância Visível na Direção Normal à Superfície Externa do Vidro [-].
$SHGC$	Coefficiente de Ganho Solar [-].
$T_s$	Transmitância Solar na Direção Normal à Superfície do Vidro [-].
$T_v$	Transmitância Visível na Direção Normal à Superfície do Vidro [-].
$T_{iv}$	Transmitância na Direção Normal à Superfície do Vidro na Faixa do Infravermelho [-].
$U$	Coefficiente Global de Transferência de Calor [W/m <sup>2</sup> K].
$\beta$	Ângulo de Altitude Solar [°].
$\gamma$	Azimute Solar [°].
$\varepsilon_b$	Emissividade Hemisférica da Superfície Interna do Vidro no Infravermelho [-].
$\varepsilon_f$	Emissividade Hemisférica da Superfície Externa do Vidro no Infravermelho [-].
$d$	Espessura do Vidro [mm].
$k$	Condutividade Térmica do Vidro [W/m.K].
$A$	Área da Janela [m <sup>2</sup> ].
$Q$	Ganho de Calor Total por Fenestração [W].
$T$	Temperatura [K].
$X_j$	Coefficiente Externo da Função de Transferência [-].
$Y_j$	Coefficiente Cruzado da Função de Transferência [-].
$Z_j$	Coefficiente Interno da Função de Transferência [-].
$\alpha$	Absortância para Radiação Solar de Ondas Curtas [-].

- $\phi$  Coeficiente de Fluxo da Função de Transferência [-].
- $q''$  Fluxo de Calor por Condução [W/m<sup>2</sup>].
- $q_b$  Ganho de Calor por Irradiação Direta [W].
- $q_c$  Ganho de Calor por Condução [W].
- $q_d$  Ganho de Calor por Irradiação Difusa [W].

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	1
3	REFERENCIAL TEÓRICO	2
3.1	Conforto Térmico	2
3.1.1	ASHRAE 55	3
3.2	NBR 15220	4
3.3	Preservação do Patrimônio Histórico	4
3.4	Simulação	5
3.4.1	Transferência de Calor por Superfícies Opacas	5
3.4.2	Ganho de Calor por Superfícies Translúcidas	6
3.4.3	Elementos de Sombreamento	6
4	METODOLOGIA	6
4.1	Histórico do Castelhinho	7
4.2	Modelagem do Projeto	8
4.2.1	Estrutura da Edificação	8
4.2.2	Zonas Térmicas	8
4.2.3	Materiais	10
4.2.4	Elementos de Sombreamento	13
4.2.5	Cargas Térmicas Internas	15
4.2.6	Infiltração	16
5	RESULTADOS E ANÁLISES	16
5.1	Método Gráfico	17
5.2	Método Adaptativo	18
5.3	Análises Gráficas	19
5.4	Análise de Alternativas Passivas	20
6	CONCLUSÕES	22
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	23
	ANEXOS	26
	APÊNDICES	27

## 1 INTRODUÇÃO

O patrimônio histórico edificado tem grande relevância social. As construções de uma cidade são como uma inscrição da história na paisagem. Elas evocam uma memória coletiva, um sentimento de pertencimento e de identificação na população (PESAVENTO, 2005). A fim de preservar estas heranças, foram desenvolvidas diversas metodologias para a revitalização de edificações antigas. Um grande desafio ao desenvolver tais projetos é que a restauração deve ser pensada a partir de uma ótica interdisciplinar, buscando atualizações que visem a segurança e o conforto dos seus ocupantes e ao mesmo tempo garantam a preservação de suas características arquitetônicas e históricas originais (FOUSEKI, 2014).

Apesar de construções antigas comumente terem baixa eficiência energética, ainda são recentes os estudos específicos sobre medidas de preservação destas focados em energia. Estas edificações são encontradas geralmente entre os setores residencial e de serviços que, segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2018), representam aproximadamente 15% do consumo total de energia no país, com alto crescimento esperado para os próximos anos. Portanto, se vê necessário investigar mais a fundo as peculiaridades de edifícios históricos a partir de um ponto de vista energético, visando otimizar seu uso.

A edificação estudada neste trabalho é o Castelinho, prédio inventariado pela prefeitura de Porto Alegre que pertence à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e abriga atualmente as atividades acadêmicas do Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação (NORIE). Ele, o prédio do Chatêau e o Observatório Astronômico formam um conjunto arquitetônico no *campus* centro da UFRGS. O Castelinho foi projetado no estilo *Art Nouveau* e foi construído em 1908 para servir como a seção de mecânica do Instituto Técnico-Profissional da Escola de Engenharia. Foi reformado ao longo dos anos para se adaptar às necessidades da Universidade, sendo a última reforma, realizada pelo Setor de Patrimônio Histórico da Universidade (SPH), finalizada já nos anos 2000.

Este trabalho analisa o desempenho energético e térmico da edificação através de índices de conforto térmico para os usuários, considerando suas características históricas como o contexto de sua criação e as intervenções ao longo dos anos. O castelinho foi modelado em 27 zonas térmicas e foram consideradas suas características construtivas e cargas internas. Foi utilizado o *software EnergyPlus* para realizar a simulação do comportamento do prédio utilizando um arquivo climático para um ano típico em Porto Alegre com base nos dados do INMET (LABEEE, 2018). São apresentados os índices de conforto térmico para a edificação e, por fim, após análises, são sugeridas estratégias passivas que aumentem o conforto daqueles que frequentam a edificação e não alterem visualmente a sua envoltória.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Pode-se encontrar na literatura alguns estudos satisfatórios sobre as particularidades do estudo da eficiência energética em edifícios históricos. Em Ascione (2011), por exemplo, através de simulações numéricas com o *EnergyPlus*, os autores encontraram a possibilidade de redução de até 22% da demanda de energia de um edifício de salas de aulas na Itália. Carotenuto (2009), por sua vez, utilizou o mesmo *software* para avaliar o desempenho termoenergético de um edifício da UFRGS com alta inércia térmica, e encontrou resultados sugerindo alterações que não modificassem a fachada do edifício.

Ao idealizar quaisquer estudos ou intervenções no patrimônio histórico edificado, é necessário, primeiramente, pensar através de uma lógica interdisciplinar. Focando em eficiência energética, Fouseki e Cassar (2014) enfatizam a importância de considerar, além de fatores históricos e arquitetônicos, também

valores sociais, econômicos e “sentimentais”. De acordo com esta afirmação, Hanna (2002), apresentou, em sua pesquisa, que é de grande importância para a maior parte de seus ocupantes trabalhar ou viver em um edifício histórico.

Logo, se destaca a importância de aumentar a habitabilidade desses prédios, como o conforto térmico, e, ao mesmo tempo, manter as características que os tornam importantes. Ao analisar o inventário de Porto Alegre, Costa (2019) conclui que, a depender da edificação, a proteção deste patrimônio deve ser tratada mais pela ótica da reabilitação do que da preservação em si.

Assim, Costa (2019) também destaca que a preocupação de órgãos públicos com questões de conservação tem relação, fundamentalmente, com a qualidade de vida na cidade. A Lei Complementar 601/08 do município de Porto Alegre trata do Inventário do Patrimônio Cultural de Bens Imóveis do Município. Nela o Castelinho, edifício tratado neste trabalho, é inventariado como “Estruturação”, o que significa que tem elementos arquitetônicos significativos e não pode ser destruído ou descaracterizado (EPAHC, 2013).

Pelo ponto de vista ambiental, a restauração de edifícios antigos pode trazer benefícios à sociedade. Estudos indicam que os rejeitos de atividades de construção civil e demolição podem representar até 70% do rejeito sólido de um município (PINTO, 1999). Munarim e Ghisi (2016) fizeram uma revisão de bibliografia trazendo diversos estudos e análises de ciclo de vida demonstrando que a restauração de edifícios históricos traz benefícios tanto ao meio ambiente quanto à edificação em si, restaurando o seu valor cultural e econômico.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Conforto Térmico**

O estudo do conforto térmico em edificações busca, principalmente, a satisfação de seus ocupantes, fator que intervém no bem-estar, na produtividade humana e na conservação de energia. De acordo com a Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers - ASHRAE*), conforto térmico é uma “condição da mente que expressa satisfação com o ambiente”(ASHRAE, 2017b). É, portanto, considerado um conceito subjetivo que depende de diversos fatores físicos, fisiológicos e psicológicos.

Apesar disso, são diversos os estudos para analisar o comportamento térmico dos ambientes, buscando melhorar seu conforto. As variáveis que influenciam o conforto térmico são o nível de atividade desempenhada, em  $W/m^2$ , e o isolamento térmico das roupas, em clo. Além destas, que são referentes ao indivíduo, existem também as variáveis relativas ao ambiente, sendo elas a temperatura do ar e a temperatura radiante média, ambas em °C, a umidade do ar e a velocidade do ar, em m/s.

No geral, os índices de conforto térmico são predições da resposta dos ocupantes e podem ser divididos em dois grupos. No primeiro estão os que se baseiam no balanço de calor, como o voto médio predito (PMV), que prevê o valor médio de satisfação de um grupo de pessoas. Ele tem base em uma escala de sensações de 7 pontos, indo de +3 (Muito Quente) a -3 (Muito Frio). No segundo, estão os índices que possuem uma abordagem adaptativa, considerando que, ao sentir desconforto térmico, os indivíduos tomarão ações para restaurarem o conforto (abertura de janelas, ventiladores, troca de roupas etc.) (LAMBERTS, 2016).

Para este trabalho, foi escolhido analisar os índices de conforto térmico seguindo a norma da ASHRAE 55 2017b.

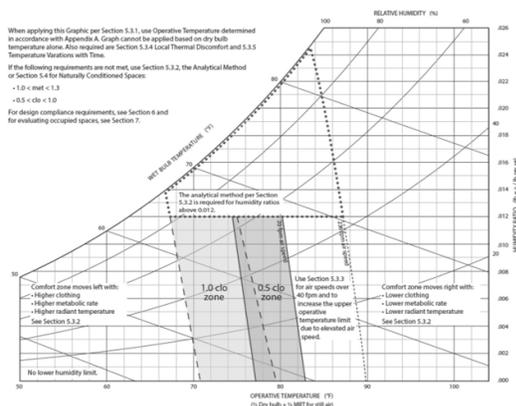
### 3.1.1 ASHRAE 55

A norma 55 da ASHRAE (2017b), Condições Térmicas para Ocupação Humana, especifica fatores ambientais e pessoais para a criação de um ambiente que proporcione conforto térmico para a maior parte de seus ocupantes. Na seção 5.3.1 ela apresenta o método gráfico da zona analítica de conforto térmico, dentro da qual se prevê uma aceitabilidade de conforto com o ambiente por parte de 80% dos ocupantes. Este método é aplicável em situações em que os ocupantes da zona têm atividade metabólica entre 1 e 1,3 met e uma vestimenta com isolamento entre 0,5 e 1 clo. Deve ser aplicada, também, somente em áreas com velocidade do ar inferior a 0,2 m/s. Ela pode ser representada graficamente sobre uma carta psicrométrica, conforme a Figura 1a. A área do gráfico representam pontos nos quais o PMV do ambiente seria ideal.

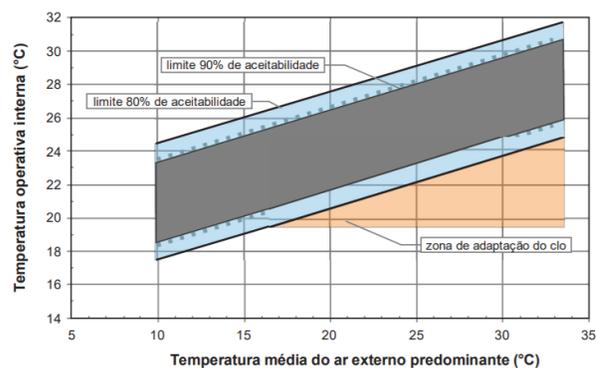
Diferente da carta psicrométrica, neste gráfico o eixo x representa a temperatura operativa, sendo esta uma média entre a temperatura de bulbo seco e a temperatura média radiante. Por conta disso, este método deve ser utilizado nas zonas nas quais estas duas últimas temperaturas podem ser consideradas iguais ou muito parecidas (SCHIAVON, 2014). Dessa forma, apesar de entregar resultados interessantes pela possibilidade de apresentá-los graficamente, este método pode apresentar erros de cálculo para representar o conforto térmico dos ocupantes da edificação.

Como alternativa, a seção 5.3. da norma apresenta o método adaptativo, também para ambientes climatizados naturalmente, no qual os ocupantes do prédio têm controle da abertura e fechamento das janelas ou até mesmo utilizam ventilação mecânica. O método relaciona a temperatura média predominante do ar externo, sendo esta uma média aritmética das temperaturas médias externas dos últimos 7 dias, e a temperatura operativa interna. A Figura 1b mostra a faixa de 80% de aceitabilidade pelos ocupantes do ambiente.

Figura 1: Métodos de determinação de conforto térmico: (a) método gráfico e (b) método adaptativo.



(a)



(b)

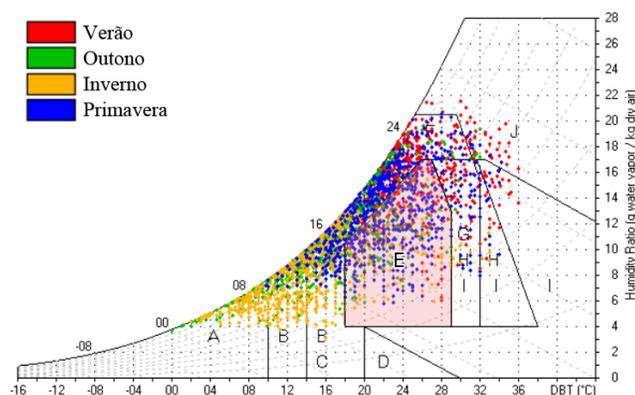
Fonte: (a) (ASHRAE, 2017b) e (b) (LabEEE (2019))

Ambos os métodos foram utilizados para analisar o comportamento das zonas térmicas da edificação desconsiderando os equipamentos de climatização. Foi considerado que os ocupantes usam uma quantidade de roupas adequada e realizam, durante a maior parte do tempo, atividades com baixa taxa metabólica.

### 3.2 NBR 15220

A NBR 15220 (ABNT, 2005) estipula normas a respeito da eficiência energética em edificações. Em sua terceira parte, ela separa o território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas, de acordo com seus padrões de clima, e sugere estratégias baseadas na carta bioclimática proposta por Givoni (1992). Esta carta se baseia em uma projeção da temperatura interna de uma edificação na localidade e é traçada sobre uma carta psicrométrica convencional. A carta é separada então em seções de acordo com a melhor solução para o estado do clima. A Figura 2 traz a carta marcada com os dados climáticos horários de Porto Alegre.

Figura 2: Carta Bioclimática de Porto Alegre.



Fonte: Adaptação do programa *EPview* (RORIZ, 2015)

Como pode ser visto na carta acima, pelo arquivo climático utilizado, a cidade passa 18,3% do ano em período de conforto térmico, área E da carta. Do restante, passa 52,8% do tempo em desconforto térmico por conta de frio e 28,9% por conta de calor. As áreas mais incidentes da carta bioclimática são B, C e F, que dizem respeito a estratégias de condicionamento térmico que têm a ver com incidência e aquecimento solar, inércia térmica e ventilação, respectivamente. Ao atingir temperaturas e umidades muito altas, a norma sugere a adoção de resfriamento artificial para melhorar o conforto dos ambientes.

Porto Alegre é classificada pela Norma como Zona Bioclimática 3. A NBR 15220 (ABNT, 2005) indica que as edificações desta zona devem, preferencialmente, possuir aberturas médias para ventilação que permitam incidência solar durante o inverno. Além disso, as paredes devem ter uma cor refletora no exterior e as coberturas devem possuir isolamento. Como estratégias passivas, traz a ventilação cruzada para o verão e aquecimento solar e vedações pesadas para o inverno, a fim de aumentar a inércia térmica.

### 3.3 Preservação do Patrimônio Histórico

A restauração de edifícios históricos é uma ação que deve reunir diversas áreas do conhecimento. Para entender as características de uma edificação, por exemplo, é necessário compreender o contexto histórico e o propósito com o qual ela foi construída, os materiais que foram utilizados e o método utilizado em sua construção.

Segundo Santos (2011, apud GRANATO, M.; RIBEIRO, E.S.; ARAÚJO, B.M. 2018), existem três faces da preservação, que nem sempre atuam em concordância: a institucional, que é mais consolidada e estabelece leis; a acadêmica, que traz o estudo dos bens patrimoniais; e a do mercado, que se mobiliza e se justifica por resultados e capital. A face institucional é, usualmente, a responsável por estabelecer a gestão do patrimônio.

Em Porto Alegre se concentra na Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural (EPAHC), para a qual devem ser encaminhados os pedidos de tombamento e que conta com um conselho para tomadas de decisão a respeito dos projetos que envolvam o patrimônio da cidade. Por sua vez, a UFRGS possui o Setor de Patrimônio Histórico (SPH), que é responsável pela gestão documental e pelos projetos de intervenção do acervo da Universidade, incluindo a edificação estudada neste trabalho.

Entretanto, a definição de patrimônio cultural e de patrimônio cultural protegido difere. Conforme Dantas (2013) os bens protegidos pelo estado são uma escolha seleta, feita a partir de premissas interpretativas. Apesar da Constituição de 1988 BRASIL estabelecer como parâmetro que os bens devem representar a história dos grupos formadores da sociedade brasileira, não existem regras fixas a serem seguidas para a categorização.

Para que estas decisões sejam tomadas, existem as chamadas Cartas Patrimoniais. Estas são documentos que surgem através de reuniões e congressos de especialistas. Elas não são um conjunto de regras, mas sim têm um caráter de orientação às boas práticas. Segundo Kühl (2010), "para elaborar uma leitura fundamentada do documento, suas formulações devem ser entendidas em relação aos postulados teóricos da época em que [a carta] foi produzida e aos desdobramentos do campo". Sendo assim, estas cartas devem ser interpretadas com base nos pensamentos da época na qual foram escritas.

### 3.4 Simulação

O programa *EnergyPlus* é um *software* livre que reúne vários módulos que, a partir das características referentes à construção de um determinado edifício, calculam o desempenho térmico e energético de zonas delimitadas. O *software* trabalha com dados de entrada como a arquivos climáticos e localização geográfica da região do objeto de estudo. Dessa forma, o programa pode calcular os ganhos energéticos de acordo com o histórico de dados climáticos e a incidência solar na edificação. Além disso, ele disponibiliza o consumo de energia elétrica do sistema. A teoria demonstrada nesta seção tem base no Manual de Referência do *EnergyPlus*<sup>TM</sup> (Energyplus, 2018).

O programa se baseia em três partes fundamentais para o balanço térmico: trocas de calor em superfícies; trocas de calor pelo de ar; e inserção de sistemas presentes no edifício, como de módulos fotovoltaicos e sistemas de refrigeração de ar.

#### 3.4.1 Transferência de Calor por Superfícies Opacas

A forma mais básica que o programa utiliza para calcular a transferência de calor por superfícies opacas é utilizando o método de funções de transferência por condução (*Conduction Transfer Function* - CTF). Este consiste em utilizar equações lineares com coeficientes de fluxo constantes que precisam ser determinados uma vez só. O *software*, então, resolve as seguintes funções:

$$q''_{ki}(t) = -Z_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_0 T_{0,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{0,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta} \quad (1)$$

$$q''_{ko}(t) = -Y_0 T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + T_0 T_{0,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{0,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta} \quad (2)$$

nas quais  $\phi_j$  é coeficiente de fluxo da função de transferência (com  $j = 1, 2, \dots, nq$ ),  $q''$  é o fluxo de calor por condução, em  $W/m^2$  e  $T$  é a temperatura, em K.  $X_j$ ,  $Y_j$  e  $Z_j$  são, respectivamente, os coeficientes externos, cruzados e internos da função de transferência por condução (com  $j = 0, 1, 2, \dots, nz$ ). Os índices  $i$ ,  $o$  e  $t$

significam um elemento do interior da edificação, um elemento do exterior da edificação e o instante de tempo, respectivamente.

### 3.4.2 Ganho de Calor por Superfícies Translúcidas

A principal variável a afetar a carga térmica de ambientes é a incidência solar. Esta, por sua vez, é mais pronunciada através de superfícies translúcidas, sendo elas janelas ou quaisquer elementos construtivos do tipo. O ganho total de calor por fenestração,  $Q$ , se dá pela Equação 3.

$$Q = q_b + q_c + q_d \quad (3)$$

na qual  $q_b$ ,  $q_c$  e  $q_d$  representam os ganhos de calor por irradiação direta, difusa e por condução. Estas, por sua vez, se definem pelas Equações 4, 5 e 6.

$$q_b = AE_{t,b}SHGC(\theta)I_{AC}(\theta, \Omega) \quad (4)$$

na qual  $A$  é a área efetiva da janela, em  $m^2$ ,  $E_{t,b}$  é a irradiação direta, em  $W/m^2$ ,  $SHGC(\theta)$  é coeficiente de ganho solar em função do ângulo de incidência  $\theta$  e  $I_{AC}(\theta, \Omega)$  é o coeficiente de atenuação solar interno.

$$q_d = A(E_{t,d} + E_{t,r})(SHGC)_DI_{ACD} \quad (5)$$

na qual  $E_{t,d}$  é a irradiação difusa, em  $W/m^2$ ,  $E_{t,r}$  é a irradiação refletida pelo solo, em  $W/m^2$ ,  $(SHGC)_D$  é coeficiente de ganho solar difuso e  $I_{ACD}$  é o coeficiente de atenuação solar difuso.

$$q_c = UA(T_{out} - T_{in}) \quad (6)$$

na qual  $T_{in}$  é a temperatura interna, em  $^{\circ}C$ ,  $T_{out}$  é a temperatura externa, em  $^{\circ}C$  e  $U$  é o coeficiente global de transferência de calor, em  $W/m^2K$ .

### 3.4.3 Elementos de Sombreamento

Segundo a ASHRAE (2017a), sombras projetadas pelo lado de fora da edificação reduzem o ganho de calor por irradiação solar em até 80%. Além de elementos externos como prédios vizinhos ou árvores próximas, muitas vezes a moldura da janela ou até mesmo a própria parede cumprem este papel. Dessa forma, é necessário incluir elementos significativos de sombreamento no modelo para que o *software* faça o cálculo das projeções das sombras.

Tomando como exemplo os ganhos de calor por fenestração, se houverem elementos de sombreamento nas janelas, os cálculos de ganho de calor utilizarão uma área  $A$  útil, que despreza as sombras projetadas nela. Os cálculos da projeção do sombreamento dependem do ângulo de altitude solar,  $\beta$ , e do azimute solar,  $\gamma$ .

## 4 METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentadas as características da edificação estudada e as considerações realizadas para a simulação.

#### 4.1 Histórico do Castelhinho

A edificação em questão localiza-se no *campus* Centro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Foi construída entre os anos de 1906 e 1908, visando abrigar, além de um gabinete para o diretor do instituto, a seção de mecânica do Instituto Técnico-Profissional da Escola de Engenharia. O prédio foi elaborado compondo um trio arquitetônico com os edifícios do Chatêau e do Observatório Astronômico. O conjunto se localiza próximo à atual Escola de Engenharia, em frente à Praça Argentina.

O espaço era utilizado originalmente como uma oficina. Um ambiente espaçoso, sem compartimentações e com pé direito alto, que contava com diversas máquinas e ferramentas para aulas práticas. Além disso, contava com uma sala no segundo pavimento do torreão, para as atividades do diretor do curso. Desde a sua construção, o Castelhinho teve diversas funções. Foi ocupado pela Biblioteca Central da Universidade Técnica, pelo Departamento de Engenharia Nuclear, e ficou desocupado por alguns anos. Todas estas mudanças no uso do edifício levaram a mudanças arquitetônicas, como a instalação de um mezanino para o aproveitamento do espaço. Em 1993 contou com um projeto de reforma, que só foi atualizado e concluído em 2006.

O projeto de revitalização, iniciado em 1990, gerou discussões por não ter sido realizado em conformidade às cartas de restauração existentes. A reforma modificou significativamente as estruturas internas do edifício, alterando as proporções dos ambientes e suas funcionalidades. Foi realizada uma subdivisão do pé direito em dois pavimentos, com uma laje de concreto engastada na alvenaria original (SPH - Secretaria do Patrimônio Histórico, 2004). Com uma proposta diferente, em 1999 a revitalização do prédio do Chatêau foi idealizada para que os elementos contemporâneos se destacassem, se diferenciando da construção original, e procurando manter a amplitude visual do espaço original, Figura 3.

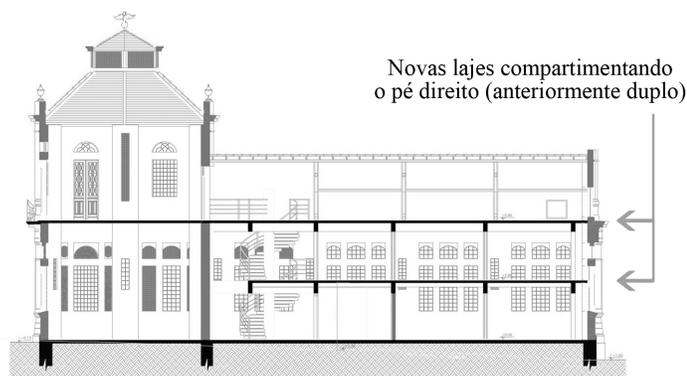
Figura 3: Fotos da área externa do Castelhinho (a) antes (c. 1960) e (b) após (2010) as reformas.



Fonte: Acervo Fotográfico do SPH (LUME - UFRGS)

A finalização do projeto do Castelhinho, nos anos 2000, contou com uma reforma na fachada e de alguns pisos. A planta da edificação (Figura 4) foi documentada após as intervenções pelo Setor de Patrimônio Histórico da Universidade. Atualmente, ele é ocupado pelo Núcleo Orientado para a Inovação das Edificações (NORIE).

Figura 4: Corte lateral da planta da reforma do Castelinho.



Fonte: Arquivos do SPH

## 4.2 Modelagem do Projeto

Para a realização da simulação foram necessárias visitas ao local de estudos para compreensão da disposição interna da edificação. A partir disso, foram realizadas adaptações dos ambientes reais para a realização dos cálculos pelo *software*. Para isso, foi necessário entender o contexto da edificação, sua origem, história, uso atual, localização e cotidiano. Esta seção descreve as considerações realizadas para a modelagem da simulação.

### 4.2.1 Estrutura da Edificação

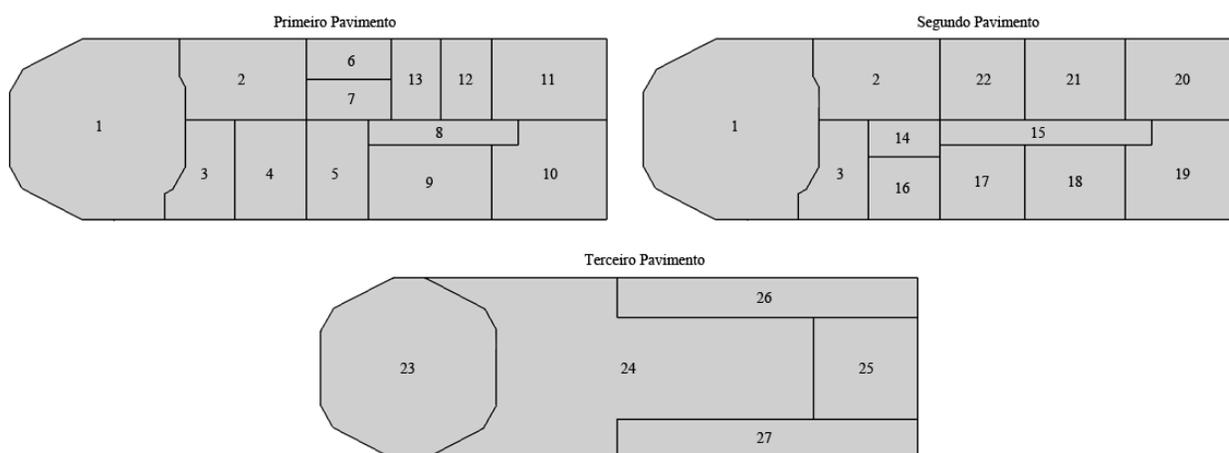
O Castelinho é, atualmente, utilizado para fins acadêmicos e administrativos. É composto por três pavimentos em sua ala e dois pavimentos na área do torreão. O primeiro pavimento consiste em uma recepção, três salas de pesquisa, uma sala para cafeteria, duas secretarias, dois banheiros e uma sala de aula. O segundo pavimento existe apenas na área da ala do edifício e consiste em seis salas para os professores e uma sala de reuniões. O terceiro pavimento, por sua vez, consiste em uma sala para os alunos de iniciação científica e novos alunos da pós graduação e uma sala de aula onde antes se localizava a sala do diretor do curso técnico. Pode se dizer que a sala de aula do terceiro pavimento é o único cômodo que é utilizado para atividades similares à sua finalidade original.

Para o acesso aos andares superiores, o edifício conta com uma escada, original da construção, que leva da sala de aula do primeiro diretamente ao terceiro pavimento. Na reforma do prédio, uma importante alteração da estrutura foi a inclusão de uma escada circular no lado oeste da ala, que dá acesso a todos os pavimentos.

### 4.2.2 Zonas Térmicas

O edifício foi modelado em 27 zonas térmicas, sendo onze delas no primeiro pavimento, nove no segundo pavimento e cinco no terceiro. Além disso, as áreas das duas escadas foram projetadas como um "vão" de cima para baixo, e com condições de contorno adiabáticas nas superfícies as quais estariam abertas, na tentativa de recriar as trocas de calor entre os andares. Por questões de simplificação do modelo, estes vãos compreendem apenas os dois primeiros pavimentos. A Figura 5 traz as plantas dos três pavimentos com cada zona especificada. Para comparação, as plantas baixas reais podem ser encontradas no Anexo A.

Figura 5: Enumeração das Zonas Térmicas criadas para o modelo.



Fonte: Autora.

O Quadro 1 traz a relação das zonas térmicas em cada pavimento.

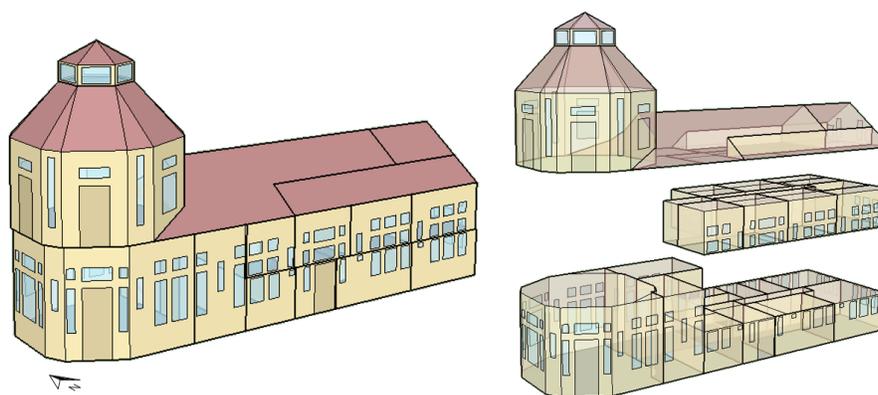
Quadro 1: Descrição das zonas térmicas criadas para o modelo.

<b>Primeiro Pavimento</b>	<b>Segundo Pavimento</b>	<b>Terceiro Pavimento</b>
1. Sala de Aula (Torreão)		23. Sala de Aula Torreão
2. Escada Circular		24. Sala de Alunos da Iniciação Científica
3. Escada Torreão		25. Sala de Reuniões
4. Cafê	14. Circulação 1	26. Telhado Norte
5. Recepção	15. Circulação 2	27. Telhado Sul
6. Sanitário Masculino	16. Sala de Reuniões	-
7. Sanitário Feminino	17. Sala de Professores 1	-
8. Circulação	18. Sala de Professores 2	-
9. Sala de Pesquisadores 1	19. Sala de Professores 3	-
10. Sala de Pesquisadores 2	20. Sala de Professores 4	-
11. Sala de Pesquisadores 3	21. Sala de Professores 5	-
12. Secretaria 1	22. Sala de Professores 6	-
13. Secretaria 2	-	-

Fonte: Autora.

Na Figura 6 é possível visualizar o edifício em perspectiva e os três pavimentos segmentados, dando uma noção de como foram distribuídas as zonas térmicas.

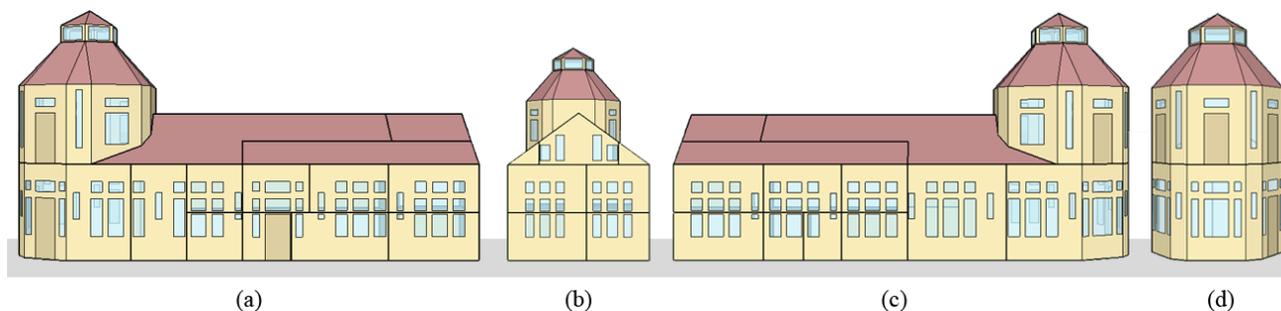
Figura 6: Vista em perspectiva do modelo do edifício e dos três pavimentos separados.



Fonte: Autora.

A Figura 7 apresenta as vistas do modelo utilizado para a simulação. A partir destas vistas é possível perceber a repartição das janelas originais, entre o primeiro e segundo pavimento. Esta repartição é necessária para que o *software* perceba os objetos como janelas, e acaba também representando a divisão nelas feita pela laje do segundo pavimento.

Figura 7: Vistas sul (a), leste (b), norte (c) e oeste (d) do modelo do edifício.



Fonte: Autora.

### 4.2.3 Materiais

Após a criação das zonas térmicas no modelo, é necessário declarar as propriedades dos materiais dos quais as estruturas e janelas são compostas. É possível, então, criar as estruturas definindo a ordem de camadas destes materiais.

#### 4.2.3.1 Estruturas

A edificação foi construída com alvenaria autoportante de tijolos maciços assentados sobre fundação de granito, compondo a estrutura de todo o perímetro do prédio e do torreão. Já as paredes internas de todas as salas, construídas posteriormente, são feitas de divisórias de gesso (*drywall*). Os pisos são revestidos com cerâmica, com exceção da sala de aula do torreão no terceiro pavimento, que possui piso de madeira.

Os forros da ala são de gesso com revestimento de pintura branca sobre massa corrida. O telhado, por sua vez, é constituído de telhas cerâmicas estruturadas com madeira. Após a reforma foi instalado um forro de

gesso na área da ala.

O torreão, por sua vez, recebeu chapas de *offset* recicladas com função de isolamento térmico (SATTLER, Miguel, comunicação pessoal, 05 de outubro de 2022) que foram reaproveitadas da construção da Casa Alvorada (SATTLER, 2007). Apesar disso, o isolamento térmico foi desconsiderado neste estudo.

Além disso, o torreão também possui um lanternim que possibilita um efeito chaminé, auxiliando nas trocas de ar e climatização do ambiente. Este elemento, por simplificação, também não foi considerado na simulação.

A Tabela 1 contém as propriedades dos materiais utilizados no modelo.

Tabela 1: Propriedades dos materiais utilizados na simulação.

		Concreto <sup>1</sup>	Gesso <sup>1</sup>	Argamassa <sup>1</sup>	Tijolos <sup>1</sup>	Telhas <sup>2</sup>	Piso Mad. <sup>2</sup>	Contrapiso <sup>2</sup>	Forro Mad. <sup>1</sup>
Espessura	$m$	0,2	0,1	0,03	0,42	0,03	0,05	0,05	0,05
Condutividade	$\frac{W}{mK}$	1,75	0,35	1,15	0,9	0,72	0,29	1,75	450
Densidade	$\frac{kg}{m^3}$	1000	800	2000	1600	1300	600	2300	0,15
Calor Específico	$\frac{J}{kgK}$	2000	840	1000	920	920	1340	1000	1,34

Fonte: <sup>1</sup>ABNT (2003) e <sup>2</sup>ASHRAE (2017a)

No Quadro 2, por sua vez, se encontram as camadas de materiais que formam as estruturas da edificação, da forma que foram declaradas no *software*. O primeiro material da lista se refere à camada mais externa da estrutura, seguindo, em ordem, para a mais interna.

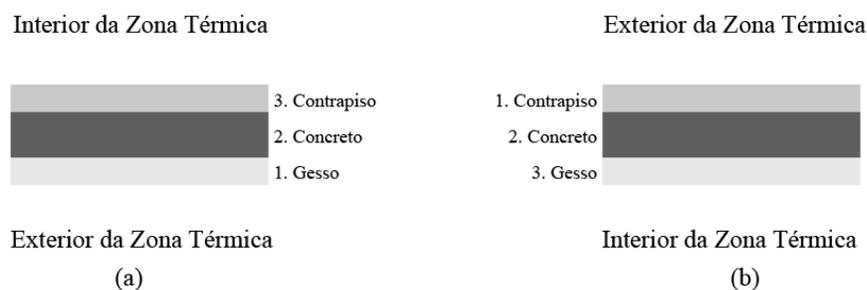
Quadro 2: Camadas construtivas utilizadas na simulação.

Sistemas de Pisos			Sistemas de Vedação Verticais		Sistemas de Coberturas	
Piso Térreo	Entrepiso	Entrepiso Madeira	Sist. Vedação Vertical Int.	Sist. Vedação Vertical Ext.	Telhado Torreão	Telhado Ala
Concreto	Gesso	Madeira	Gesso	Argamassa	Telhas	Telhas
Contrapiso	Concreto	Contrapiso		Tijolos	Madeira	Madeira
	Contrapiso	Madeira		Argamassa		Gesso

Fonte: Autora.

As faces que se encontram, por exemplo, devem ter as mesmas camadas declaradas, mas em ordem oposta. A Figura 8 demonstra como devem ser declaradas as camadas de materiais para o entrepiso de uma zona e o forro da zona abaixo desta.

Figura 8: Exemplo de como são ordenadas as camadas do entrepiso (a) e o forro da zona abaixo(b)



Fonte: Autora.

Foi também necessário declarar a absorvância para as superfícies que recebem incidência solar. Dessa forma, a argamassa recebeu os valores para tinta amarela ( $\alpha = 0,3$ ) e o telhado recebeu os valores para telhas de barro ( $\alpha = 0,75$ ) (ABNT, 2005).

#### 4.2.3.2 Janelas

Na área da ala as janelas da construção são dispostas em grupos de seis, sendo elas três janelas de aproximadamente 2,15 metros de altura e três janelas menores em arco em seus topos. As portas de entrada e portas para as sacadas na sala de aula do torreão seguem a mesma lógica, com uma porta substituindo a janela inferior central do grupo. Cada pilar do térreo recebe também um espaço para uma janela retangular basculante. O lanternim no topo do torreão tem, em cada uma de suas paredes, janelas fixas.

A adição do segundo pavimento dividiu os vãos, portanto, as janelas se localizam também rentes ao piso no segundo andar e rentes ao teto no térreo. A ala do terceiro pavimento, por sua vez, possui apenas um conjunto de quatro janelas na parede leste, na sala de reuniões.

As janelas originais são constituídas, predominantemente, de mosaicos de blocos de vidro de estilo francês *Falconnier* número 6 (Figura 9a), transparentes e verdes. Estes blocos eram bastante utilizados na época na construção civil europeia como uma alternativa para prover luz aos ambientes fechados (DE VIS, 2010). Eles eram fabricados de forma artesanal pela técnica de vidro soprado, sendo prensados em um molde para obterem seu formato final. Após reforma, algumas destas janelas foram substituídas por janelas basculantes de vidro temperados bronze para possibilitar o fluxo de ar nos ambientes.

Figura 9: Bloco de vidro de *Falconnier* (a) e bloco quebrado, localizado no Instituto Eletrotécnico, do mesmo conjunto que o utilizado na edificação (b).

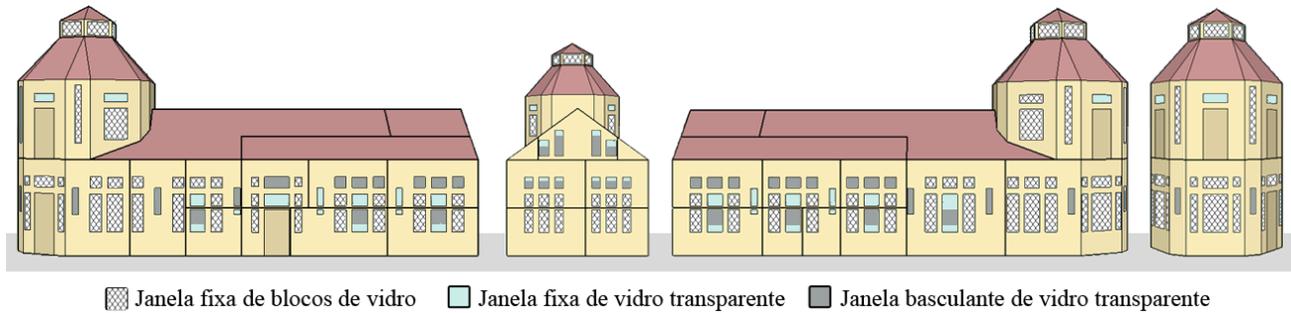


Fonte: Site (GLASSIAN, 2022) (a) e Fotografia tirada pela Autora (b)

A Figura 9b mostra um bloco quebrado, do mesmo conjunto de blocos utilizados na construção do Castelhinho. Ele foi localizado no edifício do Instituto Eletrotécnico da universidade, projetado pelos mesmos arquitetos que construíram o conjunto do Largo Paganini. Dessa forma, a espessura dos vidros foi estimada como 12 mm e o espaço interno do bloco como 86 mm.

Sendo assim, o edifício possui três tipos de janelas, sendo elas: fixas de blocos de vidro soprado, fixas de vidro temperado bronze e basculantes de vidro temperado bronze. Por questões de simplificação, neste estudo foi considerado um vidro comum para as janelas de vidro temperado. Na Figura 10 são identificadas as localizações de cada tipo de janelas.

Figura 10: Representação dos tipos de janela em cada vista da construção.



Fonte: Autora.

Na simulação, para as janelas transparentes foi considerado um vidro simples de 3 mm de espessura. Já os blocos de vidro de *Falconnier* tiveram de ter suas características estimadas, uma vez que, por conta de serem artesanais e muito antigos, as propriedades de seus materiais não foram testadas e catalogadas. Portanto, foram utilizadas características de vidro comum para o modelo. Ao declarar as estruturas das janelas, foi considerado que os blocos de vidro consistem em três camadas, sendo elas vidro, ar e vidro. A Tabela 2 contém as propriedades dos dois vidros utilizados.

Tabela 2: Propriedades dos vidros utilizados na simulação.

	$d$ (mm)	$T_s$	$R_{fs}$	$R_{bs}$	$T_v$	$R_{fv}$	$R_{bv}$	$T_{ir}$	$\varepsilon_f$	$\varepsilon_b$	$k$ (W/m.K)
<b>Vidro comum</b>	3	0,837	0,075	0,075	0,898	0,081	0,081	0	0,84	0,84	0,9
<b>Bloco de Vidro</b>	12	0,653	0,064	0,064	0,685	0,065	0,065	0	0,84	0,84	0,9

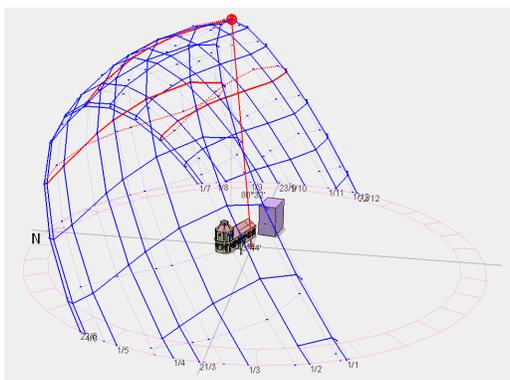
Fonte: (Energyplus, 2018)

Na qual  $d$  é a espessura do vidro, em mm,  $T_s$  é a transmitância solar na direção normal à superfície do vidro,  $R_{fs}$  é a refletância solar na direção normal à superfície externa do vidro,  $R_{bs}$  é a refletância solar na direção normal à superfície interna do vidro,  $T_v$  é a transmitância visível na direção normal à superfície do vidro,  $R_{fv}$  é a refletância visível na direção normal à superfície externa do vidro,  $R_{bv}$  é a refletância visível na direção normal à superfície interna do vidro,  $T_{iv}$  é a transmitância na direção normal à superfície do vidro na faixa do infravermelho,  $\varepsilon_f$  é a emissividade hemisférica da superfície externa do vidro no infravermelho,  $\varepsilon_b$  é a emissividade hemisférica da superfície interna do vidro no infravermelho e  $k$  é a condutividade térmica do vidro [W/m.K].

#### 4.2.4 Elementos de Sombreamento

Geograficamente, Porto Alegre se localiza aproximadamente 30° a sul do equador e 51° a oeste de *Greenwich*. Sendo assim, possui uma altitude solar maior no verão e menor no inverno, como é possível perceber pela linha vermelha tracejada na representação de sua carta solar na Figura 11, mostrando os ângulos solares no prédio durante o ano.

Figura 11: Representação da carta solar de Porto Alegre.



Fonte: Autora.

No *EnergyPlus* há a necessidade de adicionar quaisquer elementos de sombreamento que existam na estrutura. Foram construídos, portanto, um bloco a leste da edificação, representando o Observatório Astronômico e dois retângulos a sul, representando as árvores do Largo Paganini. O Château não está no desenho por ser muito ao sul da edificação, não representando, assim, um elemento de sombreamento expressivo. Além disso, também foram incluídas "molduras" de 15 cm nas janelas, que representam o recuo das janelas na espessura da própria parede, frisos horizontais nos telhados, que compõem a ornamentação da edificação dos telhados, e avanços, representando as sacadas do torreão.

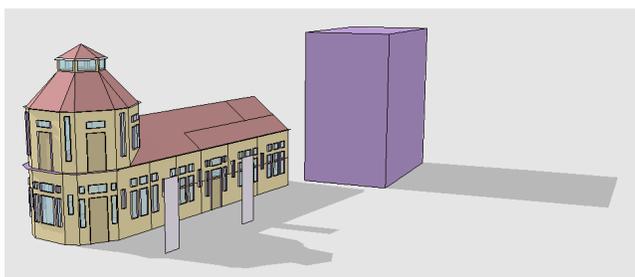
Figura 12: Detalhes dos elementos de sombreamento na estrutura da edificação.



Fonte: Autora.

A edificação tem suas paredes de maior extensão voltadas para o norte e sul, com uma rotação de  $19,68^\circ$  Oeste. Portanto, durante o inverno há incidência solar predominantemente na face norte, conforme a Figura 13. Ela representa a incidência solar às 12 horas no dia do solstício de inverno. É possível perceber que não existem elementos de sombreamento significativos para este período.

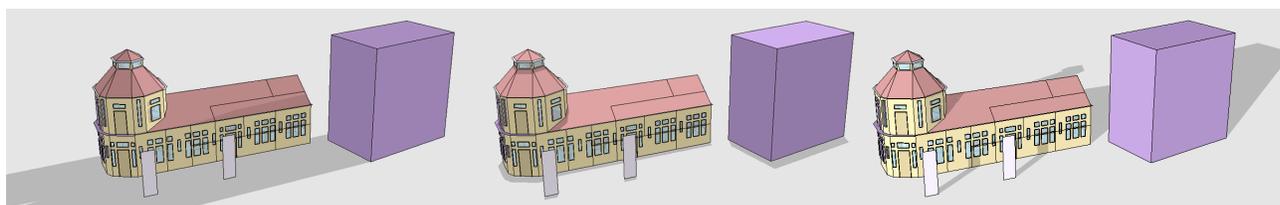
Figura 13: Representação da incidência solar para as doze horas durante o inverno em Porto Alegre.



Fonte: Autora.

O azimute solar se torna mais abrangente conforme o sol se aproxima do trópico de capricórnio. A Figura 14 mostra o sombreamento no dia do solstício de verão para os períodos das 07 horas, 12 horas e 18 horas, respectivamente. Dessa forma, percebe-se que durante o verão, mesmo que em um curto período do dia, existe uma interferência dos elementos ao redor na incidência solar na edificação.

Figura 14: Representações da incidência solar para três períodos durante o verão em Porto Alegre (07 horas, 12 horas e 18 horas, respectivamente), mostrando o sombreamento realizado na edificação por parte das árvores e do observatório astronômico.



Fonte: Autora.

#### 4.2.5 Cargas Térmicas Internas

Um ponto importante a se considerar na análise energética de edificações são suas cargas térmicas internas. Fazem parte dessa análise a iluminação do ambiente, os equipamentos utilizados nele e o perfil de ocupação das pessoas que o utilizam.

##### 4.2.5.1 Iluminação

A iluminação dos ambientes do Castelinho é, majoritariamente, feita por lâmpadas fluorescentes tubulares em calhas duplas. Na sala de aula do torreão no terceiro pavimento existem luminárias pendentes para fluorescentes compactas. É possível encontrar também lâmpadas halógenas dicróicas em diversos pontos da edificação.

No Anexo 2 do Manual de Uso, Operação e Manutenção do Prédio Castelinho se encontram descritas as potências de iluminação do prédio. Dessa forma, foi possível compilar os dados de carga para cada zona térmica, descritos no Apêndice B. Como as lâmpadas são, em sua maioria, fluorescentes, foram consideradas frações de energia visível e radiante de 20% e de energia convectiva de 60%.

#### 4.2.5.2 Equipamentos

Em uma das visitas à edificação, foi realizado o inventário de todos os equipamentos existentes nas salas e suas respectivas potências elétricas. Como o edifício é ocupado principalmente para atividades acadêmicas, os equipamentos predominantes são computadores e impressoras. Além disso, na área do café existem equipamentos como uma geladeira, filtro de água, cafeteira, chaleira elétrica e microondas. O inventário completo do edifício encontra-se no Apêndice A.

#### 4.2.5.3 Pessoas

Foi considerado que os ocupantes da edificação realizam, durante a maior parte do dia, atividades acadêmicas como aulas, pesquisas e leituras. Segundo a ASHRAE (2017a), as atividades de escritório tem uma taxa de atividade metabólica entre 1 e 1,5 met. Para uma pessoa de estatura média, estas atividades representam aproximadamente 120 W. A fração de energia térmica radiante determinada para as atividades metabólicas foi de 0,3, que é o padrão do *software*.

#### 4.2.5.4 Perfil de Ocupação

Descrever o perfil de ocupação da edificação é importante tanto para determinar a carga térmica das pessoas que a utilizam quanto para determinar o período de utilização de seus equipamentos e da sua iluminação. Para esta simulação foi considerado que o Castelinho, sendo um edifício voltado a atividades acadêmicas, é ocupado de segunda a sexta-feira, das 8 horas às 18, aproximadamente. Neste período, os equipamentos destas salas são todos utilizados.

Foi considerada uma ocupação, durante todo o período de funcionamento do prédio, de três pessoas em cada sala de pesquisadores, duas pessoas em cada sala de professores e uma pessoa em cada uma das secretarias e na recepção. Foi considerado que as salas de alunos da iniciação científica e as salas de reuniões são ocupadas parcialmente no período da manhã e da tarde, com oito e quatro pessoas, respectivamente. Para as salas de aula, foi considerada a ocupação por 15 pessoas com aulas todos os dias, durante o período da tarde.

Nos outros ambientes foram consideradas ocupações intermitentes ao longo do dia, com a iluminação sempre parcialmente ativada. Para todas as zonas, a iluminação está sempre acionada durante a sua ocupação, sendo parcial no período da manhã e integral no período da tarde.

#### 4.2.6 Infiltração

A infiltração de ar é um componente importante a ser considerado quando se trata de edificações mais antigas. Em ASHRAE (2017a) são apresentadas taxas médias de infiltração para construções novas e antigas. Com base nisso, foi considerada uma infiltração de ar durante os meses mais quentes de 1 troca de ar por hora durante o período de ocupação e de 0,2 para os períodos desocupados. Para os meses mais frios foi considerada uma taxa de 0,5 trocas de ar por hora durante a ocupação e 0,2 para o restante. Nas salas de aula, por estas terem estruturas mais antigas e possuírem portas na estrutura, foi considerada uma taxa de infiltração 20% maior.

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos pelas simulações. Eles foram analisados através dos métodos gráfico e adaptativo da norma ASHRAE 55 2017b. Para ambos, foram encontradas as horas nas quais os ocupantes da edificação teriam conforto térmico. Este resultado, por sua vez, foi filtrado para mostrar somente

o número de horas de conforto térmico durante o horário de ocupação de cada zona térmica. Considerando que a ocupação é de segunda-feira a sexta-feira, das 8 horas às 18 horas, a análise foi feita com base em, no máximo, 2600 horas por ano. Para estas análises foram desconsideradas as áreas as quais têm uma ocupação momentânea, como corredores, banheiros e escadas.

### 5.1 Método Gráfico

Utilizando o método gráfico foi encontrada uma média anual de horas em conforto térmico por zona térmica de 233 horas. Os resultados para cada zona estão compilados na Tabela 3, juntamente com a razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação.

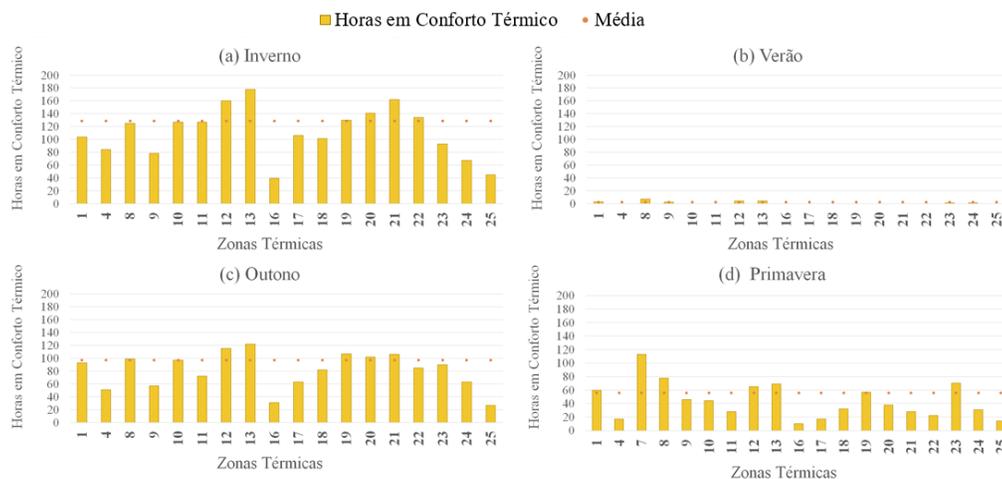
Tabela 3: Número de horas em conforto térmico e razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação para o método gráfico.

Zona Térmica	1	8	9	10	11	12	13
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	260	309	183	268	227	344	373
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	20.00%	11.88%	7.82%	11.45%	9.70%	14.70%	15.94%
Zona Térmica	16	17	18	19	20	21	22
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	80	186	215	294	281	296	241
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	6.15%	7.95%	9.19%	12.56%	12.01%	12.65%	10.30%
Zona Térmica	23	24	25	-	-	-	-
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	254	162	86	-	-	-	-
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	19.54%	12.46%	6.62%	-	-	-	-

Fonte: Autora.

No primeiro pavimento se destaca a zona 1, com maior razão de conforto térmico. Já a zona 9 (Sala de Pesquisadores 1) é a que possui o menor desempenho. No segundo pavimento, apenas as zonas 16 e 17 (Sala de Reunião e Sala de Professores 1) não ficaram próximas da média, tendo um desempenho bastante baixo. Por fim, no terceiro pavimento, se destaca a zona 25 (Sala de Reunião) como o pior desempenho da edificação. A Figura 15 mostra o resultado para cada zona térmica seccionado nas estações do ano.

Figura 15: Número anual de horas de conforto térmico cada zona térmica por estação do ano para o método gráfico.



Fonte: Autora.

É possível perceber que a maior parte das horas de conforto térmico são encontradas durante as estações

mais frias. Além disso, o verão tem representação bastante baixa para todas as zonas térmicas.

## 5.2 Método Adaptativo

Ao utilizar o método adaptativo, é possível perceber um aumento significativo nas horas de conforto térmico. Os resultados obtidos com este método se encontram na Tabela 4.

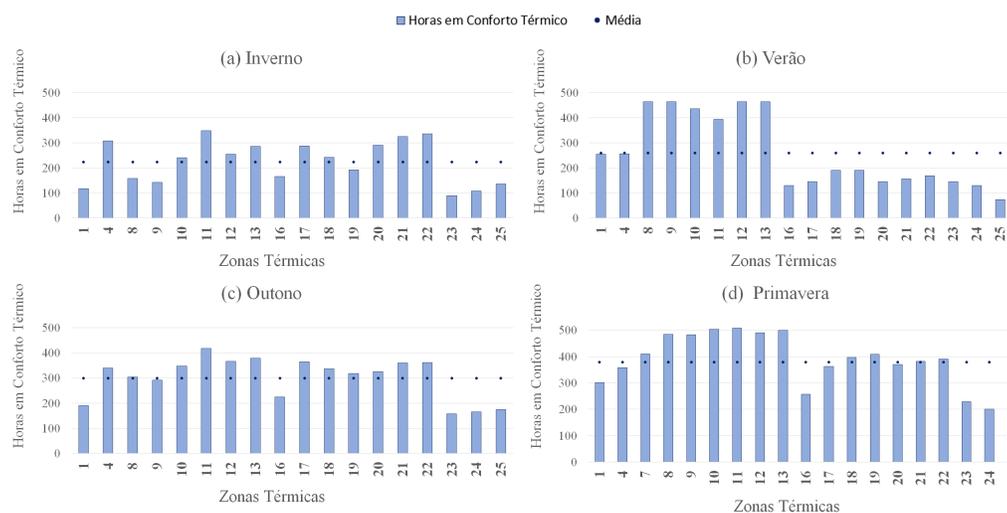
Tabela 4: Número de horas em conforto térmico e razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação para o método adaptativo.

Zona Térmica	1	8	9	10	11	12	13
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	863	1767	1554	1722	1881	1775	1839
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	67.69%	69.29%	67.71%	75.03%	81.96%	77.34%	80.13%
Zona Térmica	16	17	18	19	20	21	22
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	777	1303	1311	1251	1273	1379	1423
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	60.94%	56.78%	57.12%	54.51%	55.47%	60.09%	62.00%
Zona Térmica	23	24	25	-	-	-	-
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	620	555	605	-	-	-	-
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	48.63%	43.53%	47.45%	-	-	-	-

Fonte: Autora.

Essa diferença se dá pelas diferentes premissas dos métodos e também pelas limitações do método gráfico, citadas anteriormente. Mesmo assim, é possível perceber que o desempenho das zonas térmicas, comparadas umas com as outras, se mantém no mesmo padrão. Se destaca o pior desempenho das zonas que se encontram no terceiro pavimento. Na Figura 16 é possível ver os resultados por zona térmica, para cada estação do ano.

Figura 16: Resultados do método gráfico para zona térmica da Secretaria 2 (a) e para a Sala de Reuniões (b).



Fonte: Autora.

É possível perceber uma melhoria, em relação ao método anterior, no outono e na primavera, quando há temperaturas mais amenas na cidade. O inverno, por outro lado, apresentou um índice maior de desconforto térmico, em relação às outras estações. Já o verão teve um aumento expressivo nos resultados, principalmente por conta das zonas térmicas localizadas no primeiro pavimento, comportamento que também é percebido na primavera.

Estes resultados são coerentes, considerando que durante o verão há uma menor incidência solar direta nas superfícies do primeiro pavimento já que estas estão, em sua maioria, voltadas para o sul e o norte. Já o terceiro pavimento recebe luz solar direta pelo telhado durante grande parte do dia. A Sala de Reuniões no terceiro pavimento, além disso, possui a única superfície que recebe incidência solar durante os meses mais quentes e que possui toda a área de janelas de vidro, considerado nesse estudo como transparente.

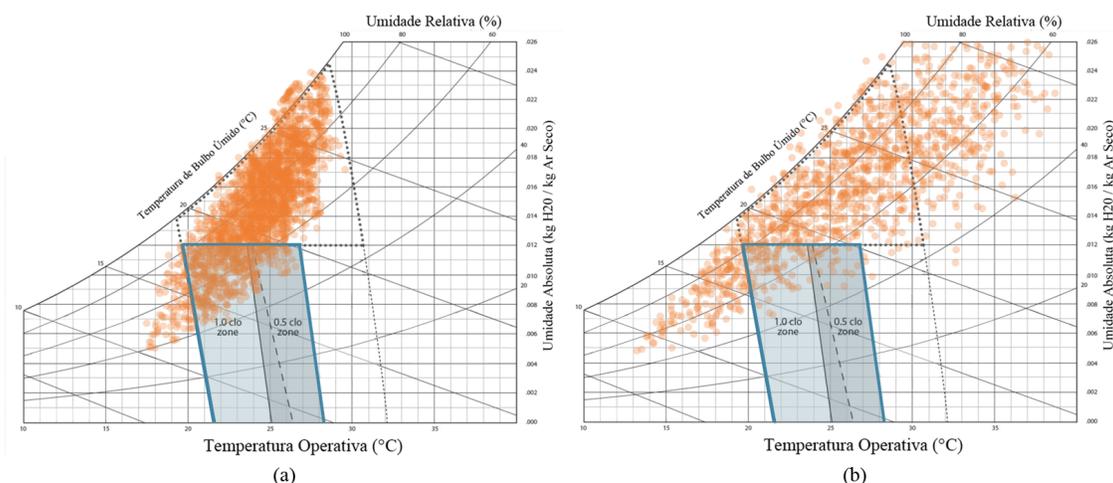
As superfícies do primeiro pavimento são também, em sua maioria, paredes de tijolos maciços e argamassa. Esta construção confere uma maior inércia térmica ao ambiente. Já os ambientes do terceiro pavimento, apesar de terem as mesmas características construtivas na parede, possuem uma maior exposição ao exterior por conta do sistema de cobertura.

Por fim, é importante relembrar que a construção, originalmente, não possuía o terceiro pavimento, não sendo projetada para ter ambientes tão próximos do telhado. O único ambiente original neste pavimento é a sala de aulas do torreão, mas esta possui um pé direito maior e aberturas para ventilação.

### 5.3 Análises Gráficas

Foram escolhidas duas zonas térmicas com resultados mais extremos para serem apresentadas graficamente. A Figura 17 traz a análise gráfica para o melhor e o pior resultado, sendo eles a Secretaria 2 e a Sala de Reuniões no terceiro pavimento, respectivamente. Para esta análise, foram extraídos do *software* os resultados horários de temperatura operativa e umidade do ar. Os pares foram plotados sobre a carta psicrométrica, com a área da norma destacada. Dessa forma, é possível perceber onde os pontos se concentram para entender melhor o motivo dos resultados.

Figura 17: Resultados do método gráfico para a Secretaria 2 (a) e a Sala de Reuniões (b).

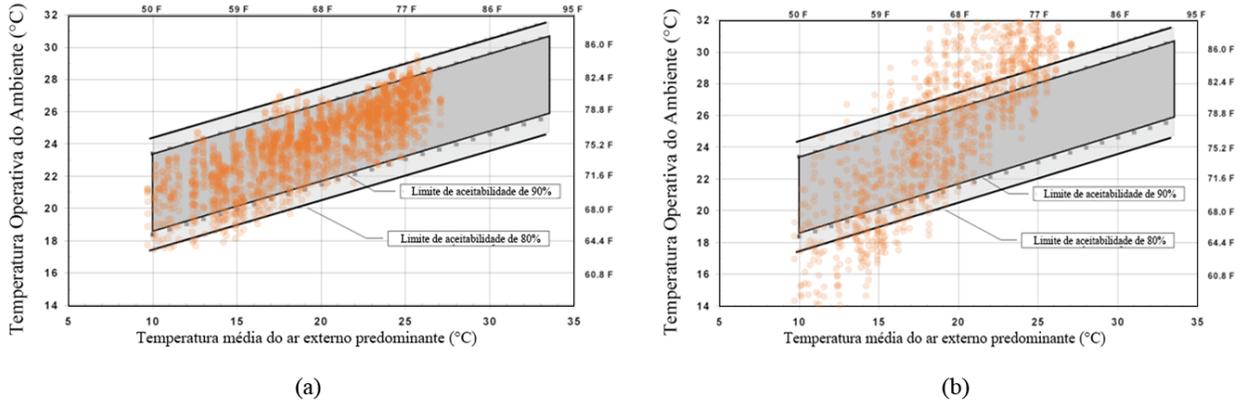


Fonte: Autora.

Para a Secretaria 2 foi notado o alto desempenho térmico no inverno, no qual os pontos ficam mais próximos da faixa de conforto. Apesar de ser a zona com melhores resultados, o verão não tem valores expressivos de conforto. Apesar disso, os pontos que ficam fora da faixa de conforto têm altos valores para umidades do ar, mas temperaturas máximas controladas. Já para a Sala de Aulas, é perceptível que os pontos ficam afastados da área de conforto por conta de temperaturas e umidades do ar altas, mesmo nas estações mais frias e amenas.

Para o método adaptativo fica claro, conforme a Figura 18, que grande parte dos pontos se localiza entre os limites de aceitabilidade de 80% para a Secretaria 2. Já para a Sala de Reuniões, os pontos se encontram mais dispersos nos dois extremos de temperatura. Como no método anterior, os pontos fora do limite se acumulam mais em áreas de altas temperaturas operativas.

Figura 18: Resultados do método adaptativo para a Secretaria 2 (a) e Sala de Reuniões (b).



Fonte: Autora.

#### 5.4 Análise de Alternativas Passivas

Os principais resultados das análises anteriores apresentaram desconforto térmico por conta de altas temperaturas e umidade relativa do ar, principalmente no terceiro pavimento. Também pode se perceber desconforto por baixas temperaturas em toda a edificação. As principais soluções passivas para estas questões seriam o aumento da ventilação natural e um aumento de isolamento térmico.

Como o terceiro pavimento conta com poucas janelas basculantes, aumentar a ventilação fica inviável sem intervenções maiores na estrutura. Foi escolhido, então, adicionar cortinas nas janelas que se localizam na face leste, na Sala de Reuniões. Estas cortinas são acionadas na simulação durante os meses de verão, quando a face leste recebe incidência solar direta pela manhã. A cortina escolhida é padrão do *software*, com alta refletância e baixa transmitância, conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Propriedades da cortina escolhida.

	$T_S$	$R_{fs}$	$T_v$	$R_{fv}$	$\epsilon$	$d$ (m)	$k$ (W/m.K)	$d_{cv}$ (m)
<b>Cortina</b>	0,1	0,8	0,1	0,8	0,9	0,005	0,1	0,05

Fonte: (Energyplus, 2018)

Na qual  $d_{cv}$  é a distância entre a cortina e o vidro, em metros.

Também foi adicionada uma camada de isolamento térmico no forro do telhado. O material também foi escolhido dentre os padrões do programa, sendo ele uma manta de fibra de vidro com as propriedades da Tabela 6.

Tabela 6: Propriedades do isolamento escolhida.

	Espessura (mm)	Condutividade (W/m.K)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/kg.K)
<b>Manta de Fibra de Vidro</b>	5	0,036	140	960

Fonte: (Energyplus, 2018)

As horas de conforto térmico para a combinação dessas duas alternativas, segundo o método adaptativo, se encontram na Tabela 7.

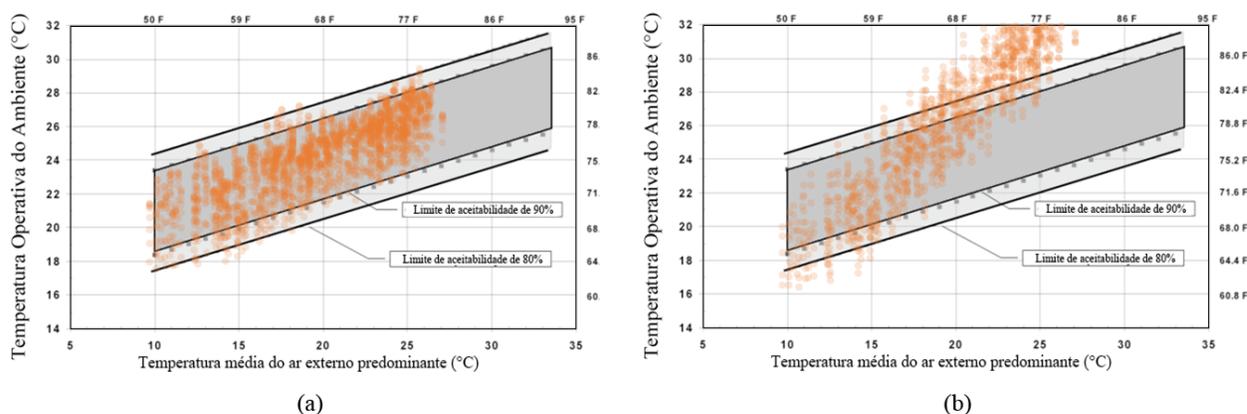
Tabela 7: Número de horas em conforto térmico e razão das horas de conforto térmico pelas horas de ocupação para o método adaptativo, considerando estratégias passivas de climatização.

Zona Térmica	1	8	9	10	11	12	13
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	877	1785	1573	1747	1909	1789	1859
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	68.78%	70.00%	68.54%	76.12%	83.18%	77.95%	81.00%
Zona Térmica	16	17	18	19	20	21	22
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	828	1375	1406	1322	1359	1469	1495
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	64.94%	59.91%	61.26%	57.60%	59.22%	64.01%	65.14%
Zona Térmica	23	25	24	-	-	-	-
<b>Horas de Conforto Térmico (h)</b>	691	627	749	-	-	-	-
<b>Razão de Conforto pela Ocupação</b>	54.20%	58.75%	49.18%	-	-	-	-

Fonte: Autora.

Foi possível perceber uma melhoria em praticamente todas as zonas térmicas, se destacando o terceiro pavimento, com a Sala de Reuniões aumentando em 11,29% as suas horas em conforto térmico. A Figura 19 mostra os gráficos do método adaptativo para as mesmas zonas térmicas examinadas anteriormente, agora com os novos resultados.

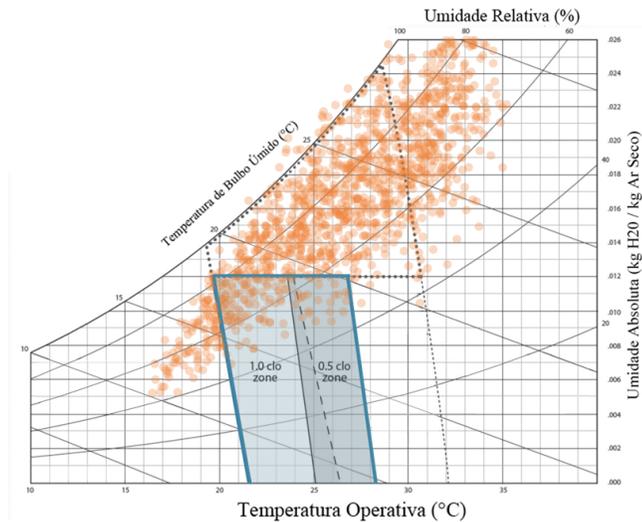
Figura 19: Resultados do método adaptativo para a Secretaria 2 (a) e Sala de Reuniões (b) utilizando soluções passivas.



Fonte: Autora.

É possível perceber que o gráfico para a Secretaria 2 permanece praticamente inalterado. A Sala de Reuniões, por sua vez, apresenta uma maior concentração de pontos, com maior conforto térmico a temperaturas mais baixas.

Figura 20: Resultados do método gráfico para a Sala de Reuniões utilizando soluções passivas.



Fonte: Autora.

Na Figura 20 também é possível perceber uma maior concentração dos pontos. É perceptível que os níveis de temperatura operativa e de umidade são muito altos, o que indica necessidade de resfriamento artificial para evitar desconforto, segundo a ABNT (2005). Mesmo assim, pode se dizer que os resultados das soluções propostas mostram que as soluções passivas podem ser positivas tanto para aumentar o conforto térmico quanto para auxiliar na economia de energia.

## 6 CONCLUSÕES

A revitalização de edificações históricas pode trazer diversos benefícios à sociedade, tanto culturalmente, quando ambientalmente. A preservação deste patrimônio deve ser planejada a partir de diversas áreas do conhecimento, para que mantenha sua identidade e continue sendo um ambiente útil e agradável aos seus ocupantes. Do ponto de vista energético e térmico, é possível estudar estratégias para estabelecer maior conforto e eficiência.

Neste trabalho foi realizado o estudo para uma edificação histórica da UFRGS, o Castelinho, utilizando a ferramenta *EnergyPlus*. Se mostrou necessária a investigação e o levantamento das características da edificação, como suas propriedades construtivas, as atividades que são realizadas e os equipamentos utilizados no seu interior. Outro ponto importante, também, foi entender as alterações que ocorreram na construção ao longo dos anos.

A Seção 5 mostra os resultados de índices de conforto térmico de métodos gráfico e adaptativo da norma ASHRAE 55 2017b. A partir deles, foi possível identificar um maior desconforto térmico na edificação durante estações mais quentes, principalmente no terceiro pavimento. Isso se dá por esta ser uma área da edificação com alta exposição solar durante estes meses principalmente no sistema de cobertura, onde possui propriedades menos isolantes.

Por fim, foram propostas duas soluções passivas para aumento do conforto térmico, sendo elas a colocação de uma camada de isolamento térmico em todo o forro do sistema de cobertura e de cortinas nas

janelas da Sala de Reuniões no terceiro pavimento. Realizando novamente as simulações, foram encontrados resultados positivos, podendo-se que adotar estas soluções trariam benefícios tanto para o conforto térmico dos ocupantes, quando pela possível economia de energia com resfriamento artificial.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para trabalhos futuros, se sugere uma análise focada nos aparelhos de climatização dos ambientes da edificação. Dessa forma, é possível estimar a economia de energia e realizar uma análise de viabilidade econômica para projetos de mesma natureza. Se sugere a análise da eficiência dos equipamentos existentes para climatização e a possível substituição destes por um sistema de ar condicionado central.

Também seria de grande interesse para o estudo: experimentar novas configurações no modelo para as áreas abertas, como as estender até o terceiro pavimento; especificar melhor as propriedades dos materiais utilizados na edificação, principalmente os que foram simplificados; e considerar o efeito do lanternim na sala de aula do segundo pavimento. Além disso, poderiam ser considerados os efeitos das mudanças no entorno, como a recente construção de uma edificação na face oposta, no hospital Santa Casa, que podem afetar o sombreamento do modelo.

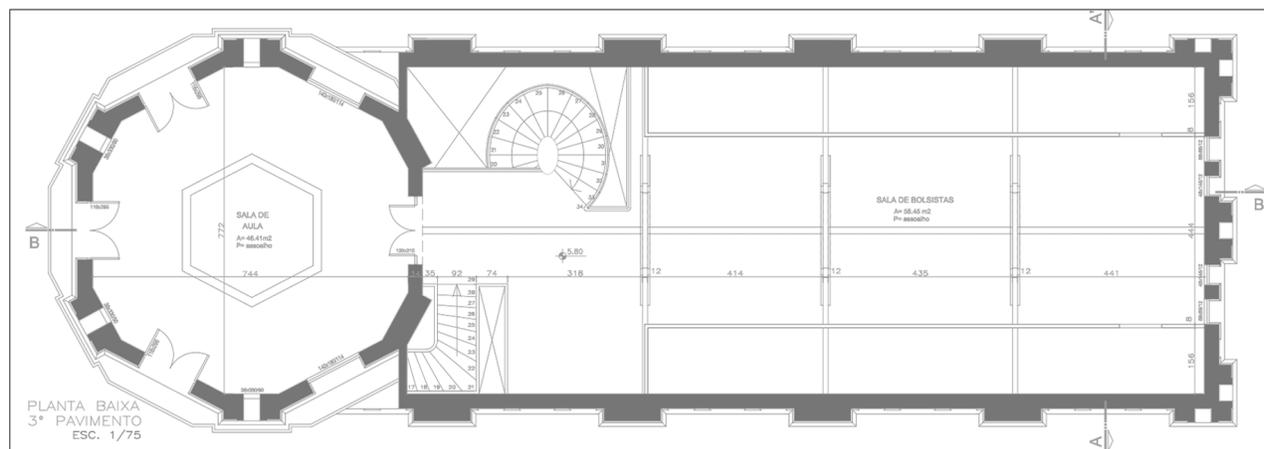
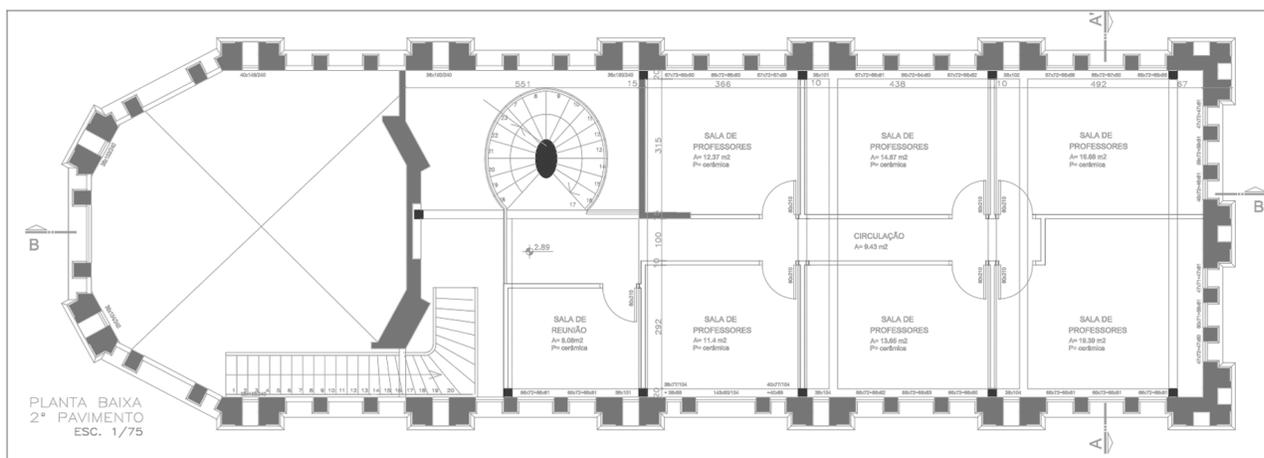
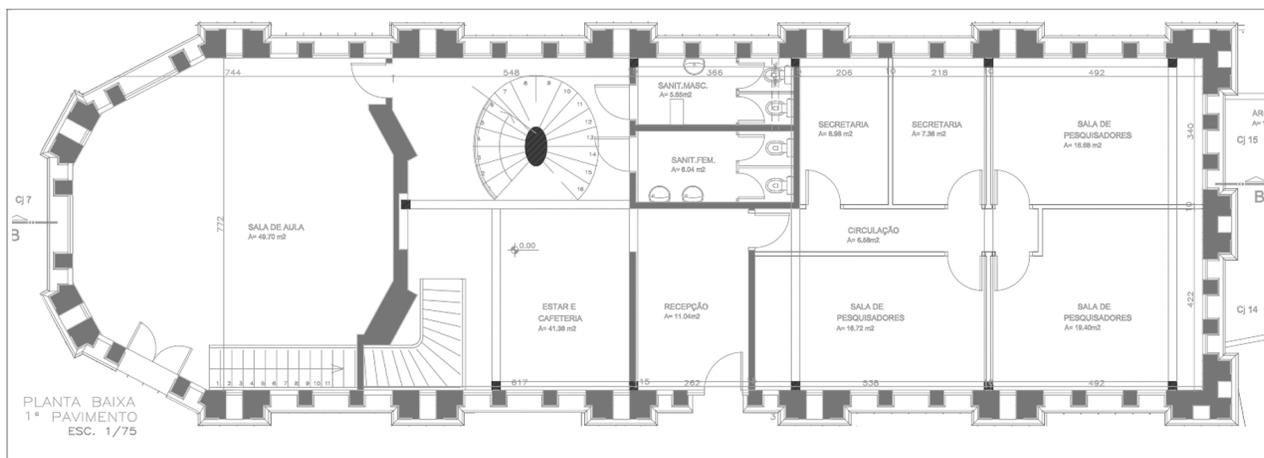
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**, pp. 1–21, 2003.
- ABNT. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações**, 2005.
- ASCIONE, F.; DE ROSSI, F. V. G. P. Energy retrofit of historical buildings: theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios. **Energy and Buildings**, 43(8), pp. 1925–1936, 2011.
- ASHRAE. **ASHRAE Fundamentals Handbook**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017.
- ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy., 2017.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm) > .Acesso em : 01out2022.
- CAROTENUTO, A. R. S. **Análise do Desempenho Termoenergético de um Prédio Histórico de Elevada Inércia Térmica**. Dissertação - (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.
- COSTA, M. F. L. **O Inventário do Patrimônio Cultural de Porto Alegre Como Instrumento de Gestão da Conservação Urbana**. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, 2019.
- DANTAS, F. S. O instituto do patrimônio histórico e artístico nacional (iphan): um estudo de caso em direito administrativo. **Revista de Direito Administrativo**, 264, pp. 223, 2013.
- DE VIS, K. t. **The use of glass bricks in architecture in the 19th and 20th centuries: a case study**. pp. 194–201, 2010.
- Energyplus. **EnergyPlus Engineering Reference**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2018.
- EPAHC. **Lista de Bens Tombados e Inventariados Em Porto Alegre**, 2013.
- EPE. **Cenários de Demanda para o PNE (Plano Nacional de Energia) 2050**. *Relatório Parcial*, 2018.
- FOUSEKI, K.; CASSAR, M. Energy efficiency in heritage buildings — future challenges and research needs. **The Historic Environment: Policy & Practice**, 5(2), pp. 95–100, 2014.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, 18(1), pp. 11–23, 1992.

- GLASSIAN. **Gustave Falconnier's Blown Glass Bricks.** Disponível em: <<https://www.glassian.org/Falconnier/>>. Acesso em: 28 setembro 2022., 2022.
- GRANATO, M.; RIBEIRO, E.S.; ARAÚJO, B.M. **Cartas Patrimoniais E a Preservação Do Patrimônio Cultural De Ciência E Tecnologia.** pp. 202–229, 2018.
- HANNA, R. Environmental appraisal of historic buildings in scotland: The case study of the Glasgow School of Art. **Building and Environment**, 37, pp. 1–10, 2002.
- KUHL, B. M. **Notas sobre a Carta de Veneza.** Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material, 18(2), pp. 287–320, 2010.
- LAMBERTS, R.; DUARTE, V. **Apostila da Disciplina de Desempenho Térmico de Edificações,** 2016.
- MUNARIM, U.; GHISI, E. Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 58, pp. 235–249, 2016.
- NORIE. **Manual de Uso, Operação e Manutenção - Prédio Castelinho,** n.d..
- PESAVENTO, S. J. **Cidade, Espaço e Tempo : Reflexões sobre a Memória e o Patrimônio Urbano.** Editora da UFPEL, 2, 2005.
- PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese - (Doutorado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil, 1999.
- RORIZ, V. F.; RORIZ, M. **EPview,** 2015.
- SATTLER, M. A. **Projeto CETHS – Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis.** ISBN 978-85-89478-22-9. Disponível em: <<https://issuu.com/habitare/docs/colecao8/>> .Acessoem : 15outubro2022., 2007.
- SCHIAVON, S.; HOYT, T. P. A. Web application for thermal comfort visualization and calculation according to ashrae standard 55. **Building Simulation**, 7(4), pp. 321–334, 2014.
- SPH - Secretaria do Patrimônio Histórico. **Patrimônio Histórico e Cultura da UFRGS,** 2004.

ANEXOS

ANEXO A - Plantas baixas da edificação



Fonte: Arquivos do SPH.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A - Inventário de equipamentos do Castelinho.

Andar	Zona Térmica	Ambiente	Equipamento	Quantidade	Potência Méd. (W)
1	5	Recepção	Ar Condicionado York	1	6100
1	5	Recepção	Impressora	1	89
1	4	Estar e Café	Cafeteira	1	750
1	4	Estar e Café	Microondas	1	1500
1	4	Estar e Café	Chaleira Elétrica	1	1500
1	4	Estar e Café	Geladeira	1	200
1	4	Estar e Café	Filtro de Água	1	175
1	1	Sala Aula Torre	Ar Condicionado York (grande)	2	12200
1	1	Sala Aula Torre	Notebook	1	50
1	13	Secretaria Oeste	Computador de Mesa	1	60
1	12	Secretaria Leste	Computador de Mesa	2	120
1	9	Pesquisa 1	Computador de Mesa	1	60
1	9	Pesquisa 1	Notebook	1	50
1	9	Pesquisa 1	Ar Condicionado York	1	6100
1	10	Pesquisa 2	Ar Condicionado York	1	6100
1	10	Pesquisa 2	Computador de Mesa	5	300
1	10	Pesquisa 2	Ventilador	1	126
1	10	Pesquisa 2	Tela de Computador	5	250
1	10	Pesquisa 2	Impressora	3	267
1	11	Pesquisa 3	Ar Condicionado York	1	6100
1	11	Pesquisa 3	Computador de Mesa	1	60
1	11	Pesquisa 3	Notebook	8	400
1	11	Pesquisa 3	Impressora	1	89
2	16	Reunião	TV	1	50
2	16	Reunião	Ar Condicionado (Novo)	1	900
2	17	Profs1	Ar Condicionado York	1	6100
2	17	Profs1	Computador de Mesa	1	60
2	18	Profs2	Ar Condicionado York	1	6100
2	18	Profs2	Notebook	1	50
2	18	Profs2	Tela de Computador	1	50
2	19	Profs3	Notebook	2	100
2	19	Profs3	Tela de Computador	1	50
2	19	Profs3	Ar Condicionado York	1	6100
2	20	Profs4	Ar Condicionado York	1	6100
2	20	Profs4	Computador de Mesa	3	180
2	21	Profs5	Computador de Mesa	2	120
2	21	Profs5	Tela de Computador	2	100
2	21	Profs5	Ar Condicionado York	1	6100
2	22	Profs6	Ar Condicionado York	1	6100
2	22	Profs6	Computador de Mesa	3	180
2	22	Profs6	Impressora	1	89
3	24	Sala Bolsistas	Computador de Mesa	8	480
3	25	Sala Reunião	TV	1	50
3	25	Sala Reunião	Central Internet	1	30

Fonte: Autora.

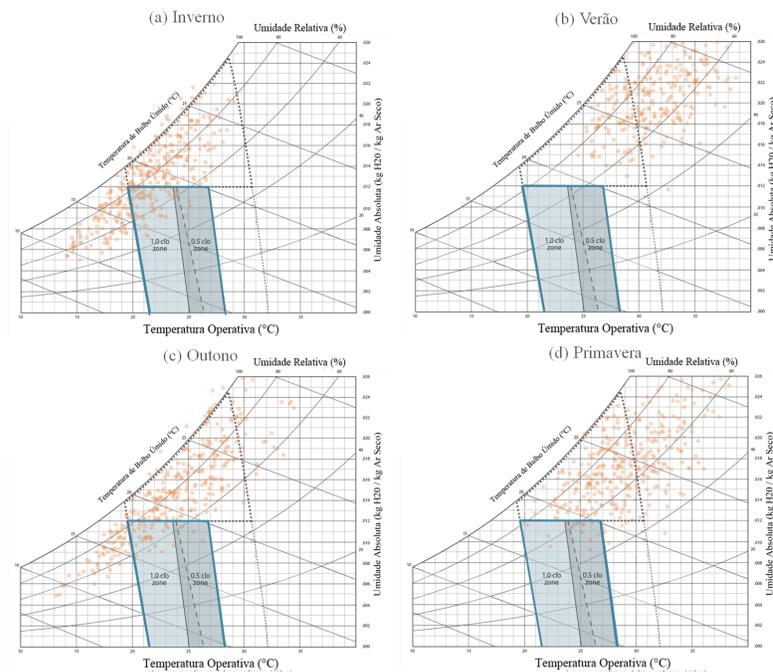
**APÊNDICE B** - Carga de iluminação das áreas da edificação.

<b>Nome no Manual</b>	<b>Zona Térmica Correspondente</b>	<b>Carga (W)</b>
Recepção	5	140
Cafê	4	230
Corredor Térreo	8	66
Sala Pesquisadores	9	282
Sala Pesquisadores	10	282
Sala Pesquisadores	11	282
Secretaria 2	13	282
Secretaria 1	12	94
Sala de Aula	1	500
Sanitário 1	6	214
Sanitário 2	7	214
Corredor 2 pavimento	14	348
Sala reuniões	16	188
Sala professores	17	282
Sala professores	18	188
Sala professores	19	188
Sala professores	20	188
Sala professores	21	188
Sala professores	22	188
Vão Escada	2	294
Sala Torreão	23	500
Reuniões 3 pav	25	376
Sala Alunos	24	282

Fonte: Autora, baseado em NORIE (nd)

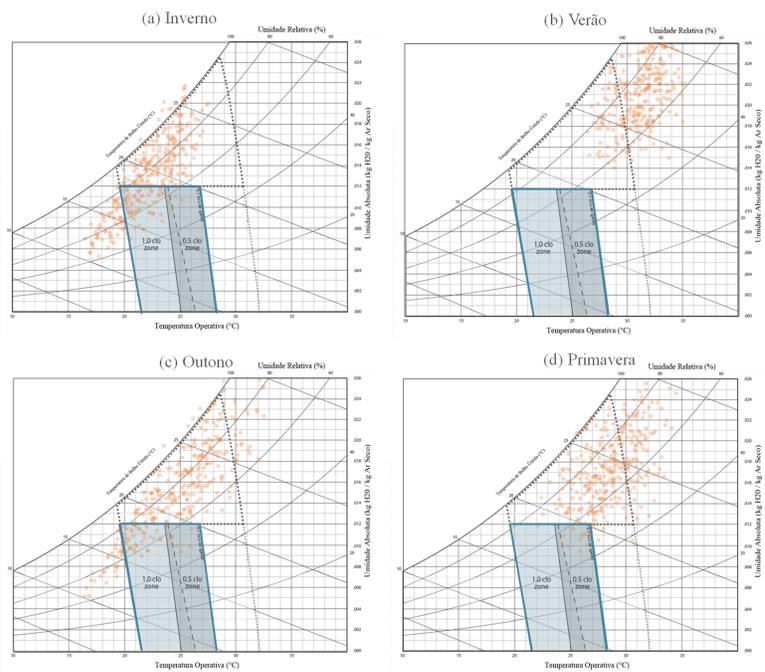
## APÊNDICE C - Resultados por estação do ano para a Sala de Reuniões e para a Secretaria 2.

Figura C-1: Resultados do método gráfico por estação do ano para a Sala de Reuniões.



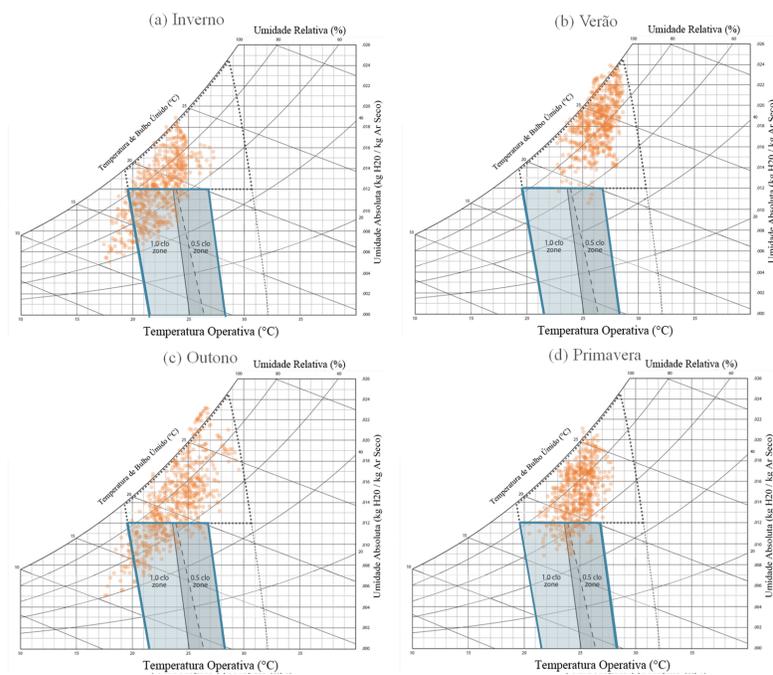
Fonte: Autora.

Figura C-2: Resultados do método gráfico por estação do ano para a Sala de Reuniões utilizando soluções passivas.



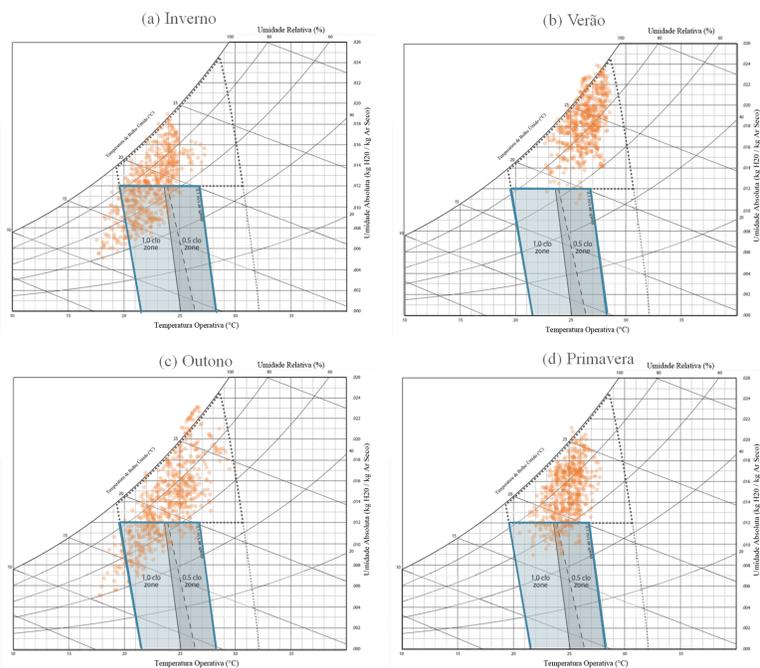
Fonte: Autora.

Figura C-3: Resultados do método gráfico por estação do ano para a Secretaria 2.



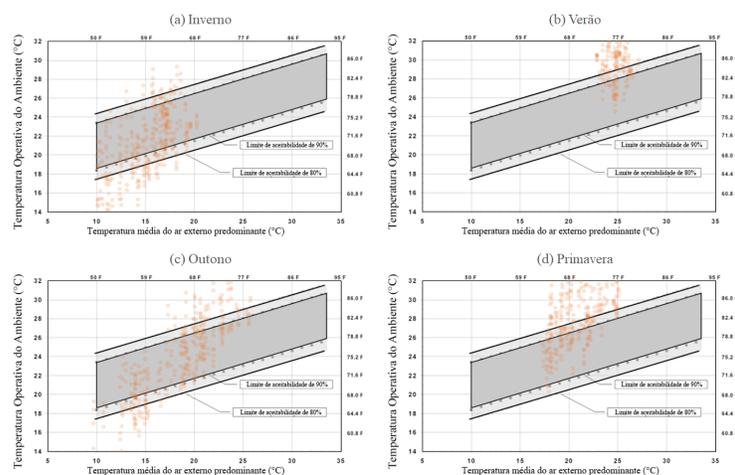
Fonte: Autora.

Figura C-4: Resultados do método gráfico por estação do ano para a Secretaria 2 utilizando soluções passivas.



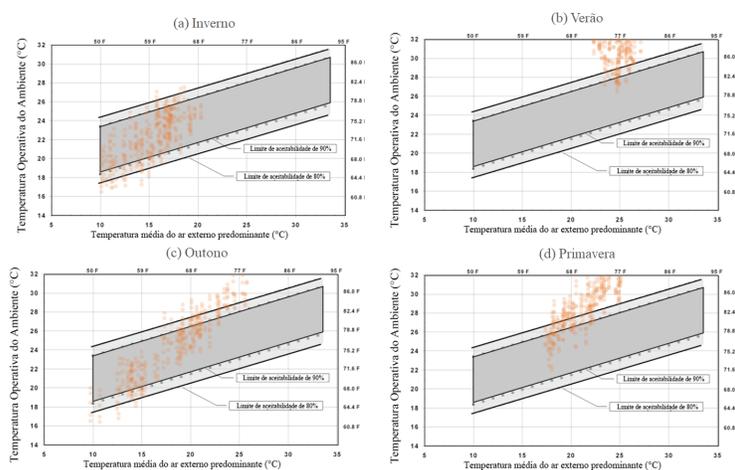
Fonte: Autora.

Figura C-5: Resultados do método adaptativo por estação do ano para a Sala de Reuniões.



Fonte: Autora.

Figura C-6: Resultados do método adaptativo por estação do ano para a Sala de Reuniões utilizando soluções passivas.



Fonte: Autora.