

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e urbanismo



Dissertação

Discussão das possibilidades de *Retrofit* energético no Casarão 2 segundo os critérios da INI-C e da *EnerPHit Standard*.

Amanda Rosa de Carvalho

Pelotas, 2020

Amanda Rosa de Carvalho

Discussão das possibilidades de *Retrofit* energético no Casarão 2 segundo os critérios da INI-C e da *EnerPHit Standard*.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, como requisito à obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Linha de pesquisa: Conforto e Sustentabilidade do Ambiente Construído

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Lucia Costa de Oliveira

Pelotas, 2020

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

C331d Carvalho, Amanda Rosa de

Discussão das possibilidades de Retrofit energético no Casarão 2 segundo os critérios da INI-C e da EnerPHit Standard. / Amanda Rosa de Carvalho ; Eduardo Grala da Cunha, orientador ; Ana Lucia Costa de Oliveira, coorientadora. — Pelotas, 2020.

124 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

1. Retrofit. 2. Eficiência energética. 3. Edifício histórico. 4. INI-C. 5. Enerphit standard. I. Cunha, Eduardo Grala da, orient. II. Oliveira, Ana Lucia Costa de, coorient. III. Título.

CDD : 720

Amanda Rosa de Carvalho

Discussão das possibilidades de *Retrofit* energético no Casarão 2 segundo os critérios da INI-C e *EnerPHit Standard*.

Dissertação aprovada, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 28 de abril de 2020

Banca examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Grala da Cunha (Orientador)

Doutor em Arquitetura pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dr^a. Ana Lucia Costa de Oliveira (Coorientador)

Doutora em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof^a. Dr^a. Celina Maria Britto Correa

Doutora em Arquitetura pela Universidade Politécnica de Madrid

Prof^a Dr.^a Isabel Tourinho Salamoni

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Joaquim dos Santos Pizzutti

Doutor em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade de São Paulo

Joaquim dos Santos Pizzutti

Agradecimentos

Agradeço imensamente aos meus pais, Lucieri e Reginaldo, por todas as palavras de carinho e reconforto nos momentos mais difíceis, pelo amor, pela compreensão, pelo apoio tanto emocional quanto físico, e por me proporcionarem todas as condições necessárias para que eu pudesse concluir essa etapa.

As minhas companheiras de jornada Ana, Camila, Cris, Dora, Eliana, Mariana e Rosana, pelas palavras de apoio e incentivo, mostrando que, apesar das dificuldades, o melhor prêmio é ter pessoas ao seu lado que te incentivam a seguir em frente e a ser sempre uma melhor versão de si mesma.

A minha confidente de pesquisa, Jessica, pela amizade sincera que proporcionou diferentes perspectivas da situação em que me encontrava, pelas trocas de conhecimentos científicos e debates acadêmicos.

A Evelin, que sempre teve diversos exemplos para me mostrar o lado bom e bonito das coisas.

Aos colegas do Laboratório de Conforto e Eficiência Energética – LABCEE, pela troca de conhecimento, ajudas técnicas e convivência diária.

Agradeço, especialmente, aos meus orientadores, Prof. Eduardo Grala e Prof^a. Ana Oliveira, por todo o conhecimento transmitido, pelas orientações de que caminho seguir e por confiarem na minha capacidade para desenvolver o trabalho.

Resumo

CARVALHO, Amanda Rosa de. **Discussão das possibilidades de Retrofit energético no Casarão 2 segundo os critérios da INI-C e EnerPHit Standard**. 2020. 124f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

As edificações foram responsáveis por 50,5% do consumo total de energia elétrica no Brasil e a tendência é que esse consumo aumente no decorrer dos anos. Isso mostra a importância de investir em legislações e técnicas que visem à eficiência energética nas edificações. A realização do *retrofit* é complexa em muitos casos, principalmente nas edificações históricas, uma vez que as legislações de preservação do patrimônio histórico restringem as possibilidades de modificações na envoltória. Devido a essa dificuldade, o presente trabalho tem como objetivo analisar as possibilidades do *retrofit* energético em um edifício histórico com nível 1 de tombamento, sob a ótica do patrimônio histórico, eficiência energética e viabilidade econômica, no contexto climático do sul do Brasil (zona bioclimática 2). Essa pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso do Casarão 2, utilizando técnicas qualitativas e quantitativas para definição da qualidade do *retrofit* energético. Na parte quantitativa, foi utilizada a simulação computacional para averiguar a eficiência energética do modelo real e modificados, sob a ótica da INI-C e *EnerPHit Standard*. Nessa parte, também foi realizado orçamento e o *payback* simples de cada *retrofit*, para averiguar a viabilidade dos modelos. Na parte qualitativa, avaliou-se o impacto de cada modificação dos *retrofits* na envoltória do Casarão 2. O modelo real obteve 67% das horas ocupadas em conforto térmico para 80% de aceitabilidade do conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2010). Mesmo utilizando estratégias passivas para otimizar a edificação, não foi possível atingir 90% de horas em conforto térmico, exigidas pela INI-C para a edificação totalmente ventilada naturalmente, sendo necessário implementar um sistema de climatização híbrida. Com esse sistema, o Casarão 2 passou a ter nível “B”. De todos os modelos, o Modelo 45 – PTHP e 5cm de lã-de-vidro – aproximou-se de ser viável numa edificação histórica. Esse modelo atingiu o nível A da INI-C, os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*. Suas modificações não provocam impactos visuais na fachada da edificação e pode ser considerado economicamente viável, dependendo dos limites de vida útil adotados pela NBR 15575 (2013) para sistemas de condicionamento de ar. Os resultados dessa pesquisa mostraram a complexa relação entre melhorar a eficiência energética de uma edificação histórica e manter suas características de relevância histórica. Todo *retrofit* alterou em algum nível a envoltória da edificação histórica. O importante nas edificações tombadas no nível 1 é essa alteração não causar impactos visuais ou causar perda de material histórico na envoltória. Apesar de ser difícil que o *retrofit* em uma edificação histórica encontre um equilíbrio entre eficiência energética, preservação do patrimônio histórico e viabilidade econômico, isso não é impossível. O Modelo 45 mostrou essa possibilidade, sendo necessários mais estudos sobre esse tema para se chegar a um veredito mais sólido.

Palavras-chaves: *Retrofit*. Eficiência energética. Edifício histórico. INI-C. *EnerPHit Standard*.

Abstract

CARVALHO, Amanda Rosa de. **Discussion of the possibilities of energy retrofit at Casarão 2 according to INI-C and EnerPHit Standard.** 2020. 124s. Dissertation (Master in Architecture and Urbanism) - Graduate Program in Architecture and Urbanism, Faculty of Architecture and Urbanism, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2020

Buildings were responsible for 50.5% of total electricity consumption in Brazil and the trend is for this consumption to increase over the years. This shows the importance of investing in legislation and techniques aimed at energy efficiency in buildings. The performance of retrofits is complex in many cases, especially in historic buildings, since the legislation for the preservation of historical heritage restricts the possibilities of changes in the envelope. Due to this difficulty, the present work aims to analyze the possibilities of energy retrofit in a historic building with level 1 listed, from the perspective of historical heritage, energy efficiency and economic viability, in the climatic context of southern Brazil (bioclimatic zone 2). This research can be classified as a case study of Casarão 2, using qualitative and quantitative techniques to define the quality of the energy retrofit. In the quantitative part, computer simulation was used to ascertain the energy efficiency of the real and modified model, from the perspective of INI-C and EnerPHit Standard. In this part, a budget and a simple payback for each retrofit were also made, to ascertain the viability of the models. In the qualitative part, the impact of each modification of the retrofits on the Casarão 2 envelope was evaluated. The real model obtained 67% of the hours occupied in thermal comfort to 80% of acceptability of the adaptive comfort of ASHRAE 55 (2010). Even using passive strategies to optimize the building, it was not possible to reach 90% of hours in thermal comfort, required by INI-C for the building to be fully ventilated naturally, being necessary to implement a hybrid climate system. With this system, Casarão 2 now has level "B". Of all the models, the Model 45 - PTHP and 5cm of glass wool - came close to being viable in a historic building. This model reached level A of INI-C, the minimum criteria of EnerPHit Standard. Its modifications do not cause visual impacts on the building's facade and can be considered economically viable, depending on the useful life limits adopted by NBR 15575 (2013) for air conditioning systems. The results of this research showed the complex relationship between improving the energy efficiency of a historic building and maintaining its characteristics of historical relevance. Every retrofit changed the envelope of the historic building to some degree. The important thing in buildings listed on level 1 is that this change does not cause visual impacts or cause loss of historical material in the envelope. Although it is difficult for retrofit in a historic building to find a balance between energy efficiency, preservation of historic heritage and economic viability, this is not impossible. Model 45 showed this possibility, and further studies on this topic are needed to reach a more solid verdict.

Keywords: Retrofit. Energy efficiency. Historic building. INI-C. EnerPHit Standard.

Lista de Figuras

Figura 1 - Gráfico histórico do consumo energético final do Brasil.....	17
Figura 2- Gráfico histórico do consumo energético final por setor no Brasil	18
Figura 3- Mapa da zona urbana de Pelotas com delimitação das áreas especiais de interesse ambiental e cultural.....	29
Figura 4- Mapa da zona urbana de Pelotas com delimitação dos focos e eixos de interesse na ZPPC	30
Figura 5- Fachada de um imóvel antes e depois da isenção do IPTU	31
Figura 6- Gráfico histórico do consumo energético final por setor no mundo	31
Figura 7 - Gráfico histórico da produção de CO2 final por setor no mundo	32
Figura 8 - Esquema dos cinco princípios da <i>Passive House</i>	35
Figura 9 - Esquema do funcionamento do MVHR	36
Figura 10 - Agenda modelo de otimização <i>EnerPHit</i>	37
Figura 11- Etapas de certificação <i>EnerPHit</i>	38
Figura 12 - Zonas climáticas mundiais	39
Figura 13 - Escala para a determinação de classe de eficiência da edificação avaliada.....	43
Figura 14 - Fluxograma das etapas de pesquisa	55
Figura 15 - Estado atual do Casarão 2.....	58
Figura 16 - Mapa de localização do Casarão 2	58
Figura 17 - Planta baixa 1º pavimento: Casarão 2 ventilado naturalmente	60
Figura 18 - Planta baixa 2º pavimento: Casarão 2 ventilado naturalmente	60
Figura 19 - Planta baixa 1º pavimento: materiais	61
Figura 20 - Planta baixa 2º pavimento: materiais	62
Figura 21 - Corte do Casarão 2.....	62
Figura 22 - Planta baixa 1º pavimento: zonas térmicas.....	64
Figura 23 - Planta baixa 2º pavimento: zonas térmicas.....	64
Figura 24 - Planta baixa claraboia e mirante: zonas térmicas	65
Figura 25 - Modelo 3D do Casarão 2	65
Figura 26 - Configuração e agrupamento das espessuras das paredes do Casarão 2	66
Figura 27 - Planta baixa do 1º pavimento: conforto térmica dos ambientes de permanência prolongada.....	77

Figura 28 - Planta baixa do 2º pavimento: conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada.....	77
Figura 29 – Gráfico do conforto térmico dos retrofit ventilados naturalmente do Casarão 2.....	80
Figura 30 - Gráfico de consumo de energia	83
Figura 31 - Gráfico de consumo de energia primária	83

Lista de Tabelas

Tabela 1- Comparativo entre os critérios <i>Passive House</i> e <i>EnerPHit Standard</i>	36
Tabela 2 - Critérios mínimos da envoltória por zona climática	39
Tabela 3 - Demanda de energia para aquecimento e resfriamento por zona climática	40
Tabela 4 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado	42
Tabela 5 - Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária	43
Tabela 6 - Tipo de sistema de condicionamento de ar	45
Tabela 7 - Características gerais do sistema a ser modelado	45
Tabela 8 - Características específicas do sistema de condicionamento de expansão direta, split e condensação a ar	46
Tabela 9 - Características termoenergéticas dos elementos construtivos	47
Tabela 10 - Intervalo relativo a cada uma das classes de eficiência energética ...	48
Tabela 11 - Categorização dos trabalhos encontrados sobre retrofit energético em edificações históricas	49
Tabela 12 - Porcentual de aberturas nas fachadas	59
Tabela 13 - Propriedades térmicas dos materiais	63
Tabela 14 - Propriedades térmicas dos elementos construtivos	67
Tabela 15 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para a classe de eficiência pretendida: método das atividades do edifício	68
Tabela 16 - Descrição das soluções analisada de conforto térmico e consumo de energia	73
Tabela 17 - Edificações não descritas anteriormente: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A (CRCEP(D-A)) com base no fator de forma (FF) e o grupo climático correspondente	74
Tabela 18 - Descrição das soluções para análise de viabilidade econômica	75
Tabela 19 - Classificação da eficiência energética	78
Tabela 20 - Modificações do Casarão 2: climatização natural	79
Tabela 21 - Modificações do Casarão 2: climatização híbrida	82
Tabela 22 - Classificação do desempenho energético dos modelos PTHP	84
Tabela 23 - Descrição das soluções para análise da viabilidade econômica	87

Tabela 24 - Levantamento quantitativo dos materiais	88
Tabela 25 - Payback simples	91

Lista de abreviaturas e siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEIAC	Áreas Especiais de Interesse Ambiental e Cultural
AIE	Agência Internacional de Energia
BEM	Balanço Energético Nacional
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CEP	Consumo de Energia Primária
CEP_R	Referência para o Consumo de Energia Primária
CEP_{REAL}	Consumo de Energia Primária da Condição Real
CEP_{REF}	Consumo de Energia Primária da Condição Referência
COP	Coeficiente de Desempenho
$CRCEP_{D-A}$	Coeficiente de Redução do Consumo de Energia Primária da classe D para classe A
CTE_E	Consumo Total de Energia Elétrica
CTE_T	Consumo Total de Energia Térmica
DPE	Densidade de Potência de Equipamento
DPI	Densidade de Potência Instalada
EPBD	Diretiva Desempenho Energético dos Edifícios
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FF	Fator de Forma
GCL	Grupo Climático
ICCROM	Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauração de Bens Culturais
ICOM	Conselho Internacional de Museus
ICOMOS	Conselho Internacional de Monumentos e Sítios
IN	Instrução Normativa
INI-C	Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPHAE	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
LABCEE	Laboratório de Conforto e Eficiência Energética

MDIC	Ministérios da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MME	Ministério de Minas e Energia
MPOG	Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão
MVHR	Mechanical Ventilation with Heat Recovery
NBR	Normas Brasileiras
NEAB	Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira
ONU	Organização das Nações Unidas
PHI	Passive House Institute
$PHOC_T$	Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico
PHPP	Passive House Planning Package
POC	Porcentual de horas Ocupadas em Conforto
PTHP	Packages Terminal Heat Pump
RS	Rio Grande do Sul
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
SECULT	Secretaria Municipal da Cultura
SeCult	Secretaria Municipal da Cultura
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices
SLTI	Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação
SPHAN	Secretaria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
TCPO	Tabela de Composição e Preços para Orçamentos
UFPeI	Universidade Federal de Pelotas
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNIC Rio	Centro de Informações das Nações Unidas
ZB	Zona Bioclimática Brasileira
ZPPC	Zonas de Preservação do Patrimônio Cultural
ZT	Zonas Térmicas
fcE	Fator de Conversão da Energia Elétrica
fcT	Fator de Conversão da Energia Térmica

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Contextualização e justificativa.....	17
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivo geral	20
1.2.2. Objetivos específicos	20
1.3. Estrutura do trabalho	20
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	22
2.1. Patrimônio histórico edificado.....	22
2.1.1. Práticas de preservação do patrimônio histórico.....	23
2.1.2. Legislação vigente de preservação do patrimônio histórico	25
2.1.2.1. Legislação brasileira em nível federal	26
2.1.2.2. Legislação brasileira em nível estadual	27
2.1.2.3. Legislação brasileira em nível municipal.....	28
2.2. Eficiência energética	31
2.2.1. Legislação vigente de economia de energia	32
2.2.2. <i>EnerPHit Standard</i>	34
2.2.3. INI-C – Instrução Normativa Decreto nº 248	41
2.2.3.1. Método de simulação da INI-C.....	44
2.3. Estudos sobre <i>retrofit</i>	48
2.3.1. Parâmetros gerais.....	48
2.3.2. Cenário mundial	49
2.3.3. Melhorias no desempenho energético em edificação antiga.....	50
2.3.4. Integração entre <i>retrofit</i> energético e preservação do patrimônio histórico	51
2.3.5. Metodologia de diagnóstico e classificação de <i>retrofit</i> energético em edifício histórico.....	52
3. MÉTODO DE PESQUISA.....	54
3.1. Estrutura geral da pesquisa.....	54
3.2. Escolha e análise do objeto de estudo	56
3.2.1. Critérios para a seleção do objeto de estudo	56
3.2.2. História do edifício.....	57
3.2.3. Caracterização do objeto de estudo.....	58

3.3. Simulação computacional.....	63
3.3.1. Modelo real	67
3.3.2. Modelo referência	69
3.3.2.1. Modelo referência com ventilação natural.....	69
3.3.2.2. Modelo referência com climatização híbrida	69
3.3.3. Modelo otimizado segundo a INI-C	70
3.3.3.1. Modelo otimizado com ventilação natural	70
3.3.3.2. Modelo otimizado com climatização híbrida.....	71
3.3.4. Modelo otimizado segundo a <i>EnerPHit Standard</i>	71
3.4. Método do orçamento do <i>retrofit</i>	71
3.5. Análise de resultados	73
3.5.1. Análise do conforto térmico e consumo de energia	73
3.5.2. Análise do <i>payback</i> simples	75
4. ANÁLISE DE RESULTADOS	76
4.1. Análise do conforto termoenergético do Casarão 2.....	76
4.1.1. Análise do modelo real.....	76
4.1.2. Análise do modelo de referência.....	78
4.1.3. Análise de otimização para nível “A” da INI-C.....	78
4.1.4. Análise da otimização para critérios mínimos da <i>EnerPHit Standard</i>	85
4.2. Análise do <i>payback</i>	86
4.2.1. Análise do orçamento.....	86
4.2.2. Análise do <i>payback</i> simples	90
4.3. Análise do impacto das modificações dos <i>retrofits</i> na edificação histórica..	92
5. CONCLUSÃO	95
5.1. Limitações do trabalho	99
5.2. Trabalhos futuros.....	99
Referências	100
Apêndices.....	108
Anexos	120

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização e justificativa

No Brasil, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (MME) (2010, 2019), o consumo de energia elétrica aumentou aproximadamente 62% nos últimos 18 anos. Assim como mostra a Figura 1, o consumo de energia elétrica passou de 28,51Mtep em 2000 para 46,05Mtep em 2018. Apesar da queda em 2015, a tendência do consumo de energia elétrica é aumentar conforme o passar dos anos, devido às novas tecnologias mais dependentes da eletricidade.

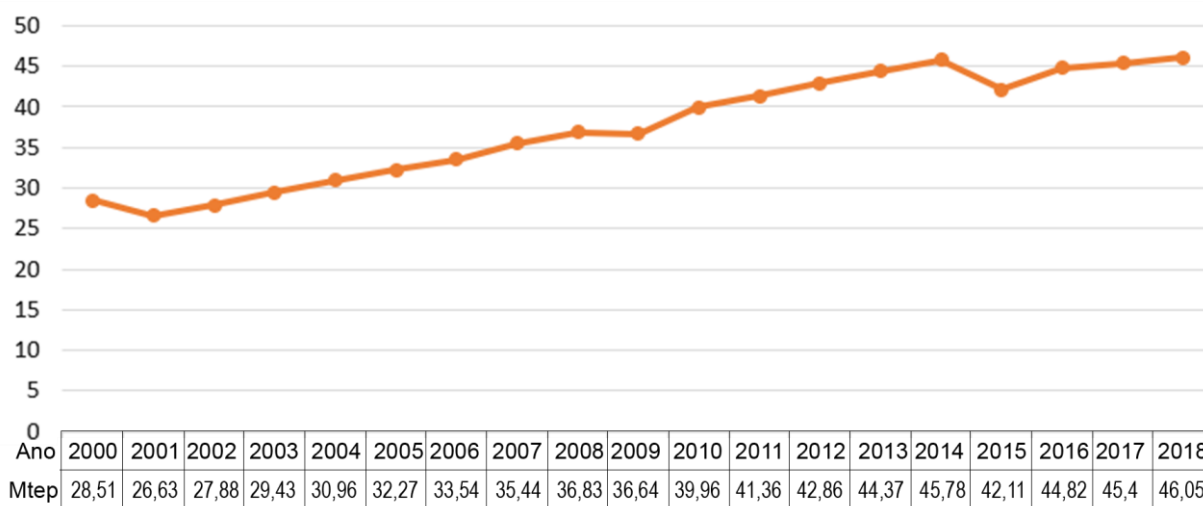


Figura 1 - Gráfico histórico do consumo energético final do Brasil
Fonte: Adaptado do MME e EPE (2010, 2019)

Segundo o MME e EPE (2019), o Balanço Energético Nacional (BEN) (2019) revelou a influência de cada setor no consumo de energia elétrica, sendo o setor residencial 25,4%, o comercial 16,9% e o público 8,2%. Isso evidencia que as edificações foram responsáveis por aproximadamente 50,5% do consumo total de energia elétrica. Conforme mostra a Figura 2, as edificações desses setores consumiram cerca de 23,12Mtep de energia, ou seja, 67,9% a mais se comparado a 2000. Isso mostra o crescimento no consumo de energia elétrica no Brasil e a necessidade de investir em mecanismos que diminuam esse consumo nas edificações.

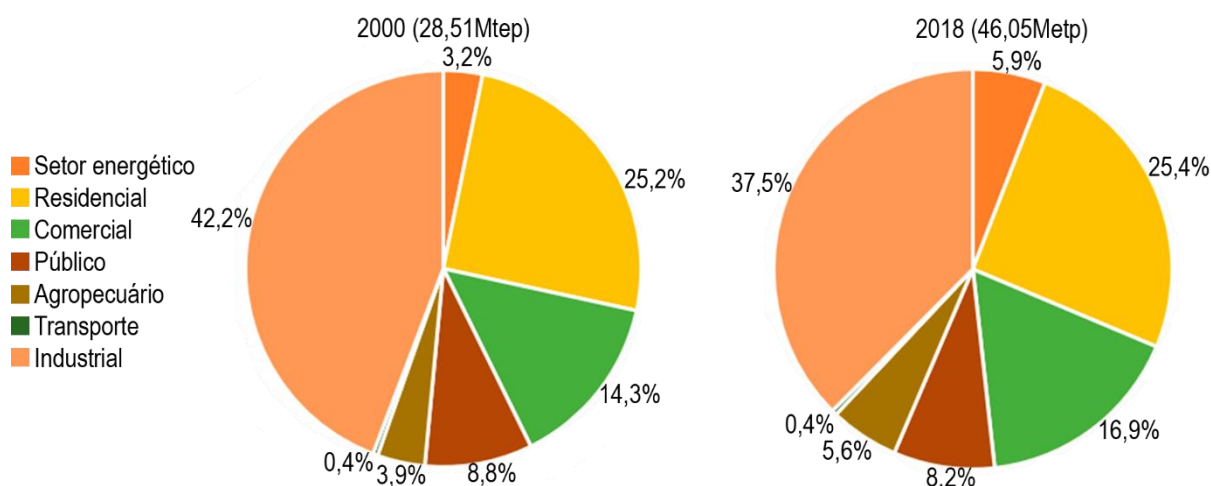


Figura 2- Gráfico histórico do consumo energético final por setor no Brasil
 Fonte: Adaptado do MME e EPE (2010, 2019)

Segundo a Secretaria de Logística e Tecnologia da Informação (SLTI) do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) (2014), um dos mecanismos para controlar o consumo de energia nas edificações é a Instrução Normativa (IN) nº 2. Essa normativa estipula regras para a aquisição de aparelhos consumidores de energia nos projetos e respectivas edificações públicas. Uma dessas regras exige a etiquetagem do desempenho energético em todas as edificações públicas novas, ou que passem por reformas apresentando área superior a 500m². Além disso, essa normativa exige que essas edificações apresentem nível “A” de eficiência energética.

Todavia, alcançar o nível “A” em edificações existentes pode ser um desafio, principalmente em relação às possibilidades de modificação. Isso ocorre pois, segundo o Art. 222. §3. da Constituição do Rio Grande do Sul (RS, 2017), as instituições públicas devem ocupar preferencialmente prédios tombados. Esses últimos estão sujeitos às legislações de proteção do patrimônio histórico que limitam as possibilidades de transformações estéticas e estruturais da edificação.

Apesar dessas restrições, autores como Mazzarella (2015) e Martínez-Molina *et al.* (2016) afirmam que melhorar a eficiência energética nos edifícios históricos pode ser considerada uma prática de conservação. Além de melhorar o conforto térmico, através de mecanismos passivos e ativos, essa prática também melhora a utilização da edificação. Através dessas melhorias, é possível diminuir o consumo de energia e proporcionar ambientes que atendam às necessidades atuais dos

usuários. Isso garante a continuidade de uso da edificação e preservação do patrimônio histórico para as gerações futuras.

A cidade de Pelotas é considerada uma cidade histórica e possui, segundo a Secretaria Municipal da Cultura (SECULT) (2008), 1.700 prédios e 19 bens tombados em nível municipal, estadual e federal. Segundo o Art. 65 do 3º Plano Diretor de Pelotas (Pelotas, 2008) é necessário conservar esses imóveis, pois além de representarem o período de formação e desenvolvimento da cidade, também apresentam características marcantes da arquitetura tradicional de Pelotas.

Segundo Lannes (2011), Pelotas, por ser reconhecida pelo seu significativo patrimônio histórico e arquitetônico, passou por muitas iniciativas para resgatar e valorizar sua arquitetura para as necessidades atuais dos usuários. Todavia, algum tempo após essas iniciativas, percebeu-se indícios de manifestações patológicas, como destacamento da argamassa e/ou do ornamento, fissuras, pátina botânica, entre outros. Isso é confirmado no trabalho de Silva *et al.* (2017b), no qual evidenciam danos nas paredes próximas às estruturas nos grandes casarões históricos da cidade, causados pela estrutura precária e incompatibilidade de uso, proporcionando grandes períodos sem utilização do espaço. Para evitar esse cenário e garantir a continuidade de uso do ambiente, Silva *et al.* (2017a) afirmam que a edificação precisa proporcionar as condições de conforto interno para seus usuários, sendo necessário realizar estudos acerca do comportamento microclimático das edificações históricas antes de passarem por *retrofit* físico.

Levando em consideração as informações mencionadas anteriormente, esse trabalho é um recorte sobre a discussão das possibilidades de *retrofit* energético em edifícios históricos. Nesse recorte, foi analisado um edifício público tombado no nível 1, visando conciliar as legislações de conservação do patrimônio histórico, legislações de eficiência energética e viabilidade econômica. Na análise de desempenho energético foram usadas como bases norteadoras duas normativas de desempenho energético, sendo uma internacional e outra nacional. No quesito internacional, foram utilizados os critérios da normativa alemã de *retrofit EnerPHit Standard* para a zona climática brasileira, uma vez que essa normativa estabelece diretrizes de isolamento térmico e modernização nos edifícios existentes do Brasil, tendo como base a flexibilização dos parâmetros presentes na *Passive House Standard*. No quesito nacional, foram utilizados os critérios da Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de

Serviços e Públicas (INI-C), presentes na Portaria nº 248, do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC). Essa normativa é a atualização do Regulamento Técnico da Qualidade para Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é analisar as possibilidades do *retrofit* energético em um edifício histórico com nível 1 de tombamento, sob a ótica do patrimônio histórico, da eficiência energética e da viabilidade econômica, no contexto climático do sul do Brasil (zona bioclimática 2).

1.2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos do trabalho, destacam-se:

- I. Analisar a relação entre as modificações na envoltória impostas pelo *retrofit* energético e as restrições legislativas advindas da condição de tombamento da edificação.
- II. Verificar se a INI-C e a *EnerPHit Standard* são adequadas para classificar o nível de eficiência de uma edificação histórica no contexto do sul do Brasil.
- III. Avaliar a viabilidade de otimização energética e econômica das estratégias de *retrofit*, visando o conforto térmico dos seus usuários.

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi estruturado em 5 capítulos. No primeiro capítulo foram apresentados a introdução sobre o tema principal que foi abordado, a justificativa da necessidade do trabalho, os objetivos gerais e específicos, e a estrutura do trabalho.

No segundo capítulo foi apresentada a revisão de literatura, abordando temas referentes às políticas de conservação do patrimônio histórico, políticas de conservação de energia, estudos sobre *retrofit* energético em edifícios antigos, definições dos critérios da INI-C e critérios da certificação alemã de *retrofit EnerPHit Standard*.

No terceiro capítulo foi apresentado o estudo de caso aplicado neste trabalho. Nessa etapa, utilizou-se a simulação computacional para avaliar o desempenho termoenergético do objeto de estudo e das propostas de *retrofit*. Além disso, foram explicados o método de avaliação do desempenho termoenergético, a orçamentação e o *payback* simples (viabilidade econômica) dos *retrofits*.

No quarto capítulo, foram apresentados os resultados das soluções de *retrofit* encontradas no capítulo 3. Nessa etapa, foram analisados as soluções de modificação empregadas, o nível de eficiência energética, a adequação aos critérios da INI-C e *EnerPHit Standard*, o orçamento, o *payback* simples dos *retrofits*, a relação entre as modificações na envoltória impostas pelo *retrofit* energético e os critérios de preservação do patrimônio histórico.

No quinto capítulo foram apresentadas as principais conclusões obtidas com o trabalho, as limitações e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, apresenta-se os conceitos - base para a elaboração e entendimento deste estudo. Divide-se em três temas principais: patrimônio arquitetônico, eficiência energética e estudos sobre *retrofit* energético.

2.1. Patrimônio histórico edificado

Segundo o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) (1964), a Carta de Veneza definiu como monumento histórico a criação arquitetônica que possuísse significado histórico ou cultural, sendo importante a sua conservação e restauração para salvaguardar o testemunho histórico. Esse conceito foi atualizado em 1972, com as Recomendações de Paris, que passaram a definir patrimônio histórico como sendo monumentos, conjuntos ou lugares notáveis (IPHAN, 1972a). Já no Brasil, esse conceito foi definido em 1937 com o Decreto nº 25, no qual patrimônio histórico passou a ser o conjunto de móveis e imóveis existentes no país cuja conservação era de interesse público (BRASIL, 1937). Esse interesse ocorria devido à vinculação do imóvel com a memória da história do Brasil ou pelo seu valor arqueológico, etnográfico, bibliográfico ou artístico.

A definição atual de patrimônio é mais abrangente. Segundo os Art. 215 e 216 da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), passam a ser reconhecidos como patrimônio histórico os bens de natureza material (arquitetura, conjuntos urbanos e paisagens naturais) e imaterial (cultura, arte, tradições). Nesse contexto, o conceito de patrimônio arquitetônico se torna vasto e pode ser compreendido por patrimônio cultural edificado. Esse patrimônio deve ser conservado através da restauração, conceito que representa qualquer intervenção destinada a manter a funcionalidade e a facilidade de leitura da obra (IPHAN, 1972b). A restauração não se limita a preservar os elementos formais de arquitetura, mas a conservar as características do conjunto e dos elementos que contribuem para defini-las como representativas de um passado. Preservando tais conjuntos, é possível identificar uma parte da história da região, seus costumes e sua cultura, e transmitir tais conhecimentos para outras gerações.

Atualmente, preservar a edificação existente e/ou histórica apresenta novas demandas decorrentes da necessidade de diminuir os impactos da construção civil

sobre o meio ambiente. Dentre esses impactos, destacam-se o consumo e o desperdício de matéria-prima das novas construções, a geração de lixo proveniente das demolições, e o grande consumo de energia nas edificações não adaptadas ao usuário atual. Segundo Art. 225 da Constituição Federativa do Brasil de 1988 (BRASIL, 1988), é dever da coletividade e do poder público defender e preservar o meio ambiente para as presentes e futuras gerações.

Pode-se compreender que preservar edificações históricas é um mecanismo de proteção cultural e natural. A proteção cultural ocorre através da conservação dos registros históricos, os quais proporcionam a compreensão da história e da cultura da região. Já a proteção natural acontece pela diminuição da necessidade de matéria-prima e de dejetos na construção civil, diminuindo os impactos ambientais.

2.1.1. Práticas de preservação do patrimônio histórico

Ao restaurar ou reabilitar a edificação histórica, é importante ressaltar que existem métodos de intervenção próprios que visem preservar esse patrimônio, como o tombamento. Esse método registra legalmente a importância de um bem e as características significativas do conjunto. Através disso, é possível definir quais técnicas de manutenção e restauração serão utilizadas para manter a sua funcionalidade e representatividade.

Kuhl (2007) afirma que os princípios fundamentais da restauração são: distinguibilidade entre os materiais; retrabalhabilidade das intervenções; mínima intervenção na obra; e compatibilidade entre os materiais e técnicas construtivas. Todos esses princípios visam à integridade na edificação, sua mínima descaracterização e mínima perda do material histórico. A distinguibilidade diferencia a intervenção do objeto original na edificação, permitindo que o observador diferencie o antigo do novo. A retrabalhabilidade permite que a intervenção feita seja modificada ou retirada sem prejudicar a edificação. A mínima intervenção visa não descaracterizar a obra ou descaracterizá-la o mínimo possível, mantendo a sua autenticidade. A compatibilidade entre os materiais evita que material novo sofra reações químicas ao entrar em contato com o material antigo, evitando o surgimento de patologias causadas por fenômenos químicos.

Outra prática de preservação do patrimônio é o contínuo uso e ocupação das edificações históricas. Isso produz benefícios às cidades, uma vez que diminui os

vazios urbanos e os resíduos provenientes de demolições (RS, 2017). Além disso, o contínuo uso da edificação garante manutenções periódicas decorrentes da ocupação, retardando, assim, a degradação gerada pelo tempo.

Nas edificações abandonadas, recomenda-se reciclar a obra, preservando a sua qualidade histórica, evitando a criação de desejos (IPHAN, 1977c), e melhorando o seu ambiente interno. Esse último proporciona melhor aproveitamento do espaço e evita a degradação da edificação causada pelo abandono, uma vez que o usuário estará em conforto ao utilizar o ambiente.

Uma prática de reciclagem da edificação utilizada na atualidade é o *retrofit*. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NBR 15575, 2013), o *retrofit* atualiza o edifício ou seu sistema, incorporando novas tecnologias com o objetivo de valorizar o imóvel, mudar seu uso, aumentar sua vida útil e melhorar sua eficiência operacional e energética. Já a IN nº 2 considera *retrofit* qualquer reforma que modifique a envoltória ou os sistemas de iluminação e condicionamento de ar (MPOG, 2014), ou seja, essa técnica propõe adequar e modernizar a edificação existente, conforme as necessidades atuais dos usuários.

Kim (2018) sugere que o *retrofit* em edificações históricas deve ser reversível e enfatizar a preservação da originalidade da obra. Nessa mesma linha, Webb (2017) afirma que é preciso encontrar um equilíbrio entre a melhoria no consumo energético da edificação e os princípios de conservação do patrimônio histórico. Todavia, Cirami *et al.* (2017) afirmam que esse equilíbrio é limitado por dois fatores. Primeiro, pela necessidade de preservar a identidade cultural e arquitetônica da edificação. Segundo, pela falta de protocolo nos padrões e códigos atuais em fornecer soluções que equilibrem melhorias na eficiência energética em edifícios históricos. Além disso, Kim (2018) alerta sobre as restrições geométricas presentes nas edificações existentes. Algumas dessas restrições são: a falta de espaços internos para colocação de isolamento; a distribuição de janelas que podem dificultar o controle de radiação solar e ventilação natural; e a orientação da edificação. Já Webb (2017) ressalta a possibilidade de danos na envoltória histórica e o impacto no caráter visual que algumas modificações podem provocar na edificação, como colocação de brises para controlar a radiação solar. Ademais, deve-se ter cuidado para que a vida útil do *retrofit* não seja inferior à vida útil da edificação, nem cause prejuízos à envoltória. Um exemplo negativo disso é a impermeabilização de paredes que necessitam transpirar, criando áreas de

condensação e de patologias provenientes da umidade, diminuindo assim a vida útil da edificação.

2.1.2. Legislação vigente de preservação do patrimônio histórico

As Cartas Patrimoniais são documentos que abrangem medidas e ações administrativas visando à preservação de bens, planos de conservação, manutenção e restauro do patrimônio (IPHAN, 2020). Elas são textos breves e claros, com caráter instrutivo, e não normativo, ou seja, juridicamente não têm o mesmo regimento de uma lei, mas servem como fontes essenciais para a elaboração das legislações, estratégias e condutas profissionais na área de preservação do patrimônio histórico, artístico e cultural.

Normalmente as cartas patrimoniais surgem através dos encontros internacionais, organizados por instituições como: Centro Internacional para o Estudo da Preservação e Restauração de Bens Culturais (ICCROM); Conselho Internacional de Museus (ICOM); Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS); Organização das Nações Unidas (ONU); Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). O IPHAN (2020) reconhece 46 documentos resultantes desses encontros, podendo-se utilizar cinco deles como base norteadora para a preservação do patrimônio histórico. A Carta de Atenas (IPHAN, 1931), iniciou os princípios gerais e as doutrinas referentes à proteção e valorização dos monumentos. A Carta de Veneza (IPHAN, 1964) abriu o diálogo internacional sobre a conservação e restauração de monumentos e sítios, visando salvaguardas, tanto a obra de arte quanto o testemunho histórico. A Norma de Quito (IPHAN, 1967) ressaltou a conservação e utilização de monumentos e lugares de interesse histórico (em nível nacional e internacional), a valorização econômica dos monumentos e a importância dos monumentos em função do turismo. A Carta do Restauro (IPHAN, 1972b) proibiu algumas ações perante o patrimônio histórico que poderiam prejudicar seu caráter histórico, como a remoção ou demolição que apagassem a trajetória da obra da edificação através do tempo. Já o Manifesto de Amsterdã (IPHAN, 1975) mencionou o perigo em que o patrimônio se encontrava devido ao urbanismo, que gerava abandono, e pela tecnologia, que não se adaptava nas edificações antigas. Essa carta também ressaltou o patrimônio como um bem comum que necessitava de recursos jurídicos, administrativos, financeiros e técnicos para a sua preservação.

Como as Cartas patrimoniais trazem considerações sobre a conservação do patrimônio, o seu conhecimento juntamente com o bom senso é de fundamental importância na elaboração do projeto de restauro e *retrofit*. Nota-se que nenhuma carta impede a ação do projetista, apenas o guia na escolha de melhores ações a serem abordadas durante o restauro e a preservação de um bem tombado. Isso evidencia que os estudos desses documentos e a análise crítica das informações são de suma importância para qualquer tipo de intervenção em edificações históricas, como é o caso do *retrofit* energético.

As legislações que surgem a partir das Cartas patrimoniais podem atuar em diferentes níveis, como internacional, seguidas da federal, estadual e por fim municipal. Todavia, uma legislação não pode contradizer a outra, sendo importante detalhar as informações e correlacioná-las entre si.

2.1.2.1. Legislação brasileira em nível federal

Os instrumentos de proteção do patrimônio histórico visam garantir legalmente a preservação dos bens de interesse cultural do país. Ao longo do tempo, algumas legislações em nível federal foram estabelecidas e outras atualizadas para atenderem ao cenário atual.

O Decreto Lei nº 25 foi a primeira legislação federal que definiu o patrimônio histórico e a importância do Livro do Tombo para conservar o patrimônio (BRASIL, 1937). Ao total são quatro livros do Tombo: Arqueológico, etnográfico e paisagístico; Histórico; Belas artes; e Artes aplicadas. Esses livros catalogam e registram oficialmente os bens de relevância histórica do Brasil, cada qual dedicado a uma parte da cultura histórica do país.

A Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988) responsabilizou a união, os estados e os municípios a protegerem o seu patrimônio, impedindo a sua destruição e descaracterização. Qualquer forma de ameaça ou danos ao patrimônio cultural pode ser punido na forma da lei. A constituição também afirmou que é dever do município proteger o patrimônio histórico local, tendo como base as legislações federal e estadual. Ou seja, por mais que cada cidade crie suas normas de proteção do patrimônio histórico, essas normas não devem se sobrepor às normas de nível federal e estadual.

Segundo Ribeiro (2013), a Constituição Federal remeteu a responsabilidade de executar novos mecanismos de desenvolvimento ao município através da

obrigatoriedade de planos diretores para cidades com mais de vinte mil habitantes. Isso instaurou novas estratégias e mecanismos na legislação urbanística dos municípios, em que a participação da sociedade civil foi requisitada.

Todavia, apenas criar normas de caracterização e responsabilidade do patrimônio histórico não são garantias de sua conservação, principalmente em áreas de grande expansão urbana. Tentando impedir que essa situação danifique o patrimônio, a subseção IV do Decreto nº 6.514 (BRASIL, 2008) estabeleceu as penalidades das infrações sobre o ordenamento urbano e o patrimônio histórico. O seu Art. 73 adverte que alterar o aspecto, estrutura da edificação ou local protegido por lei em razão do seu valor histórico, sem autorização da autoridade competente, pode acarretar uma multa entre R\$10.000,00 (dez mil reais) e R\$20.000,00 (vinte mil reais). Já o Art. 74 aplica multa entre R\$10.000,00 (dez mil reais) e R\$ 100.000,00 (cem mil reais) a quem promover construção em solo não edificado, que altere ou desconfigure o patrimônio histórico do entorno. Essas penalidades são dobradas caso sejam realizados em monumento ou objetos tombados.

2.1.2.2. Legislação brasileira em nível estadual

Em âmbito estadual, o Rio Grande do Sul estabeleceu como sua responsabilidade a identificação, conservação e proteção dos bens considerados patrimônio histórico e cultural regional. Para isso, criou-se o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado (IPHAE), para ser o órgão responsável sobre as questões relativas à salvaguarda do patrimônio.

O IPHAE possui em seu acervo um conjunto de legislações de caráter estadual sobre a preservação do patrimônio histórico e cultural. Dentre algumas dessas legislações, a Lei nº 7.231 (RS, 1978) dispõe sobre o patrimônio cultural do estado, ressaltando a Constituição Federal de 1988. Ademais, afirma que é responsabilidade do proprietário do bem mantê-lo íntegro, sob pena de multas elevadas pela descaracterização ou prejuízo do bem. O diferencial dessa lei é o reconhecimento do patrimônio cultural do Estado de bens localizados fora do seu território, desde que sua origem e características remetam ao Rio Grande do Sul.

A Constituição do Rio Grande do Sul de 1989 (RS, 2019) reafirmou a importância dos municípios protegerem seu patrimônio, criando e atualizando cadastros de acervos culturais, públicos e privados. Os critérios e atualizações para esses cadastros devem ser estabelecidos nos planos diretores e diretrizes gerais

de ocupação dos territórios dos municípios, ou seja, é necessário que os planos diretores das cidades estabeleçam regras de ocupação dos territórios, visando à proteção do patrimônio histórico e cultural. Uma dessas regras deve focar na instituição em áreas de interesse espacial para a integração regional do patrimônio no contexto da atualidade, impedindo sua perda ao longo do tempo (RS, 1994). Outra regra focou em incentivar a ocupação das instituições públicas estaduais em prédios tombados para preservar a arquitetura histórica e permitir à população acessar a obra.

2.1.2.3. Legislação brasileira em nível municipal

Em nível municipal, o 3º Plano Diretor de Pelotas define ações para preservar os bens históricos da cidade. Dentre essas ações, destaca-se a delimitação das Zonas de Preservação do Patrimônio Cultural (ZPPC) e os bens inventariados em níveis, os quais devem ser preservados em razão das suas características históricas.

Nesse 3º Plano Diretor, a preservação dos bens inventariados divide-se em quatro níveis, sendo o primeiro nível o mais restritivo em relação à permissão de modificações e o quarto nível o mais flexível. No nível 1, inclui-se os imóveis componentes do Patrimônio Cultural que são incentivados à preservação das características arquitetônicas, artísticas e decorativas internas e externas (PELOTAS, 2008). Os bens enquadrados neste nível não podem ser destruídos, descaracterizados ou inutilizados. Sua preservação é de extrema importância para o resgate da memória da cidade. No nível 2, inclui-se imóveis em que é necessária a preservação integral de suas fachadas públicas e volumetria, possibilitando, assim, a leitura tipológica da edificação (PELOTAS, 2008). Podem sofrer intervenções internas, desde que mantidas e respeitadas suas características externas. No nível 3, inclui-se imóveis que possuam sua preservação em razão das características de acompanhamento e complementaridade de imóveis classificados como de nível 1 (um) ou 2 (dois) (PELOTAS, 2008). Podem sofrer intervenções internas e externas desde que sua volumetria e ambiência não sejam descaracterizadas. No nível 4, inclui-se imóveis que não apresentam caráter de excepcionalidade ou encontram-se em alto grau de descaracterização, podendo vir a serem substituídos sem acarretarem maiores perdas ao patrimônio histórico e cultural da cidade (PELOTAS, 2008). Assim, os bens enquadrados neste nível

podem sofrer alterações internas e externas, acrescentando ou não novos elementos e demolições parciais ou totais.

A Figura 3 mostra como o 3º Plano diretor de Pelotas demarcou as Áreas Especiais de Interesse Ambiental e Cultural (AEIAC), delimitando o centro de Pelotas e a região do porto como ZPPC.

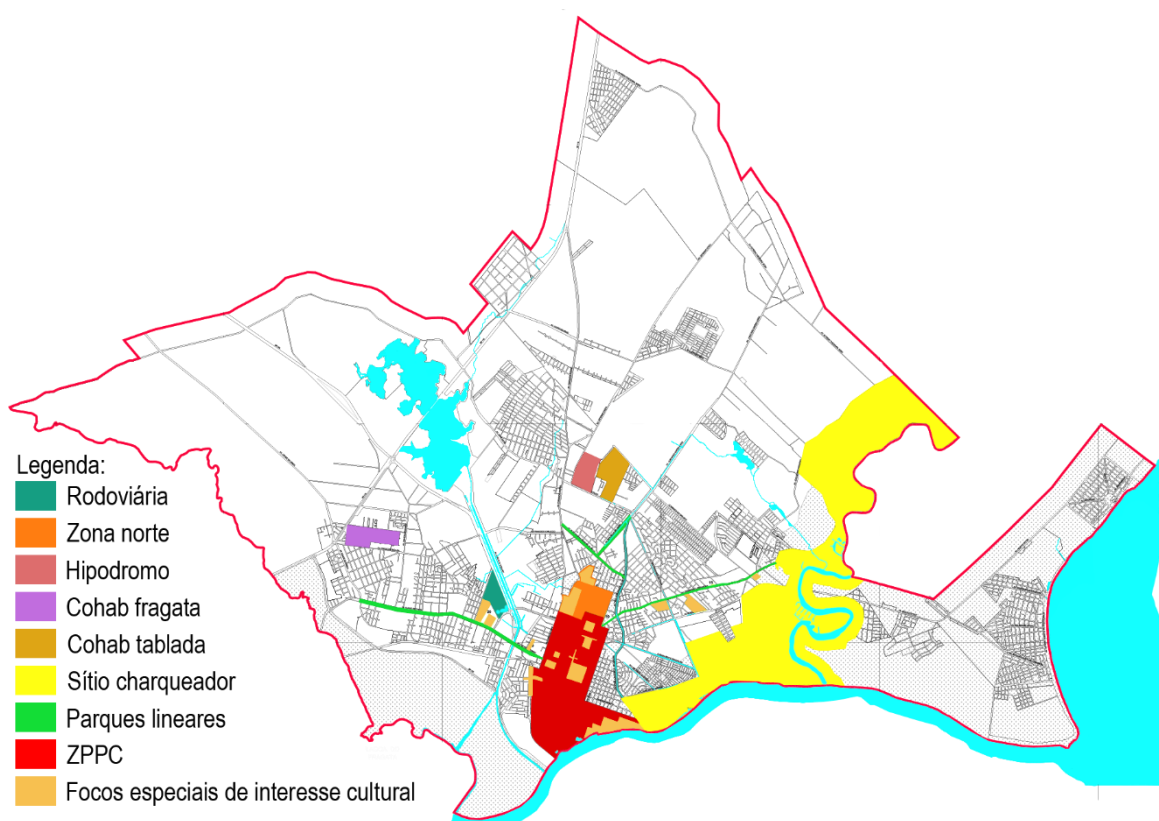


Figura 3- Mapa da zona urbana de Pelotas com delimitação das áreas especiais de interesse ambiental e cultural
Fonte: Pelotas (2008)

A Figura 4 detalha o foco de interesse da ZPPC, destacando o entorno da Praça Coronel Pedro Osório, a zona do porto, e outros pontos como representativos da arquitetura e história da cidade, sendo necessária sua preservação.

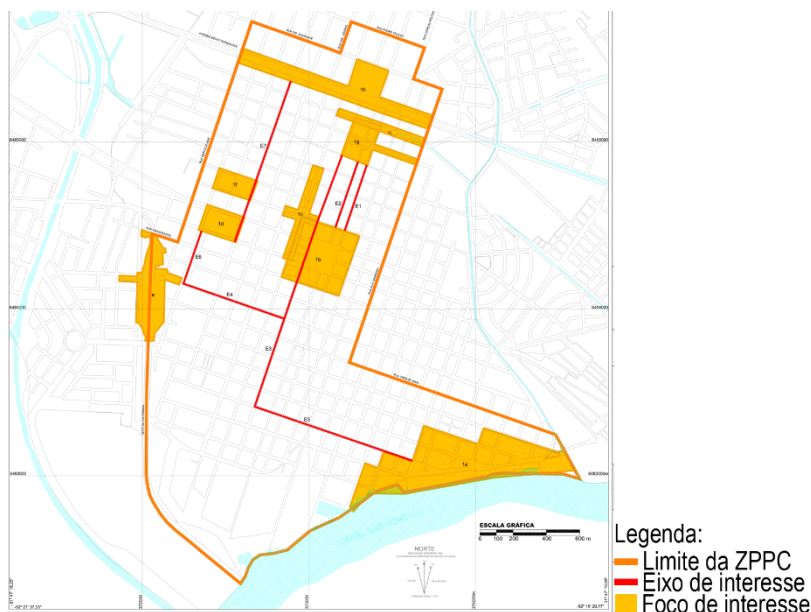


Figura 4- Mapa da zona urbana de Pelotas com delimitação dos focos e eixos de interesse na ZPPC

Fonte: Pelotas (2008)

Inventariar o bem histórico, criar leis que restrinjam a modificação do imóvel e delimitar ZPPC são mecanismos voltados ao setor administrativo para preservar o patrimônio histórico. Somente isso não garante a proteção do patrimônio, pois a população muitas vezes não está ciente desses limites, seja pela falta de interesse, seja pela desinformação.

Visando incentivar a população para preservação do patrimônio, vários incentivos fiscais aos proprietários particulares ou usuários de imóveis inventariados foram criados. Esses incentivos concederam vantagens financeiras àqueles que acatarem determinadas condições impostas pelo interesse público, como garantir a integridade do imóvel. O artigo 6 da Lei nº 5.146 (Pelotas, 2005) definiu que estão isentos do pagamento do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) os imóveis declarados como integrantes do patrimônio histórico devidamente conservados. Esse incentivo serve para a própria população ter interesse em identificar se seu imóvel pode ser considerado histórico, colaborando com a administração da cidade no inventário dos imóveis históricos. Além disso, essa lei incentiva, através da redução ou isenção do IPTU, o proprietário a adotar técnicas de conservação do patrimônio para conservar o edifício histórico. A Figura 5 ilustra um imóvel que teve a sua revitalização proporcionada a partir da isenção do IPTU.



Figura 5- Fachada de um imóvel antes e depois da isenção do IPTU
Fonte: SECULT (2008)

2.2. Eficiência energética

As edificações são algumas das maiores consumidoras de energia elétrica. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA) (2020a), as edificações consumiram cerca de 48,7% da energia elétrica mundial em 2017. Como mostra a Figura 6, entre 1990 e 2017, o consumo de energia elétrica na edificação aumentou em 133%, passando de 384,24Mtep para 895,31Mtep.

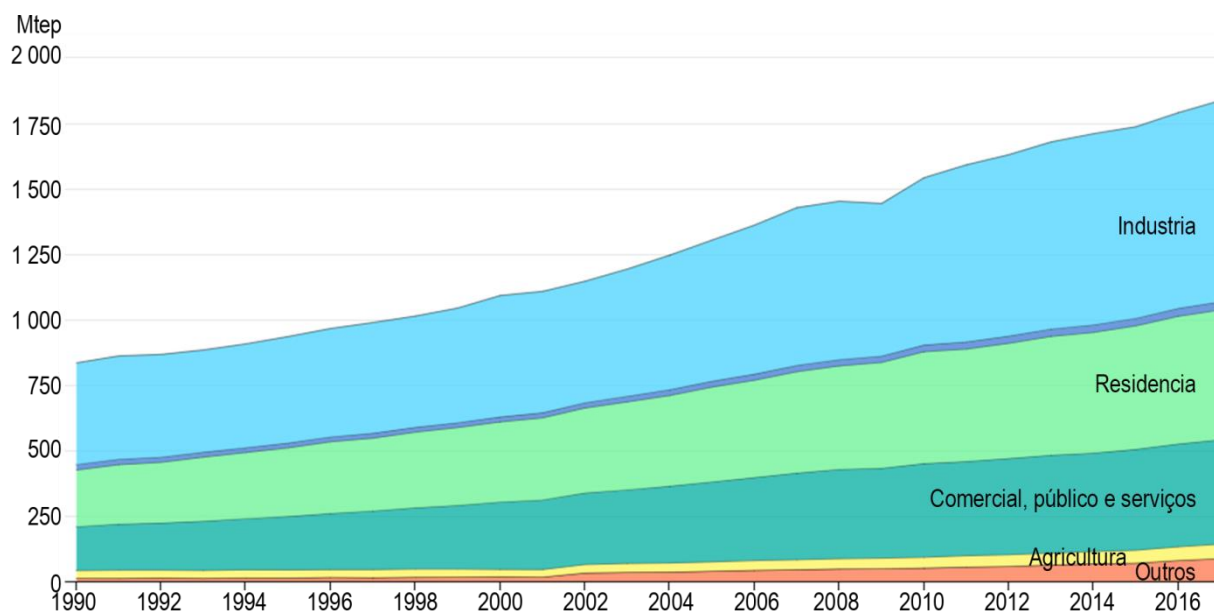


Figura 6- Gráfico histórico do consumo energético final por setor no mundo
Fonte: AIE (2017a)

Como ilustra a Figura 7, houve um aumento de 60% entre 1990 e 2017 na emissão de CO_2 . O maior contribuinte para esse cenário foi o setor de produtos de eletricidade e calor, responsável por 41,4% das emissões (AIE, 2017b).

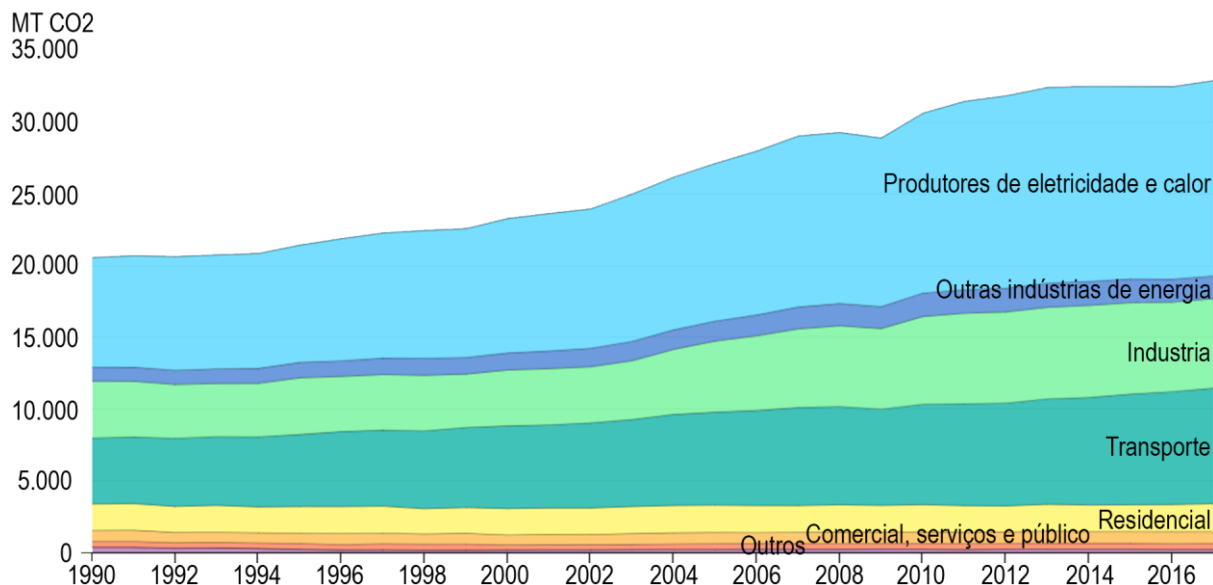


Figura 7 - Gráfico histórico da produção de CO₂ final por setor no mundo
Fonte: AIE (2017b)

Essa grande emissão de CO₂ foi consequência da utilização de fontes não renováveis e poluentes, como petróleo e carvão mineral, na produção de energia. Outro agravante desse quadro foi a crescente demanda por climatização artificial, impulsionada pelo crescimento populacional e pelas mudanças climáticas. Em regiões onde os extremos de calor e frio estão se agravando é mais prático empregar a climatização artificial para se alcançar o conforto térmico dentro das edificações em um curto período de tempo. Como consequência, cada vez mais pessoas ficam dependentes desses mecanismos para resfriamento ou aquecimento.

Isso evidencia a teoria de Fabbri (2013) em que o debate sobre desenvolvimento sustentável, economia, crise energética e financeira dizem respeito a vários setores, incluindo a construção civil. Com o objetivo de controlar o consumo de energia e diminuir a produção de CO₂, várias legislações foram criadas visando à eficiência energética nas edificações.

2.2.1. Legislação vigente de economia de energia

A preocupação do impacto das edificações, perante o aumento na demanda de energia, estimulou a criação de legislações visando melhorias no desempenho energético. Segundo a Diretiva Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) (2002), para melhorar o desempenho energético dos edifícios é indispensável considerar o clima local e focar na criação de métodos e certificação para controlar

o consumo de energia. Pesquisas como a de Leardini e Manfredini (2015) levam em consideração a necessidade de produzir uma variedade de ferramentas analíticas, de certificação e classificação, destinadas a avaliar e melhorar o desempenho energético de novos edifícios.

A Diretiva 2010/31/UE estabeleceu como método a criação de edifícios com desempenho energético alto em que o consumo de energia seja próximo a zero (EPBD, 2010). No entanto, investir apenas em novas edificações eficientes não é garantia de diminuir o consumo energético das cidades. Isso ocorre principalmente onde o setor imobiliário está consolidado. Esses locais geram alto consumo de energia, ocasionado pela ineficiência das edificações existentes. Tendo em vista essa parcela de edificações, a Diretiva 2012/27/UE obrigou a renovar anualmente 3% dos edifícios pertencentes e/ou ocupados por instituições públicas, seguindo os critérios de efficientização energética (EPBD, 2012).

Com a chegada do fim do prazo das metas determinadas pela Diretiva 2010/31/EU de reduzir em 20% o uso da energia até 2020, a EPBD reexaminou uma série de ações e dados sobre o modo de aplicação dessa diretiva, ressaltando os aspectos positivos e os aspectos que podem ser melhorados. Como resultado, o Parlamento Europeu criou a Diretiva 2018/844/UE, focada em desenvolver um sistema energético sustentável, concorrencial e descarbonizado até 2050. Para isso, é preciso facilitar a transformação rentável dos edifícios existentes em edifícios com necessidades quase nulas de energia e criar um parque imobiliário descarbonizado.

Com essa nova diretiva, antes de iniciar uma nova construção é necessário apresentar a viabilidade técnica, ambiental e econômica dos sistemas eficientes (EPBD, 2018). Nos edifícios sujeitos a grandes renovações, incentiva-se a introdução de sistemas alternativos altamente eficientes e que produzam condições climáticas saudáveis e seguras aos usuários (EPBD, 2018).

Uma vez que não existe o usuário perfeito, a Diretiva 2018/844/UE tornou obrigatório para todas as edificações o uso de equipamentos com dispositivos autorreguladores dos sistemas técnicos instalados (iluminação, aquecimento, arrefecimento, etc). Essas novas tecnologias inteligentes precisam ter um quadro geral comum para a sua classificação, levando em consideração: a sua adaptabilidade às necessidades dos ocupantes e à rede; a melhoria na poupança de energia; e a flexibilidade e capacidade de integração com outros sistemas

(EPBD, 2018). Com isso, pretendeu-se diminuir o consumo de energia e as perdas e os ganhos térmicos provocadas pelo usuário. Dessa forma, é provável alcançar a taxa global de melhoria na eficiência energética necessária até 2030, recomendada pelo Centro de Informações das Nações Unidas (UNIC Rio) (2015).

2.2.2. *EnerPHit Standard*

Batista, Rovere e Aguiar (2011) afirmam que a etiquetagem é um método para comprovar e classificar a eficiência energética dos edifícios, através de implementação de critérios mínimos e categorias de consumo energético. Uma das maneiras de alcançar esse alto desempenho nos edifícios é utilizar o conceito de indicadores da *Passive House Standard*.

O conceito *Passive House* foi desenvolvido na Alemanha, por Bo Adamson e Wolfgang Feist para delimitar um padrão de construção com baixo consumo de energia. Isso foi possível devido à utilização de estratégias passivas que diminuem a exigência de energia para trazer o conforto térmico na edificação. Uma vez que esse conceito construtivo levou em consideração as condições climáticas locais e a rentabilidade da região para restabelecer requisitos mínimos de desempenho energético (GRANGEIA, 2014), pode ser aplicado a qualquer linguagem arquitetônica.

Segundo o Instituto Passive House (PHI) (2020), os cinco princípios para conseguir a certificação *Passive House* são: envoltória com grande isolamento térmico; poucas pontes térmicas; esquadrias supereficientes; estanqueidade; e sistema de Ventilação Mecânica com Recuperação de Calor, também conhecido como *Mechanical Ventilation with Heat Recovery* (MVHR). A Figura 8 esquematiza esses princípios, os quais servem para manter a inércia térmica da edificação, impedindo as trocas térmicas entre os ambientes internos e o externo.

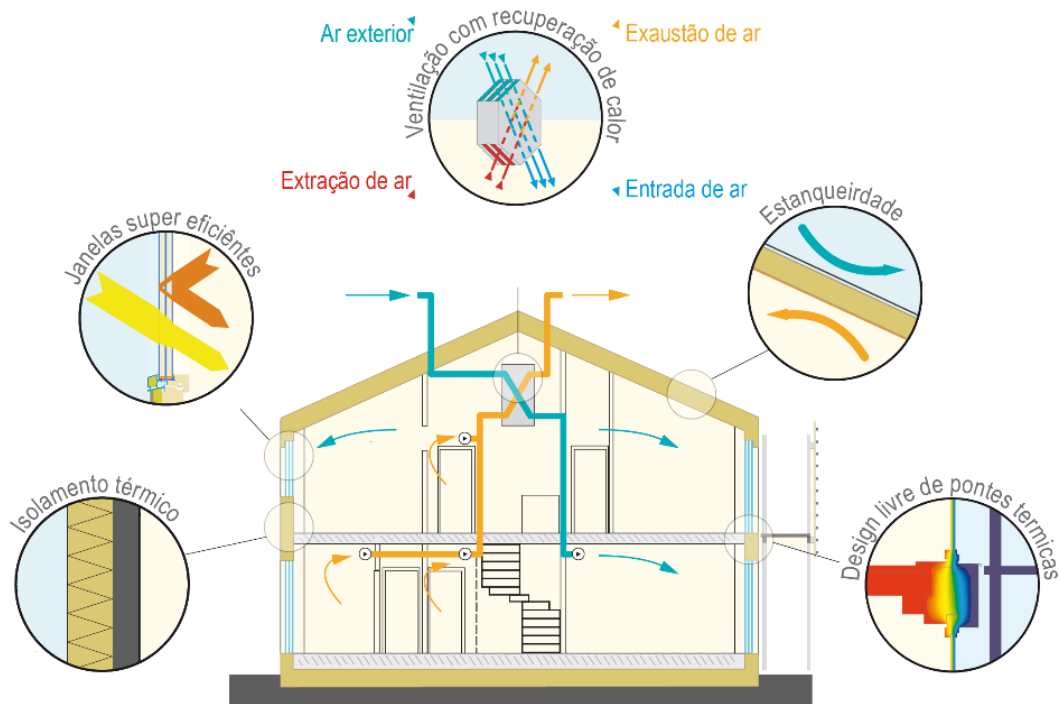


Figura 8 - Esquema dos cinco princípios da *Passive House*
 Fonte: Modificado da PHI (2020)

O PHI (2018b) disponibiliza os critérios mínimos para atingir a *Passive House*. Dentre os critérios estão: consumo máximo de energia para aquecimento de 15 kWh/(m².ano), assumindo a temperatura interna de conforto de 20°C; consumo máximo de energia primária de 120 kWh/(m².ano); taxa de renovação de ar deve ser igual ou inferior a 0,6h⁻¹, ou seja, 0,6 renovações do ar dos ambientes por hora; sobreaquecimento não pode exceder 10% das horas do ano, com uma temperatura superior a 25°C; e minimização das pontes térmicas.

O MVHR é essencial para atingir as renovações de ar exigidas pela certificação, sem comprometer a temperatura interna do ambiente. Isso ocorre porque o MVHR reaproveita o calor contido no ar exaurido do edifício para aquecer ou esfriar o ar externo, que é insuflado para o ambiente. Segundo Pacheco (2013), no MVHR, os fluxos de ar que entram e saem do edifício se cruzam em câmaras separadas, feitas com materiais de alta transmitância térmica, o que facilita as trocas de calor. A Figura 9 exemplifica esse processo. Isso reduz a perda e ganho de calor interno do edifício e, consequentemente, diminui a quantidade de energia elétrica usada nos sistemas de climatização artificial para manter a temperatura interna em conforto.

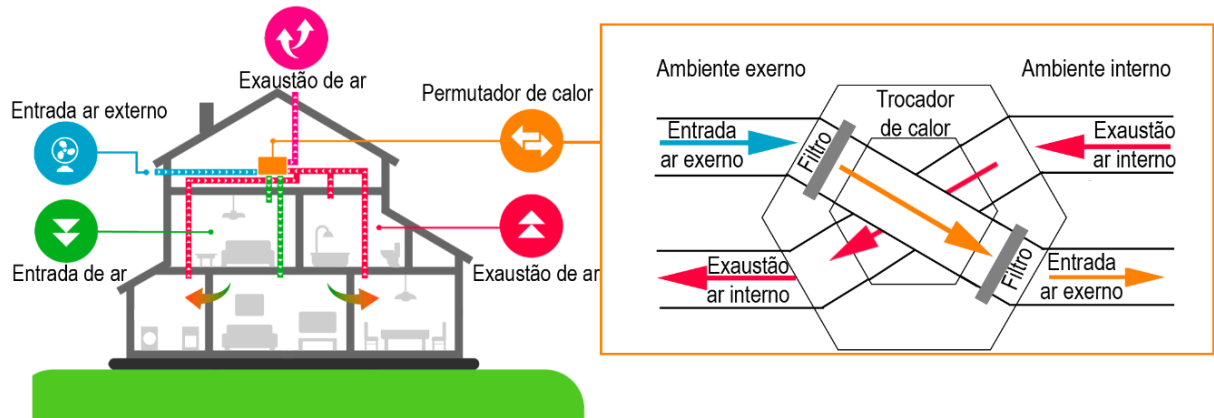


Figura 9 - Esquema do funcionamento do MVHR
Fonte: Modificado de Central ventilations ltd (2020)

Todavia, atingir o padrão *Passive House* em edificações existentes pode ser um desafio. Algumas características da edificação preexistente podem limitar as possibilidades de modificações, o que dificulta alcançar os indicadores de desempenho. Dentre essas características estão: volumetria; disposição e tamanho das aberturas; limitação das áreas internas para instalação de sistemas; perdas de superfícies úteis causadas pela aplicação de isolamento; altos custos iniciais de investimento para as ações de renovação energética; e legislações de preservação do patrimônio histórico, caso a edificação seja tombada ou inventariada.

Com o propósito de promover um padrão elevado de isolamento térmico nas construções existentes - eficiência energética melhor em comparação com os requisitos legais e um bom nível de eficiência econômica -, o PHI criou, em 2010, a *EnerPHit Standard*. Essa certificação oferece diretrizes para um nível elevado de isolamento térmico e critérios mais flexíveis destinados à modernização de edifícios existentes, baseando seus critérios na *Passive House*. Dentre esses critérios destacam-se a demanda anual de aquecimento, a qual não pode ultrapassar 25 kWh/(m².ano), e a renovação de ar, a qual pode chegar até 1,0 da renovação de ar por hora no ambiente (PHI, 2013). Demais critérios permanecem os mesmos do padrão *Passive House*, assim como mostra a Tabela 1.

Critérios	<i>Passive House</i>	<i>EnerPHit Standard</i>
Consumo anual de energia primária	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2$
Demanda anual de aquecimento	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2$
Sobreaquecimento	$\leq 10\%$	$\leq 10\%$
Renovação de ar por hora	$0,6 \text{ h}^{-1}$	$1,0 \text{ h}^{-1}$

Tabela 1- Comparativo entre os critérios *Passive House* e *EnerPHit Standard*
Fonte: Modificação com base PHI (2016a)

A *EnerPHit Standard* é uma normativa de *retrofit* extremamente detalhada quanto ao processo de modificação e certificação. Essa normativa apresenta várias etapas e procedimentos que devem ser seguidos para que seja possível a edificação conseguir a certificação. Antes de começar qualquer intervenção, a *EnerPHit Standard* (PHI, 2016b) exige um estudo sobre o estado da preexistência e documentos que indiquem a ordem cronológica em que as modificações devem ser realizadas. Essa cronologia permite identificar qual estratégia temporal melhor se aplicada no *retrofit*. Uma estratégia temporal enfatiza o *retrofit* acelerado, no qual as intervenções são realizadas num período curto de tempo e progressivamente. Nos casos em que a edificação possui elementos construtivos dentro da sua vida útil, sendo mais viável esperar a necessidade da troca do componente por outro mais eficiente, recomenda-se a estratégia temporal, direcionando o *retrofit* a longo prazo. Com essa estratégia, estipula-se no cronograma o tempo em que o elemento construído precisará do *retrofit*, realizando as manutenções e renovações aos poucos, ao longo dos anos, até a edificação possuir todos dos componentes dentro do padrão *EnerPHit*, assim como mostra a Figura 10.

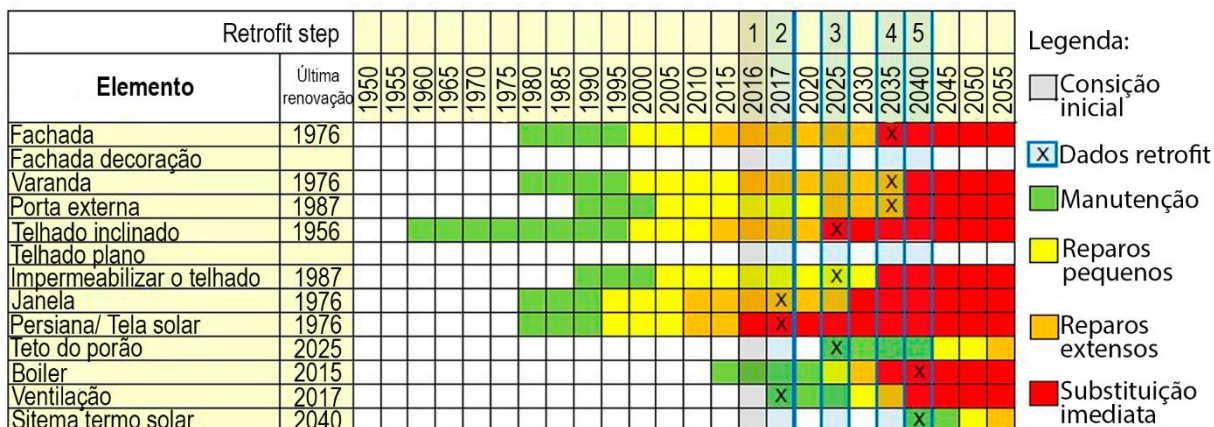


Figura 10 - Agenda modelo de otimização *EnerPHit*
 Fonte: Traduzido de PHI (2016b)

Uma vez que a *EnerPHit* oportuniza o *retrofit* parcelado, são criadas certificações parciais e temporárias para cada etapa do processo e conjunto de elementos modificados, conforme mostra a Figura 11. A primeira etapa volta-se para a colocação de esquadrias mais eficientes. A segunda e terceira etapas focam-se na melhoria da inércia térmica das paredes e coberturas, respectivamente. Após essas três etapas, é feita a análise econômica da eficiência energética final da edificação para a certificação. Esse método de parcelamento do *retrofit* e

certificações parciais incentiva o investimento na modernização dos edifícios existentes. O proprietário passa a dispor de meios legais para comprovar que sua edificação está em processo de efficientização energética, recebendo os benefícios fiscais, e não precisa arcar com os altos gastos dos investimentos num período curto de tempo.

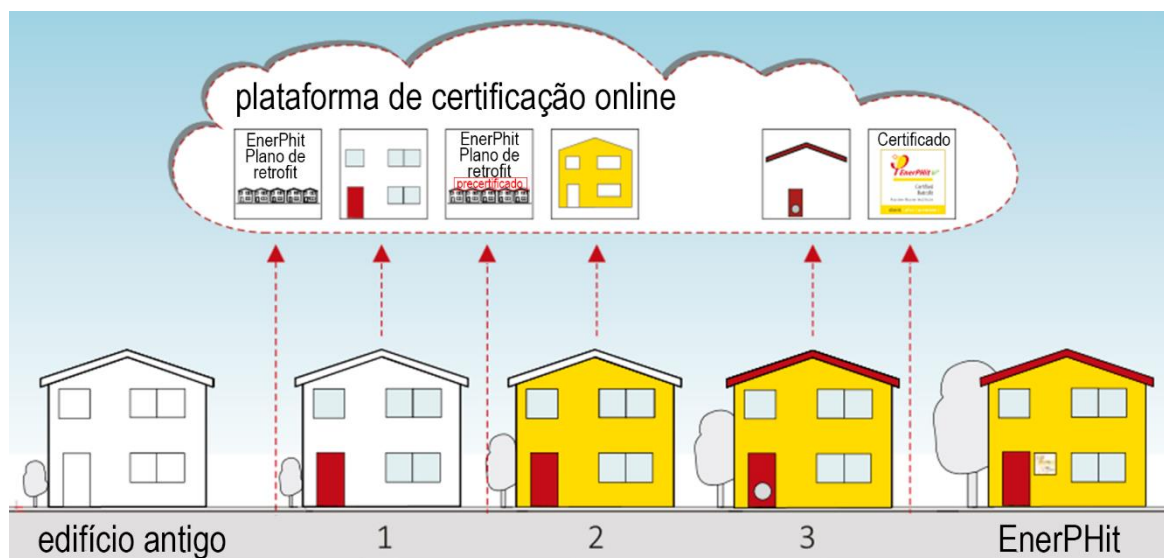


Figura 11- Etapas de certificação *EnerPHit*
Fonte: Traduzido da PHI (2020)

Para auxiliar no *retrofit*, o PHI (2016b) elaborou um manual exemplificando ações a serem realizadas na envoltória da edificação. Esse manual demonstra as ações necessárias para posicionar a camada hermética e a camada isolante, conforme o elemento construtivo.

A *EnerPHit Standard*, assim como a *Passive House*, leva em consideração as condições climáticas, flexibilizando os seus critérios de acordo com o clima e região em que a edificação se encontra. O PHI (2016b) estabeleceu um zoneamento mundial do clima com sete zonas climáticas de acordo com o *Passive House Planning Package* (PHPP), indo do clima mais frio ao mais quente. A Figura 12 representa a delimitação dessas zonas climáticas, sendo elas: ártico; frio; frio temperado; normal temperado; normal; quente e muito quente.

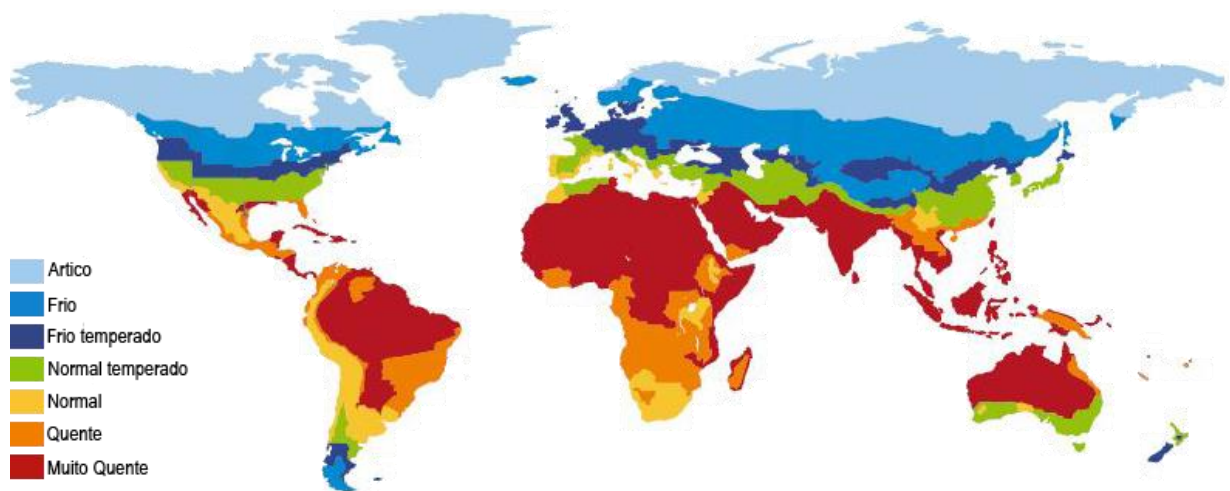


Figura 12 - Zonas climáticas mundiais
 Fonte: PHI (2016)

A *EnerPHit Standard* estabeleceu para cada zona climática recomendações para o envelope opaco, os tipos de janelas e ventilação, conforme mostra a Tabela 2. Além disso, conforme indica a Tabela 3, a energia máxima de aquecimento e resfriamento também varia conforme a zona climática em que a edificação se encontra.

Zona climática de acordo com o PTHPP	Envelope opaco do edifício para...				Janelas (incluindo de portas)					Ventilação		
	...chão	...ar exterior			Total			Vidro	Carga solar	Min. eficiência recuperad or de calor	Min. eficiência recuperador de umidade	
	Isolante térmico	Isolante externo	Isolante interno	Pintura externa	Máx. transmitância térmica			Transmitância de energia solar	Máx. transmitância de energia solar durante o período de frio			
	Máx. transmitância térmica (U)			Cores frias								
	[W/(m²K)]			-	[W/(m²K)]			-	[kWh/m²a]			%
												
Artico	Cálculo em PHP usando graus específicos de dias de aquecimento e resfriamento para o solo	0.09	0.25	-	0.45	0.50	0.60	$U_g - g \cdot 0.7 \geq 0$	100	80%		
Frio		0.12	0.12	-	0.65	0.70	0.80	$U_g - g \cdot 1.0 \geq 0$		80%		
Frio temperado		0.15	0.35	-	0.85	1.00	1.10	$U_g - g \cdot 1.6 \geq 0$		75%		
Normal temperado		0.30	0.50	-	1.05	1.10	1.20	$U_g - g \cdot 2.8 \geq 1$		75%		
Normal		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-		
Quente		0.50	0.75	-	1.25	1.30	1.40	-		-	60% (clima úmido)	
Muito quente		0.25	0.45	-	1.05	1.10	1.20	-		-	60% (clima úmido)	

Tabela 2 - Critérios mínimos da envoltória por zona climática
 Fonte: PHI (2016b)

Zona climática segundo PHPP	Aquecimento	Resfriamento	Mín. fator temperatura
	Máxima demanda de aquecimento	Máxima demanda de resfriamento e desumidificação	Rio $f_{Rsi} = 0,25m^2K/W$
	[kWh/(m²ano)]	[kWh/(m²a)]	$\square$
Ártico	35	Correspondente ao requisito passivo house	0,80
Frio	30		0,75
Frio temperado	25		0,70
Normal temperado	20		0,65
Normal	15		0,55
Quente	-		-
Muito quente	-		-

Tabela 3 - Demanda de energia para aquecimento e resfriamento por zona climática

Fonte: PHI (2016b)

Segundo o PHI (2016b), o Brasil é dividido em duas zonas térmicas: quente e muito quente. Nesses climas, não há necessidade de utilizar o recuperador de calor ou esse mecanismo trabalha de modo inverso, contribuindo para a recuperação de frio na edificação. A demanda de energia primária nesses climas não pode ultrapassar 120 kWh/(m².ano), 1 renovação de ar por hora e 10% de suas horas em desconforto. Em zonas mais secas, avalia-se a necessidade de um recuperador de calor entálpico com eficiência de 60%.

Na zona climática muito quente, a qual abrange a região norte e parte da região nordeste e centro-oeste, as temperaturas muito elevadas estão presentes durante boa parte das horas do ano. Por isso, recomenda-se estratégias que impeçam o calor de adentrar na edificação. Dentre essas estratégias, recomenda-se que a máxima transmitância térmica nas paredes externas seja 0,25 W/(m²K), e nas paredes internas seja 0,45 W/(m²K), enquanto a dos vidros verticais seja 1,05 W/(m²K).

Na zona climática quente, a qual abrange a região sul e sudeste e parte da região nordeste e centro-oeste, as temperaturas elevadas estão presentes durante boa parte das horas do ano. Dentre recomendações para deixar as temperaturas internas na zona de conforto estão: máxima transmitância térmica nas paredes externas seja 0,50 W/(m²K); máxima transmitância térmica das paredes internas seja 0,75 W/(m²K); e máxima transmitância térmica dos vidros verticais seja 1,25 W/(m²K).

Dependendo da análise feita, zonas brasileiras mais próximas do Uruguai podem ter a sua classificação de zona climática considerada como normal por apresentar o clima mais parecido com o Uruguai do que com a região central do Brasil. Nesse caso, a demanda de aquecimento das edificações encontradas nessa

zona não pode ser superior a 15 kWh/m².ano e recomenda-se que as máximas transmitâncias térmicas de paredes externas, internas e vidros verticais sejam, respectivamente, 0,50 W/(m²K), 0,75 W/(m²K) e 1,25 W/(m²K).

Em relação a promover a diminuição da demanda de energia das redes elétricas e criar um parque imobiliário descarbonizado, a *EnerPHit* classifica as edificações nos níveis *classic*, *plus* e *premium*. As edificações que alcançarem os critérios mínimos da *EnerPHit* recebem a certificação *EnerPHit classic*. Para alcançar a certificação *EnerPHit plus* e *EnerPHit premium*, as edificações devem, respectivamente, produzir mais de 60 kWh_{PER}/(m²_{ground}·a) e 120 kWh_{PER}/(m²_{ground}·a) energia renovável (PHI, 2018a), através de placas solares ou turbinas eólicas.

2.2.3. INI-C – Instrução Normativa Decreto nº 248

A crise do apagão em 2001 mudou o cenário político energético brasileiro. Para evitar outra crise nessa escala, os governantes criaram legislações com o propósito de incentivar a conservação de energia. Um método para comprovar e classificar a eficiência energética é a aplicação de etiquetas de desempenho energético nas edificações (BATISTA; ROVERE; AGUIAR, 2011).

Segundo Fernandes e Labaki (2012), o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (RTQ-C) tem como função incentivar as práticas de eficiência energética e avaliar o desempenho energético das edificações não residenciais. Esse regulamento classifica a eficiência das edificações entre os níveis “A” e “E”, sendo o nível “A” o mais alto em eficiência energética, e o nível “E” o mais baixo nível em eficiência. Com isso é possível averiguar e compreender a eficiência energética de uma edificação não residencial.

Com objetivo de demonstrar para a população a aplicabilidade do RTQ-C e disseminar a etiquetagem para todos os setores, o MPOG (2014) determinou, por intermédio da IN nº2, que as edificações públicas federais novas, ou com área superior a 500m² e que passem por *retrofit*, alcancem nível de eficiência energética “A”. Depois da IN nº2, os números de edificações públicas com etiqueta de eficiência energética vêm aumentando.

Todos os mecanismos normativos precisam ser atualizados com o passar do tempo, visando a sua adequação às necessidades atuais da população. Com o RTQ-C isso não foi diferente. Em 2018 foi criada a INI-C caracterizada pela Portaria nº 248, com o objetivo aperfeiçoar o RTQ-C. Assim como o RTQ-C, a INI-C apresenta o método simplificado e/ou de simulação para determinar o consumo energético dos diversos sistemas da edificação, podendo classificar parcialmente os sistemas (envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água) entre os níveis “A” e “E” de desempenho energético.

O método simplificado abrange várias das soluções arquitetônicas mais propagadas e simples. Para que uma edificação possa ser avaliada por esse método, ela tem que respeitar os limites de aplicação estabelecidos na Tabela 4. Caso a edificação apresente sistemas e formas mais complexas, possua ambientes de elevada produção de carga interna ou solução fora dos padrões, aconselha-se aplicar o método de simulação.

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absorvância solar da cobertura (α)	0,2	0,8
Absorvância solar da parede (α)	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade Térmica da cobertura (CT_{COB})	0,22 kJ/m²K	450 kJ/m²K
Capacidade Térmica da parede (CT_{PAR})	0,22 kJ/m²K	450kJ/m²K
Contato com o solo	Sem contato	Em contato
Densidade de Potência de equipamento (DPE)	4 W/m²	40 W/m²
Densidade de Potência de iluminação (DPI)	4 W/m²	40 W/m²
Fator Solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Pé-Direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Porcentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (U_{COB})	0,51 W/m²K	5,07 W/m²K
Transmitância térmica da parede externa (U_{PAR})	0,50 W/m²K	4,40 W/m²K
Transmitância térmica do vidro (U_{VID})	1,90 W/m²	5,70 W/m²

Tabela 4 - Limites dos parâmetros da edificação atendidos pelo método simplificado

Fonte: INMETRO (2018)

A INI-C avalia a eficiência da edificação através do consumo estimado de energia primária resultante da soma das energias térmicas e elétrica, e pelo potencial de geração local de energia proveniente de fontes renováveis. Para isso, deve-se criar uma condição de referência para o consumo de energia primária (CEP_R) e compará-la com o consumo de energia primária da edificação avaliada

(CEP) (INMETRO, 2018). A comparação define o percentual de economia de energia primária da edificação real, representado pelo valor X%, perante a condição referenciada, de acordo com a escala demonstrada na Figura 13.

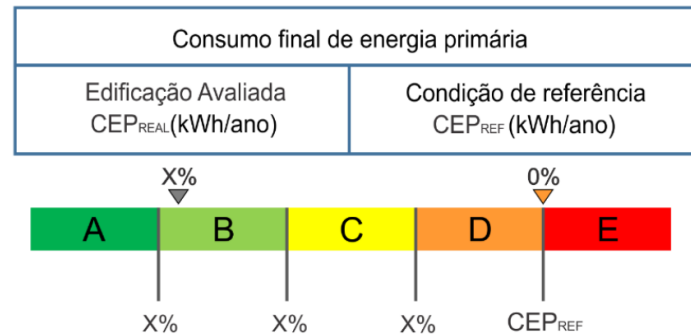


Figura 13 - Escala para a determinação de classe de eficiência da edificação avaliada
Fonte: INMETRO (2018)

Pelo método prescritivo, o consumo de energia primária da condição real (CEP_{REAL}) e condição referência (CEP_{REF}) é determinado pela soma do consumo primário de energia elétrica e térmica, conforme Equação 1.

$$\text{CEP}_{\text{REAL OU REF}} = (\text{CTE}_E \cdot \text{fcE}) + (\text{CTE}_T \cdot \text{fcT}) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

CEP: consumo de energia primária da edificação avaliada (kWh/ano);

CTE_E: consumo total de energia elétrica da edificação avaliada (kWh/ano);

CTE_T: consumo total de energia térmica da edificação avaliada (kWh/ano);

fcE: fator de conversão da energia elétrica da edificação em energia primária;

fcT: fator de conversão da energia térmica da edificação em energia primária.

O método da simulação apresenta como dado de saída o valor do consumo final de energia, sendo necessário aplicar o fator de conversão de energia elétrica para energia primária. A Tabela 5 identifica os valores do fator de conversão conforme a fonte de energia.

Fonte de energia	Fator de conversão	
Energia elétrica	fcE	1,6
Energia térmica – Gás Natural (GN)	fcT	1,1
Energia térmica – Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	fcT	1,1

Tabela 5 - Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária

Fonte: INMETRO (2018)

2.2.3.1. Método de simulação da INI-C

As edificações complexas que não atendem aos limites estabelecidos pela Tabela 4 (item 2.2.3.) devem ter seu desempenho energético analisado pelo método de simulação. Nesse método, a edificação é avaliada comparando as características reais da edificação e as características de um modelo referencial. Ou seja, é necessário elaborar um modelo representando a edificação real e um modelo representando a edificação com o nível “D” no consumo de energia primária.

Por intermédio das simulações, obtém-se o consumo final de energia elétrica total da edificação e de seus sistemas individuais. Segundo a INI-C, o programa computacional para a simulação termoenergética da edificação deve possuir algumas características, como: analisar o consumo de energia no edifício; ser avaliado pela ASHRAE *Standard* 140; modelar 8760 horas por ano, com variações de horários de ocupação, potência de iluminação, potência de equipamentos, sistemas de condicionamento de ar e ventilação natural; e produzir horários do uso final de energia (INMETRO, 2018).

Em alguns casos, o modelo real é configurado conforme o projeto dos sistemas. Em outros, são estabelecidos valores padrões em algum campo, sendo mais comum no campo da Densidade de Potência de Equipamentos (DPE) e da ocupação. Para estabelecer como essa configuração será realizada, a INI-C define oito grupos de tipologias de edificação comerciais, os quais agrupam edificações com funções semelhantes (INMETRO, 2018). O grupo um representa os escritórios. O grupo dois são as edificações educacionais de ensino médio, fundamental e superior. O grupo três são as edificações de hospedagem, pequenas, médias e grandes. O grupo quatro representa edificações hospitalares, como clínicas e hospitais. O grupo cinco representa as edificações de varejo, como lojas, lojas de departamento e *shopping centers*. O grupo seis representa os mercados. O grupo sete representa as edificações de alimentação, como restaurantes e praças de alimentação. O grupo oito representa as edificações cuja tipologia avaliada não se enquadra nas descrições dos sete grupos tipológicos mencionados acima.

Uma das dificuldades do método de simulação é a configuração do sistema de climatização. Muitas vezes, não existe um projeto detalhado do sistema de condicionamento de ar e a sua estrutura é definida no canteiro de obra. Nesses casos, o tipo do sistema de condicionamento deve ser configurado levando em consideração a área condicionada na edificação, conforme mostra da Tabela 6.

Área condicionada na edificação	Tipo do Sistema
Área < 11.000 m ²	Expansão direta, <i>split</i> , condensação à ar
Área ≥ 11.000 m ²	Água gelada com caixas VAV, condensação à água

Tabela 6 - Tipo de sistema de condicionamento de ar

Fonte: INMETRO (2018)

Após a escolha do sistema de condicionamento de ar, configuram-se as suas características gerais, conforme a Tabela 7. Segundo a INI-C, esse sistema não pode ter mais de 10% das horas não atendidas, sua capacidade não deve ultrapassar 15% para resfriamento e 25% para aquecimento, apresentar nível “A” de eficiência energética (INMETRO, 2018), e adotar taxa de renovação de ar de 1,0, conforme NBR 16401-3 (ABNT, 2008).

Características	Descrição
Capacidade do sistema	Dimensionar o sistema do modelo virtual para que no máximo 10% das horas não sejam atendidas
Temperatura de insuflamento	Considerar temperatura de insuflamento com 11°C de diferença para a temperatura de controle do ar (<i>setpoint</i>) da zona térmica
Vazão de ar externo	Adotar as taxas de renovação de ar indicadas na NBR 16401-3 conforme o tipo de atividade de cada zona térmica. Considerar o ar externo admitindo diretamente nas casas de máquinas do sistema de insuflamento, ou seja, desconsiderar potência elétrica para ventilação de ar externo e exaustão de ar interno.
Eficiência do sistema	Adotar a classe de eficiência A para todos os equipamentos do sistema.
Capacidade do sistema	A capacidade do sistema deve ser superdimensionada no máximo. Adotar 15% para resfriamento e 25% para aquecimento.

Tabela 7 - Características gerais do sistema a ser modelado

Fonte: INMETRO (2018)

A INI-C estabelece as características específicas dos sistemas de condicionamento de ar com definições de pressão estática total, a eficiência do sistema, *setpoint* e potência total para cada sistema de condicionamento de ar. A Tabela 8 resume as características específicas do sistema de condicionamento de ar *Split*, sistema adotado neste trabalho. No Anexo A se encontra a descrição de todos os sistemas específicos de condicionamento de ar.

Sistema de condicionamento de ar	Características	Descrição
Expansão direta, <i>split</i> , condensação a ar	Quantidade de sistemas de condicionamento de ar	Definir um sistema para cada zona térmica
	Potência de ventilação	Modelar a potência de ventilação independente do COP. Considerar ventiladores com pressão estática total de 250Pa e eficiência de 65%. Manter a vazão de ar constante

Tabela 8 - Características específicas do sistema de condicionamento de expansão direta, split e condensação a ar

Fonte: Adaptado do INMETRO (2018)

Em edificação que não existe o sistema de climatização de ar é necessário analisar a influência da ventilação natural no nível de conforto térmico dos ambientes. Essa análise é realizada por meio de simulação computacional, na qual se comprova o Percentual de Horas Ocupadas em Conforto Térmico ($PHOC_T$) em relação às horas de ocupação. Caso a edificação apresente $PHOC_T$ inferior a 90% no seu horário de uso, é obrigatório calcular o consumo de energia da edificação para as horas não atendidas de conforto (INMETRO, 2018). Nesses casos, implementa-se o sistema de climatização híbrida para que a ventilação mecânica seja ativada quando a ventilação natural não atingir os padrões estabelecidos. A configuração da parte mecânica desse sistema tem como base as Tabelas 6, 7 e 8 descritas anteriormente, igual às edificações que não possuem projeto de climatização de ar.

Ao analisar o desempenho energético da edificação é preciso que o modelo real e referência possuam tanto características semelhantes quanto diferentes. Dentre as características semelhantes, necessárias para a criação de um padrão para análise, estão a geometria, orientação solar, contato com o solo, padrão de uso de pessoas e *setpoint* para resfriamento e aquecimento. Já as características diferentes são feitas com base na tipologia da edificação. As únicas características presentes em todas as edificações de referência, independentemente da sua tipologia, são a transmitância térmica e capacidade térmica das paredes externas e cobertura. Segundo a INI-C, as transmitâncias térmicas das coberturas e paredes são respectivamente 2,39 W/m²K e 2,06 W/m²K (INMETRO, 2018). Já a capacidade térmica das paredes externas deve ser de 150 kJ/m²K enquanto a de cobertura é 233 kJ/m²K. A Tabela 9 representa as propriedades térmicas dos materiais de cada elemento construtivo e quais os valores que devem ser configurados durante a simulação.

	e (cm)	Λ (W/mK)	p (kg/m³)	c (kJ/kgK)	R_T (m²K/W)	U_T (W/m²K)	C_T (kJ/m²K)
Parede externa							
Argamassa externa	2,50	1,15	2000	1,00	0,022	2,39	150
Bloco cerâmico	1,34	0,90	1600	0,92	0,015		
Câmara de ar	6,32	0,364	-	-	0,175		
Bloco cerâmico	1,34	0,90	1600	0,92	0,015		
Argamassa interna	2,50	1,15	2000	1,00	0,022		
Cobertura							
Telha de fibrocimento	0,80	0,95	1900	0,84	0,0084	2,06	233
Câmara de ar (>5cm)	25,0	1,19	-	-	0,210		
Laje de concreto (10cm)	10,0	1,75	2200	1,00	0,0571		

Legenda:

e: espessura (cm)

Λ : condutividade térmica (W/mK)

P: peso específico aparente (kg/m³)

c: calor específico (kJ/kgK)

R_T : resistência térmica dos materiais (m²K/W)

U_T : transmitância térmica dos materiais (W/m²K)

C_T : capacidade térmica total (kJ/m²K)

Tabela 9 - Características termoenergéticas dos elementos construtivos

Fonte: Adaptado do Inmetro (2018)

O processo para classificar a eficiência da edificação, segundo o método de simulação da INI-C, é dividido em 6 passos. No primeiro passo, determina-se em qual tipologia a edificação se enquadra, visando configurar e simular os modelos real e referência. O segundo passo determina a energia primária consumida pelo modelo de referência. Para isso, ou utiliza-se a Equação 1, mencionada anteriormente no item 2.2.3, ou multiplica-se o resultado total do consumo de energia obtido na simulação pelo fator de conversão de energia elétrica em primária (Tabela 5, item 2.2.3.). No terceiro passo, determina-se o fator forma da edificação, que é a razão entre a área do envelope e o volume total da edificação. No quarto passo, determina-se o coeficiente de redução segundo o fator de forma. Esse coeficiente depende tanto do grupo climático (GCL) quanto do seu fator forma e da tipologia em que a edificação se encontra. Isso ocorre porque cada tipologia apresenta sua tabela de coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe “D” para classe “A”. No quinto passo, identifica-se o intervalo entre as classes de eficiência energética através da Equação 2.

$$i = \frac{(CEP_{REF} \times CRCEP_{D-A})}{3} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

i: coeficiente que representa os intervalos entre as classes;

CEP_{REF} : consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano);

$CRCEP_{D-A}$: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para classe A.

No sexto passo, preenche-se a Tabela 10, referente ao intervalo de cada uma das classes de eficiência energética. Com isso, é possível analisar e comparar o nível de desempenho energético do edifício real, tendo como base o consumo de energia primária do modelo de referência. Nos casos de edificações que precisem passar pelo *retrofit*, o método de simulação da INI-C pode ser utilizado para analisar as diferentes propostas de modificações, podendo ponderar pela proposta com maior custo benefício.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$>CEP_{REF} - 3i$	$>CEP_{REF} - 2i$	$>CEP_{REF} - i$	$>CEP_{REF}$
Limite inferior	$\leq CEP_{REF} - 3i$	$\leq CEP_{REF} - 2i$	$\leq CEP_{REF} - i$	$\leq CEP_{REF}$	-

Tabela 10 - Intervalo relativo a cada uma das classes de eficiência energética
Fonte: INMETRO (2018)

2.3. Estudos sobre *retrofit*

2.3.1. Parâmetros gerais

Nos últimos anos, alguns estudos sobre *retrofit* energético e melhoramento na eficiência energética em edificações antigas foram desenvolvidos. Melhorar o conforto térmico através de mecanismos passivos e ativos é considerada uma prática de conservação para os edifícios históricos. Além da eficiência energética, também melhora a utilização do edifício, diminuindo o consumo de energia e proporcionando ambientes que atendam às necessidades atuais do usuário.

Todavia, é um desafio aplicar as técnicas de melhoria de desempenho energético em edifícios históricos. Legislações sobre preservação do patrimônio histórico limitam as possibilidades de modificações que diminuem o consumo de energia e melhoram o conforto térmico.

Segundo Martinez-Molina *et al.* (2016), os primeiros estudos sobre a melhoria no desempenho energético em edificações antigas surgiram entre os anos 70 e 80, relacionados com a necessidade de diminuir gastos de energia causada pelas crises

econômicas. Atualmente, os estudos se voltam para a conservação do meio ambiente através da diminuição do uso de energia, proveniente de fontes não renováveis e poluentes, e reciclagem das edificações existentes. Num período de dez anos foi possível perceber padrões de pesquisas relacionadas ao *retrofit* energético com diferentes abordagens. A Tabela 11 mostra a relação entre alguns autores e os quatro tópicos mais abordados nas pesquisas, sendo eles: cenário mundial de *retrofit* energético; melhoria no desempenho energético em edificações antigas; integração entre o *retrofit* energético e a preservação do patrimônio histórico; e metodologia de diagnóstico e classificação de *retrofit* energético em edificações antigas.

Foco	Abordagem	Autores	Quantidades
1	Cenário mundial	Grytli <i>et al.</i> (2014); Martinez-Molina <i>et al.</i> (2016); Mazzarella (2014)	3
2	Melhoria no desempenho energético em edificação antiga	Arumagi, Mandel e Kalamees (2015); Bellia <i>et al.</i> (2015); Guimarães (2017); Vallati, Grignaffini e Romagna (2016)	4
3	Integração entre o <i>retrofit</i> energético e preservação do patrimônio histórico	Agostino <i>et al.</i> (2017); Alvorcem (2019); Boarin <i>et al.</i> (2014); Caro e Sendra (2020); Crami <i>et al.</i> (2017); Duarte e Morais (2019); Galatioto <i>et al.</i> (2019); Machado (2014); Pisello <i>et al.</i> (2014b)	9
4	Metodologia de diagnóstico e classificação de <i>retrofit</i> energético em edificações antigas	Ascione <i>et al.</i> (2015); Brostrom <i>et al.</i> (2014); González <i>et al.</i> (2017); Kass <i>et al.</i> (2017); Kim (2018); Lucchi, Tabak e Troi (2017); Okutan <i>et al.</i> (2018); Roberti <i>et al.</i> (2015); Roberti <i>et al.</i> (2017); Ruocco, Sicignano e Sessa (2017); Pissello (2014a)	11

Tabela 11 - Categorização dos trabalhos encontrados sobre retrofit energético em edificações históricas

Fonte: Autora

2.3.2. Cenário mundial

A revisão de literatura de Martinez-Molina *et al.* (2016) resume os diferentes métodos e técnicas que são utilizados no mundo para obter o *retrofit* de energia, demonstrando a viabilidade de manter os valores patrimoniais das edificações históricas e obter melhorias em seu conforto térmico. Todavia, Mazzarella (2014) aponta a falta de protocolos específicos que visem equilibrar as melhorias da eficiência e a conservação dos edifícios históricos, sendo necessária a discussão desse tema entre as autoridades competentes.

Um ponto de encontro entre todos os autores mencionados até o momento foi a dificuldade de melhorar a eficiência energética nas construções históricas. Segundo o PHI (2016b), isso ocorre devido a diversos problemas, como as legislações de preservação patrimonial, riscos de formação de mofo e redução da capacidade de transpiração das paredes externas, perda de superfície útil, impossibilidade de ver o acabamento original, complexidade da instalação, e dificuldade de eliminar pontes térmicas. Em uma compreensão mais ampla, durante a otimização do consumo de energia, sem levar em consideração os valores patrimoniais, pode acarretar a perda de características históricas importantes da obra, as quais são consideradas recursos não renováveis (GRYTLI *et al.*, 2014). Isso pode gerar uma perda para a identidade cultural da população do local.

2.3.3. Melhorias no desempenho energético em edificação antiga

As primeiras pesquisas sobre *retrofit* energético visavam à melhoria no desempenho energético em prédios antigos. Como foram pesquisas iniciais sobre esse assunto, normalmente buscavam melhorar o envelope dos edifícios antigos e modificar sistemas. Todavia, muitas vezes, nesse processo de melhoria não eram consideradas as questões de preservação do patrimônio histórico.

Vallati, Grignaffini e Romagna (2016) discutem o comportamento energético de um edifício histórico e as opções para a introdução de técnicas de economia após intervenções de *retrofit* de energia, através de uma simulação dinâmica. Nessa pesquisa, várias técnicas são aplicadas sem levar em consideração os efeitos das modificações na perda da envoltória histórica da edificação.

Arumagi, Mandel e Kalamees (2015) afirmam que aplicar isolamento na fachada do edifício histórico melhora a eficiência energética e não o descaracteriza. Todavia, essa linha de pensamento pode ser criticada por alguns especialistas em preservação do patrimônio histórico, uma vez que a fachada com isolamento externo não mostra o material original da edificação, podendo gerar conflito de autenticidade da obra. Bellia *et al.* (2015) seguem essa lógica ao atualizar um edifício em Nápoles, acrescentando modificações nas plantas baixas da edificação e implementando um sistema fotovoltaico.

As edificações modernistas tombadas também estão sujeitas à criação do falso histórico nas fachadas. Foi o caso de Guimarães (2017), que investigou possíveis medidas de atualização da envoltória tombada com ênfase na eficiência

energética, sendo uma dessas medidas a troca do vidro antigo nas fachadas pelo vidro monolítico e incolor.

2.3.4. Integração entre *retrofit* energético e preservação do patrimônio histórico

A maior adversidade dos estudos citados no item 2.3.3., foi a melhoria do desempenho energético dos edifícios em detrimento das características históricas. Com essa lacuna de conhecimento, alguns estudiosos se focaram na integração entre o *retrofit* energético e a preservação do patrimônio histórico.

Boarin *et al.* (2014) comprovaram as lacunas nas legislações de eficiência energética e a preservação do patrimônio histórico, sendo necessário integrar as atividades de auditorias no edifício durante o processo de avaliação do *retrofit* energético. Pisello *et al.* (2014a) abordaram as restrições impostas pelas legislações de preservação do patrimônio histórico e ressaltaram a importância de aproveitar as características arquitetônicas da edificação para o *retrofit*, como colocação de ladrilhos inovadores com a mesma aparência de ladrilhos históricos, sistema de bomba de calor geotérmica com tanques de armazenamento de água e usina de energia (sistemas fotovoltaicos).

Cirami (2017) e Machado (2014) modernizaram os edifícios seguindo as leis de preservação do patrimônio histórico e testaram as possibilidades de modificações com melhor custo-benefício que mantivessem a integridade do patrimônio histórico. Já Pisello *et al.* (2014b) focou no aumento da eficiência energética da edificação através da melhoria dos sistemas mecânicos discretos. Um exemplo disso foi a introdução de bomba de calor mais eficaz, com o objetivo de evitar o uso de unidades externas (sistemas de ar condicionado) com impacto visual na construção de fachada histórica. Os estudos de Caro e Sendra (2020) demonstraram que utilizar estratégias passivas nem sempre garante as condições de conforto térmico, sendo necessários sistemas mecânicos para suprimir as limitações das estratégias passivas.

Galatioto *et al.* (2019) analisaram a eficácia das medidas italianas de efficientização em diferentes zonas climáticas. Nesse estudo, eles constataram que essas medidas foram insuficientes em todas as zonas devido ao grande tempo de *payback*. Ademais, afirmaram que para reverter esse cenário era necessário aprimorar os métodos de eficiência energética e criar incentivos econômicos para isso.

Agostino *et al.* (2017) avaliaram os requisitos de energia através da modificação dos sistemas elétricos - aquecimento, resfriamento e iluminação-, sem alterar a envoltória histórica. Além de seguir essa linha de modificação nos sistemas elétricos, Alvorcem (2019) também investigou a compatibilidade de implementar o sistema fotovoltaico para aumentar a eficiência energética da edificação, sem modificar a envoltória. Já Duarte e Moraes (2019) investigaram a integração dos sistemas ativos e passivos para melhorar o desempenho energético, sem alterar a fachada da edificação. Ao final da pesquisa foi possível alcançar essa melhoria, combinando o sistema passivo com aquecimento VRF/biomassa, sistemas fotovoltaicos e sistemas solares térmicos.

2.3.5. Metodologia de diagnóstico e classificação de *retrofit* energético em edifício histórico

Apesar dos estudos sobre a integração entre *retrofit* energético e preservação do patrimônio histórico, como as mencionadas no item 2.3.4., ainda não foi possível comprovar, em termos quantitativos e qualitativos, o real impacto dos *retrofits* nas características arquitetônicas da edificação histórica. Isso ocorre pela falta de legislações ou métodos que sirvam como base norteadora para classificar o impacto do *retrofit* na edificação histórica. Devido a essa lacuna, alguns pesquisadores focaram em desenvolver um método para diagnosticar as vantagens e desvantagens das ações de modernização dos edifícios antigos.

Nas análises quantitativas, Roberti *et al.* (2015) utilizaram a opinião de técnicos e especialistas em conservação, atribuindo uma pontuação de conservação a cada intervenção do *retrofit*. Já Kass *et al.* (2017) propuseram um método de avaliação dos edifícios históricos, considerando as condições preliminares em que as estruturas se encontravam e a análise do consumo de energia de aquecimento. Lucchi, Tabak e Troi (2017) avaliaram o *retrofit* através do método “custo-benefício”, em que foram analisados os benefícios econômicos do *retrofit* de energia, levando em consideração a comparação entre consumo de energia e o custo do ciclo de vida da edificação. Gonzàlez *et al.* (2017) utilizaram em qualquer etapa de projeto a Avaliação da Matriz de Maturidade como pré-avaliação para a modernização energética.

Nas análises qualitativas, Roberti *et al.* (2017) ponderaram a opinião de dez especialistas na área de conservação e patrimônio para criar uma hierarquia de

pontuação para a conservação do patrimônio. Já Ascione *et al.* (2015) demonstraram um método mais detalhado, o qual avaliava o desempenho do edifício, a energia consumida por hora, as potenciais economias de energia, os benefícios ambientais e a lucratividade econômica de medidas selecionadas durante o *retrofit*. Okutan *et al.* (2018) apresentaram um método sócio-matemático de avaliação, no qual reuniram as opiniões de membros do público sobre a aceitabilidade de medidas comuns de modernização e o impacto no patrimônio. Ao final, estabeleceram orientações nacionais sobre modernização das edificações históricas. Brostrom *et al.* (2014) categorizaram o estoque de construções históricas, identificando as metas, avaliando as medidas de modernização e otimizando o custo do ciclo de vida das edificações.

Outros estudos focaram em sistemas de computação para análise da compatibilidade. Kim (2018) sugeriu a ferramenta *Building Information Technology* (BIT) para analisar a eficiência e a eficácia do *retrofit* energético num edifício histórico e para atrair investidores. Ruocco, Sicignano e Sessa (2017) utilizaram a plataforma *Building Information Modeling* (BIM) para investigar através do ponto de vista morfológico, tecnológico, estático, energético, as vantagens financeiras do *retrofit*.

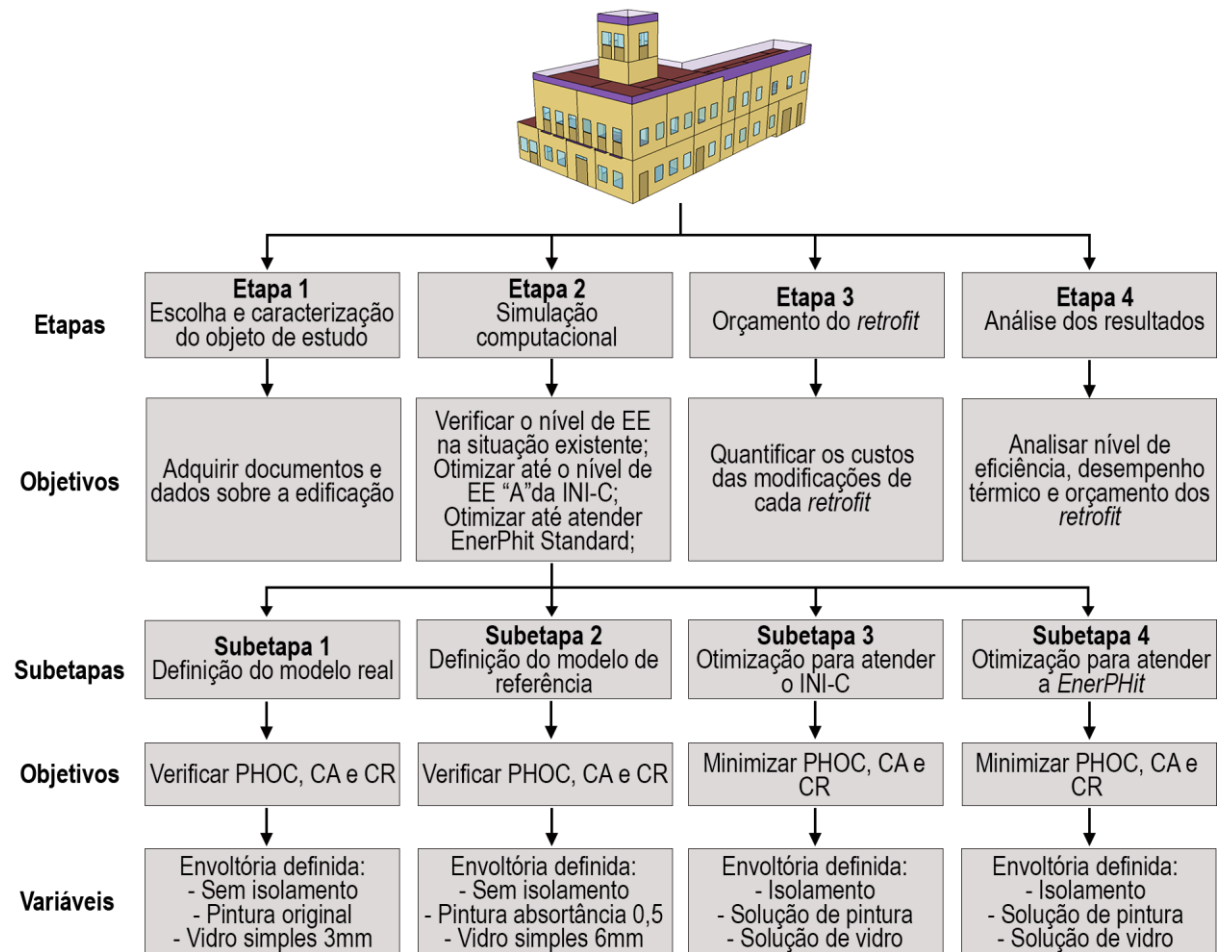
Com essa literatura, notam-se muitas dificuldades e contradições ao tentar diminuir o consumo energético em edifícios históricos. Existem poucas normas e legislações de desempenho energético que buscam a harmonia entre a eficiência energética e a preservação do patrimônio histórico. Dentro das normas existentes, a mais detalhada no processo de certificação e avaliação da edificação do desempenho do *retrofit* é a *EnerPHit Standard*. Isso mostra a carência na construção civil em equilibrar as modificações para o melhoramento da eficiência energética do edifício e a sua máxima preservação. E é nesse nicho do conhecimento que esta dissertação se insere.

3. MÉTODO DE PESQUISA

3.1. Estrutura geral da pesquisa

Essa pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso, utilizando técnicas qualitativas e quantitativas para definição da qualidade do *retrofit* energético em uma edificação pública histórica. Utiliza-se como objeto de estudo um edifício público, com nível 1 de inventariado e que esteja localizado na Zona Bioclimática Brasileira (ZB) 2. A escolha de um objeto com essas características ocorre por três fatores: primeiro, a edificação pública permite que a população tenha acesso ao seu interior; segundo, por ser inventariada no nível 1, as intervenções permitidas são as mais restritas; por fim, como a ZB 2 possui a maior variação de temperatura, inverno e verão intensos, as técnicas para alcançar o conforto térmico são mais complexas. Esses três fatores constituem um cenário muito complexo para o *retrofit* energético, a partir da realização de uma modernização energética na edificação ao mesmo tempo em que as suas características históricas são respeitadas.

Selecionou-se como objeto de estudo o Casarão 2, localizado na Praça Coronel Pedro Osório, em Pelotas. O método de pesquisa foi dividido em 4 grandes etapas, sendo elas a escolha e caracterização do objeto de estudo, a simulação computacional, o orçamento do *retrofit* e a análise dos resultados. A Figura 14 esquematizou o método. A etapa de simulação computacional foi dividida em 4 subetapas, as quais foram detalhadas no item 3.3.



Legenda:
 PHOC: Porcentual de Horas Ocupadas em Conforto CA: Consumo de Aquecimento CR: Consumo de Resfriamento
 EE: Eficiência energética

Figura 14 - Fluxograma das etapas de pesquisa

Fonte: Autora

Na primeira etapa, selecionou-se e caracterizou-se a edificação que representa o objeto de estudo. Nessa etapa, levou-se em consideração os documentos adquiridos sobre a trajetória histórica da edificação e os resultados obtidos em levantamentos *in loco*. Com isso, foi possível averiguar a importância da edificação para a cidade de Pelotas, os seus materiais, as técnicas construtivas empregadas e a funcionalidade e uso dos ambientes.

Na segunda etapa, a edificação foi modelada com auxílio do *plugin Euclid 0.9.3* na interface do *SketchUp 2017*. Essa etapa foi dividida em 4 subetapas. Na primeira subetapa, o modelo foi configurado e simulado conforme as características reais. Na segunda subetapa, configurou-se o modelo de referência, o qual foi usado como base para classificar a eficiência energética do modelo real, conforme os critérios de referência sugeridos pelo INI-C. Na terceira subetapa, otimizou-se o modelo para atender os critérios mínimos do nível "A" de eficiência energética,

segundo a INI-C. Na quarta subetapa, configurou-se e simulou-se o modelo para atender os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*. Inicialmente, foi necessário implementar o MVHR, obrigatório na *EnerPHit*, seguido da otimização do edifício até alcançar os critérios mínimos da *EnerPHit*.

Na terceira etapa, realizou-se o orçamento dos investimentos propostos para as melhorias do desempenho termoenergético de cada *retrofit*.

Na quarta etapa, foi averiguado se o conforto térmico e os gastos energéticos atendiam os critérios mínimos tanto para o nível “A” da INI-C quanto para a *EnerPHit*. Além disso, realizou-se uma análise econômica sobre os orçamentos das melhorias do desempenho termoenergético da edificação perante o tempo de retorno desses investimentos, através do *payback* simples.

3.2. Escolha e análise do objeto de estudo

3.2.1. Critérios para a seleção do objeto de estudo

O Brasil possui oito ZBs com características específicas. A ZB 2 é considerada a zona bioclimática mais complexa. Por essa zona possuir uma amplitude térmica muito grande ao longo do ano, a edificação deve proporcionar o nível de conforto térmico para o usuário nas estações de verão e inverno. Devido a essa complexidade, optou-se por um objeto de estudo que estivesse localizado na ZB2.

Em relação às características físicas do objeto de estudo, as edificações históricas são únicas e apresentam uma vasta variação nas técnicas construtivas e características arquitetônicas. Devido a isso, determinou-se alguns critérios mínimos, determinantes para selecionar uma edificação como objeto de estudo.

Primeiro, a edificação devia seguir os critérios da IN nº 2, ou seja, ser um edifício público com mais de 500m². Além disso, após o *retrofit* a edificação deve apresentar nível de eficiência energética “A”.

Como forma de evidenciar a importância e representatividade da edificação na arquitetura da sua cidade, a edificação devia estar inventariada no Nível 1. Em cidades como Pelotas, esse nível é o mais alto, sendo importante preservar as características arquitetônicas do edifício para o resgate da memória da cidade.

Em seguida, a edificação devia ser de esquina ou solta no lote. Isso garante que o maior número de fachadas esteja em contato com o ambiente externo, contribuindo para as trocas térmicas. Além disso, essa localização diminui a

influência de objetos externos no comportamento da edificação, como construções do entorno que tenham contato direto com o objeto de estudo.

Por fim, a edificação devia ter seu maior eixo voltado para norte e sul, considerada a melhor orientação para ganhos térmicos adequados. Atendendo a todos esses critérios, o Casarão 2 foi selecionado como objeto de estudo.

3.2.2. História do edifício

O Casarão 2, além de ser inventariado no nível 1, também possui tombamento em nível federal. Isso demonstra que sua importância histórica não é somente para Pelotas, mais para o Brasil. Os documentos sobre a sua trajetória foram obtidos na Secretaria Municipal da Cultura (SeCult) e no Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira (NEAB), da Universidade Federal de Pelotas (UFPel). A SeCult disponibilizou a ficha técnica de tombamento do Casarão 2, a qual contém um resumo sobre a trajetória histórica dessa construção, e está presente no Anexo B deste trabalho.

Segundo a Secult (anexo B), o Casarão 2, também conhecido como a residência do Charqueador José Vieira Vianna, foi construído no início do século XIX, em estilo colonial, sem porão e recuos. Para se identificar com os casarões vizinhos, o Casarão 2 construiu seu segundo pavimento e coroamento com uma platibanda vazada em 1880.

O elemento marcante do Casarão 2 é o mirante, o qual servia como observatório para vigiar o movimento do canal São Gonçalo. Hoje em dia, o mirante está interditado por questões de segurança.

Essa edificação passou por vários proprietários e várias funções até ser completamente abandonada. Quase foi destruída quando uma empresa tentou comprá-la para construir um edifício residencial no local. Devido a isso, foi realizado um grande movimento na cidade para a preservação do monumento, sendo possível seu tombamento em 1977 pela Secretaria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (SPHAN). Várias obras de restauração foram realizadas no Casarão 2, mas quase nenhuma concluída devido à falta de verbas. Anos depois, com o programa Monumenta, responsável por criar uma prática de gestão sustentável do patrimônio histórico, e o Programa de Recuperação do Centro Histórico de Pelotas, o Casarão 2 passou por uma restauração completa, sendo entregue e aberto à visita em 2005. Hoje, o edifício abriga no primeiro pavimento

o Museu Adail Bento Costa, com salas de exibição artísticas, e no segundo pavimento a SeCult. A Figura 15 mostra o estado atual dessa edificação, com algumas patologias na fachada (descascamento da tinta) e alguns vidros quebrados.



Figura 15 - Estado atual do Casarão 2
Fonte: Autora (2019)

3.2.3. Caracterização do objeto de estudo

O Casarão 2 localiza-se na esquina da Praça Coronel Pedro Osório, encontro com a Rua Felix da Cunha e Rua Lobo da Costa, em Pelotas, assim como mostra a Figura 16.



Figura 16 - Mapa de localização do Casarão 2
Fonte: Adaptado do Google Earth (2020)

O Casarão 2 apresenta no primeiro pavimento tipologia em “U”, com pátio interno, e no segundo pavimento tipologia em “L”. Sua área total é de 988,58m² e seu volume é de 5.301,32m³. As paredes externas e cobertura possuem, respectivamente, 1.612,02m² e 565,48m², resultando em uma área do envelope de 2.176,50m². O fator de forma da edificação, razão entre a área do envelope e o volume total da edificação, é 0,41.

O Casarão 2 possui seu maior eixo voltado quase a norte-sul. Sua fachada principal é voltada para oeste, com 14,05% de aberturas. A fachada sul está em contato com a rua e apresenta 10,77% de abertura. As fachadas norte e leste são voltadas para o pátio interno da edificação. A fachada norte possui 6,97% de aberturas, enquanto a fachada leste 6,21% de aberturas. A Tabela 12 mostra a relação entre a área de parede e as áreas translúcidas. Ao todo, essa edificação possui 9,39% de aberturas transparentes nas paredes.

	Total	Norte	Leste	Sul	Oeste
Envelope opaco da parede(m²)	1460,73	441,70	310,68	423,64	284,71
Envelope translúcido (m²)	151,29	33,07	20,56	51,13	46,53
Área total do envelope da parede (m²)	1612,02	474,77	331,24	474,77	331,24
Porcentual de abertura (%)	9,39	6,97	6,21	10,77	14,05

Tabela 12 - Porcentual de aberturas nas fachadas

Fonte: Autora (2019)

As construções do século XIX eram configuradas de forma a aproveitar ao máximo as condições climáticas do local, a ventilação cruzada permite o controle da temperatura, a iluminação natural disponibiliza o conforto visual, e a inércia térmica dos materiais é importante para minimizar as grandes variações de temperatura nos ambientes internos. No Casarão 2, a disposição e tamanho das esquadrias contribuem para a entrada de luz natural. Já o pátio interno, juntamente com a disposição das janelas, favorecem a ventilação cruzada e controle de temperatura interna no período de verão quando a temperatura do ar externo permite. As Figuras 17 e 18 exemplificam a relação entre a configuração da edificação perante a iluminação e ventilação natural.

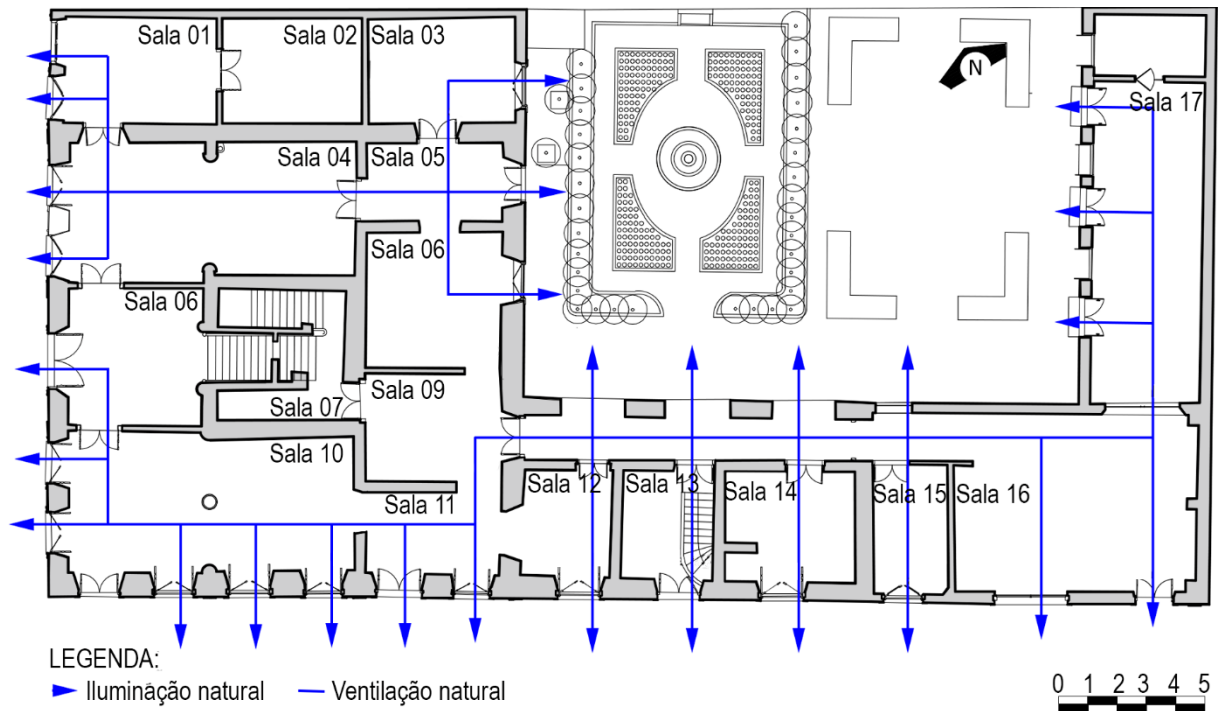


Figura 17 - Planta baixa 1º pavimento: Casarão 2 ventilado naturalmente
 Fonte: Adaptado da SeCult (2002)

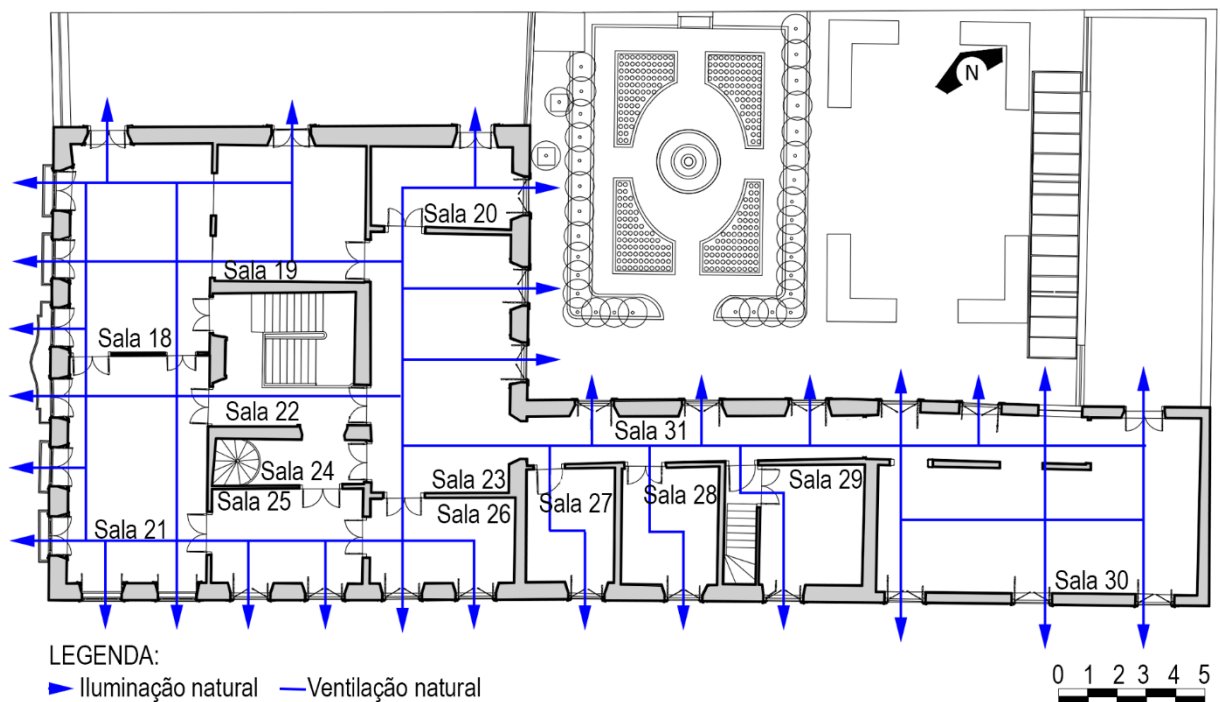


Figura 18 - Planta baixa 2º pavimento: Casarão 2 ventilado naturalmente
 Fonte: Adaptado da SeCult (2002)

As janelas possuem duas folhas de abrir e postigo de madeira, o que possibilita controlar a quantidade de radiação solar direta de cada sala. Ou seja, no inverno é possível abrir o postigo sem abrir a janela, permitindo a entrada de radiação solar e dificultando as perdas do calor interno da edificação. Já no verão,

é possível fechar os postigos nas áreas de maior radiação solar, impedindo assim que o ambiente aqueça.

O Casarão 2 possui estrutura autoportante, com paredes de espessuras entre 24cm e 91cm. Segundo levantamento de Cunha, Monteiro e Vasconcellos (1993), a maioria das paredes são grossas e compostas de argamassa de cal e tijolo cerâmico maciço, com dimensões de 7cm X 16cm x 30cm. As paredes mais finas são compostas de argamassa de cal e estuque. O entrepiso é composto de forro de madeira, câmara de ar e assoalho de madeira corrida. Já o piso do primeiro pavimento possui variação entre ladrilhos hidráulicos e assoalho de tábua corrida. As Figuras 19 e 20 representam as distribuições dos materiais mencionados anteriormente e o sistema construtivo do Casarão 2.

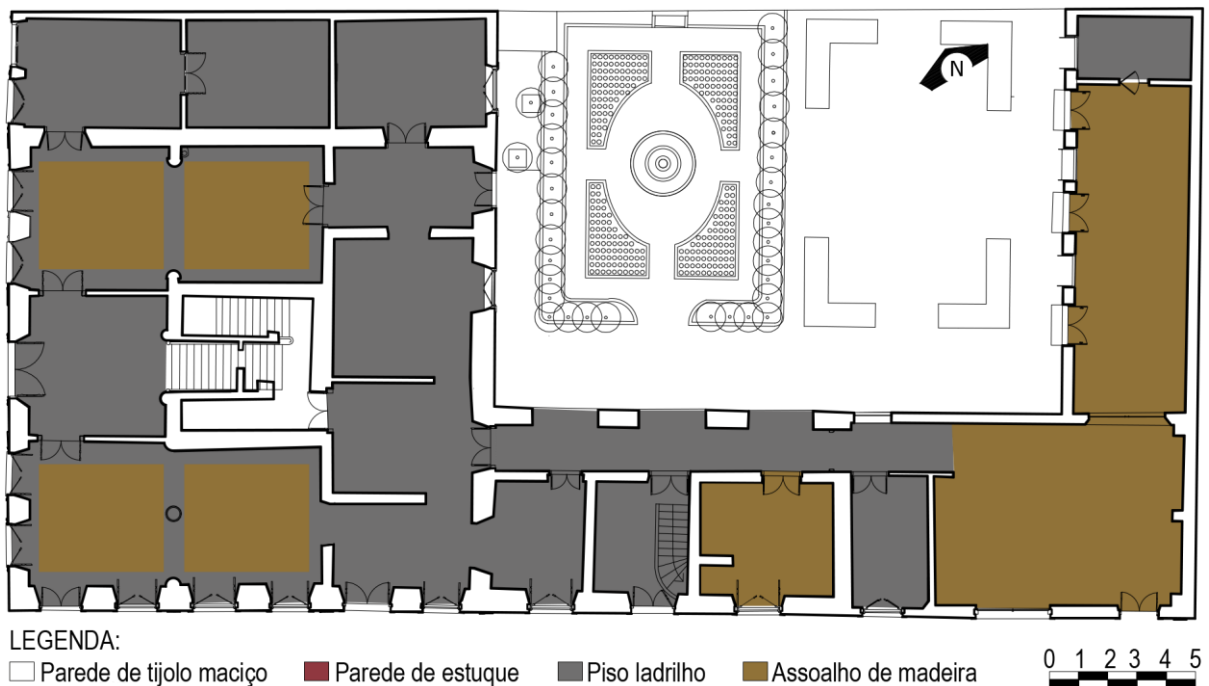


Figura 19 - Planta baixa 1º pavimento: materiais

Fonte: Adaptado da SeCult (2002)

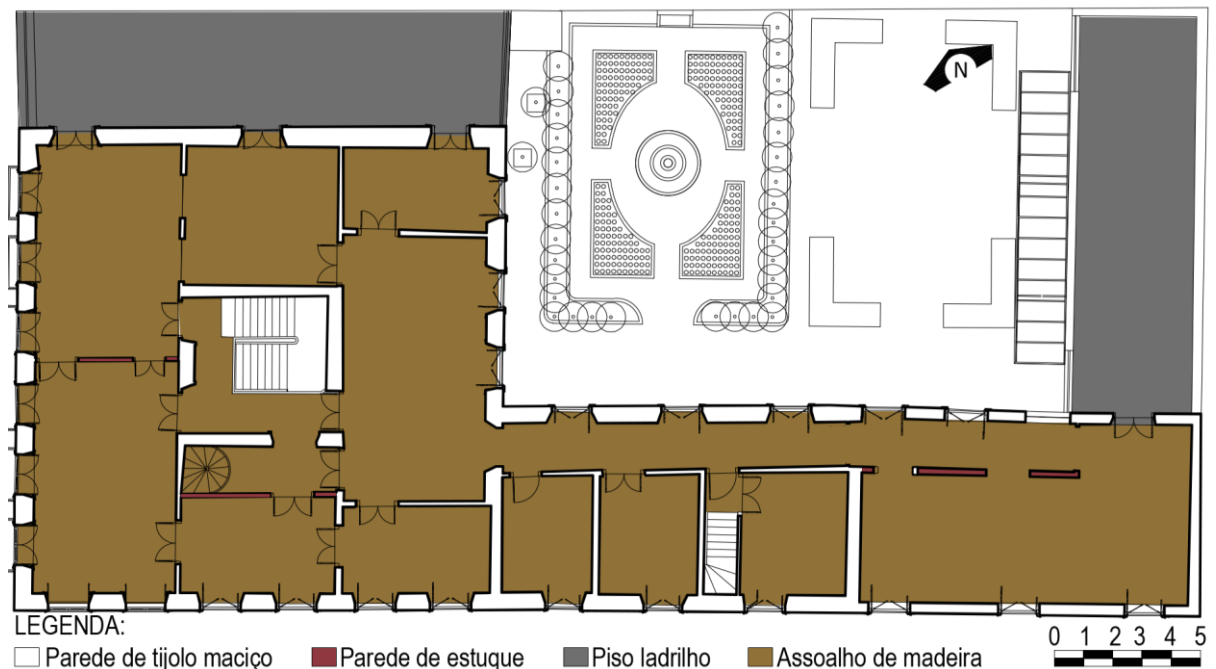


Figura 20 - Planta baixa 2º pavimento: materiais

Fonte: Adaptado da SeCult (2002)

A cobertura é composta por telhas de barro, do tipo capa canal, com grande inclinação e absorvência de 0,70. O pé direito é elevado, variando entre 3m a 5m de altura, o que contribui para manter o ar quente longe da zona de ocupação e eleva o volume de ar do ambiente. A Figura 21 representa, através do corte, as estruturas autoportantes e alturas da edificação. A pintura externa é de cal com cor azul claro, apresentando 0,4 de absorvência. Essa edificação apresenta como estratégia de climatização a ventilação natural.



Figura 21 - Corte do Casarão 2

Fonte: SeCult (2002)

As propriedades térmicas dos materiais presentes nessa edificação são definidas tendo como base a NBR 15220-2 (2005) e os estudos realizados por Knop (2012). A Tabela 13 apresenta a condutividade térmica, a densidade de massa aparente e o calor específico dos materiais.

Materiais	Tijolo	Argamassa de cal	Madeira – forro e piso	Telha cerâmica
Condutividade térmica [W/(m.K)]	0,7	0,7	0,29	0,7
Densidade de massa aparente [kg/m³]	1300	1200	1000	1300
Calor específico [kJ/(kg.K)]	0,92	0,84	1,34	0,92

Tabela 13 - Propriedades térmicas dos materiais

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005)

A partir das informações obtidas nesse item, foi possível determinar as características arquitetônicas e estruturais do Casarão 2, juntamente com as propriedades térmicas dos materiais presentes. Com isso foi possível modelar o seu representativo 3D.

3.3. Simulação computacional

A simulação computacional evidencia o comportamento termoenergético da edificação, através de dados de saída. Para isso, foi necessário realizar um conjunto de procedimentos antes de iniciar o processo de simulação, como modelar a forma 3D da edificação (zonas térmicas), caracterizar os materiais e técnicas construtivas, configurar os sistemas de iluminação e equipamentos e configurar o comportamento do usuário. O modelo 3D do Casarão 2 foi elaborado através do plugin *Euclid 0.9.3*, na interface gráfica do *software SketchUp 2017*. Para isso, foram criadas zonas térmicas (ZT). Cada zona térmica levava em consideração como limite dois fatores: a face mais externa dos elementos externos (paredes externas, piso externo e cobertura) e o eixo dos elementos internos (paredes internas e entrepiso). Os seus limites verticais foram estabelecidos nos níveis do primeiro pavimento, do segundo pavimento, da claraboia e do mirante, seguindo os mesmos limites de face e eixo citados anteriormente. As Figuras 22 a 24 mostram como foi planejada a zona térmica de cada ambiente, conforme o nível do pavimento. Ao todo, delimitou-se 33 zonas térmicas.

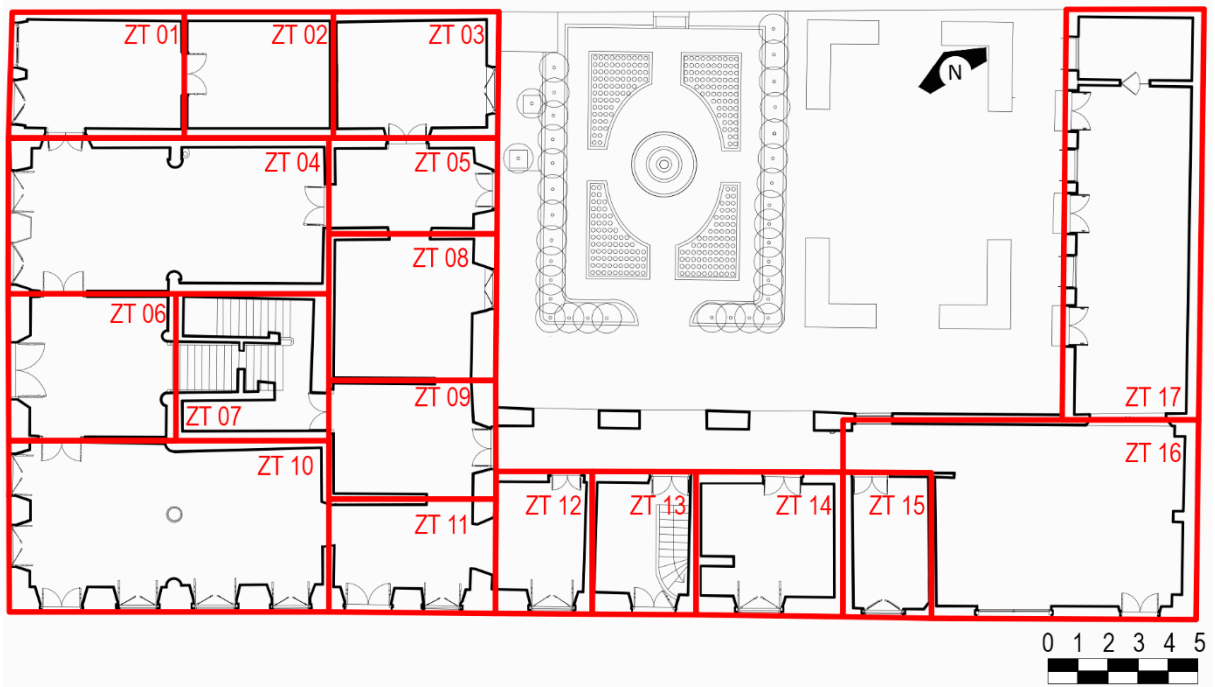


Figura 22 - Planta baixa 1º pavimento: zonas térmicas
 Fonte: Adaptado de SeCult (2002)

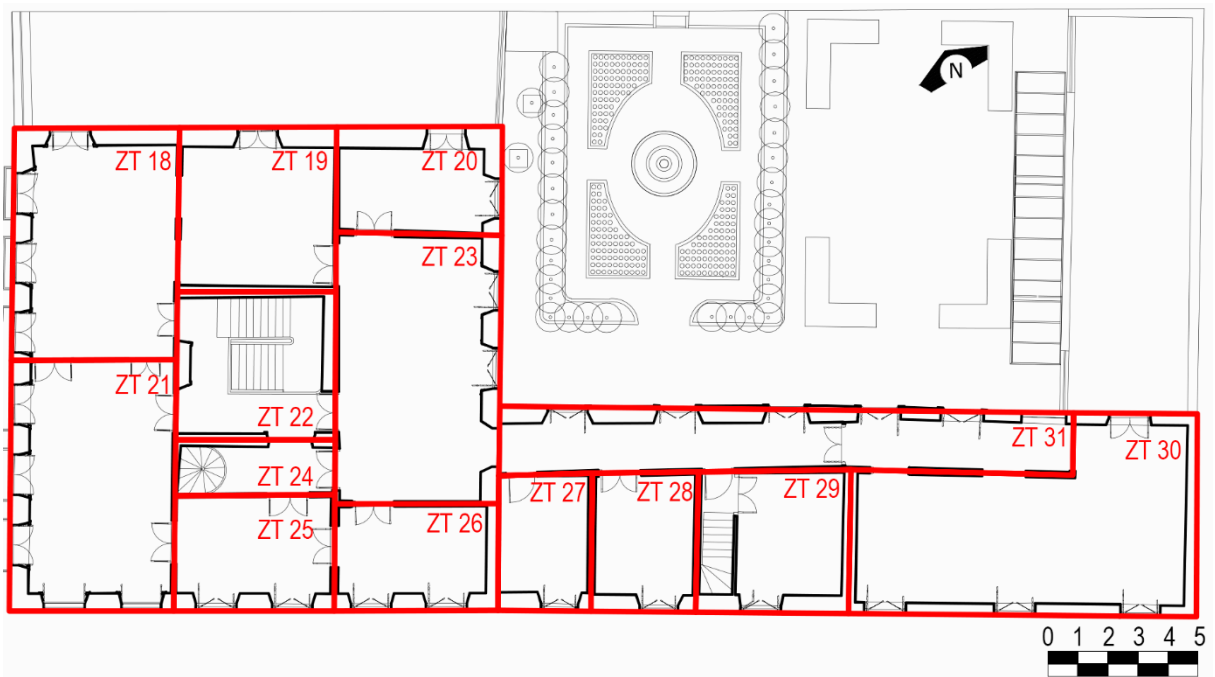


Figura 23 - Planta baixa 2º pavimento: zonas térmicas
 Fonte: Adaptado de SeCult (2002)

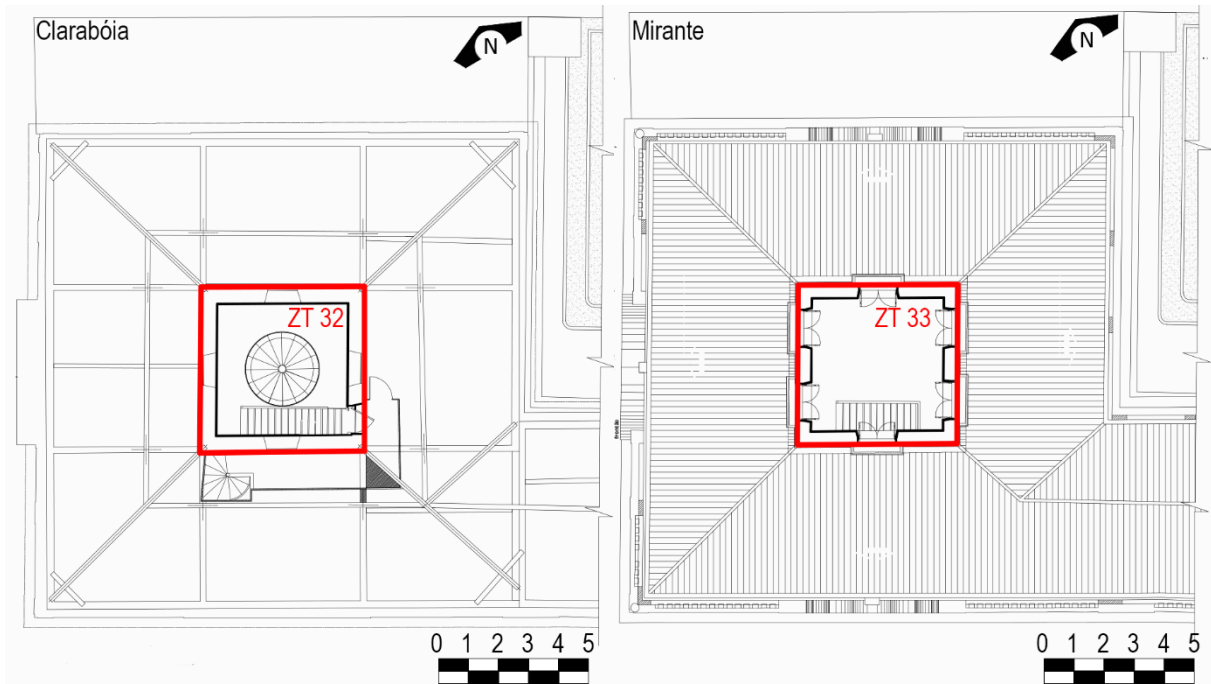


Figura 24 - Planta baixa claraboia e mirante: zonas térmicas
Fonte: Adaptado de SeCult (2002)

Depois da delimitação das zonas térmicas, o modelo 3D do Casarão 2 foi modelado no *SketchUp Make*. O resultado da modelagem 3D é representado pela Figura 25.

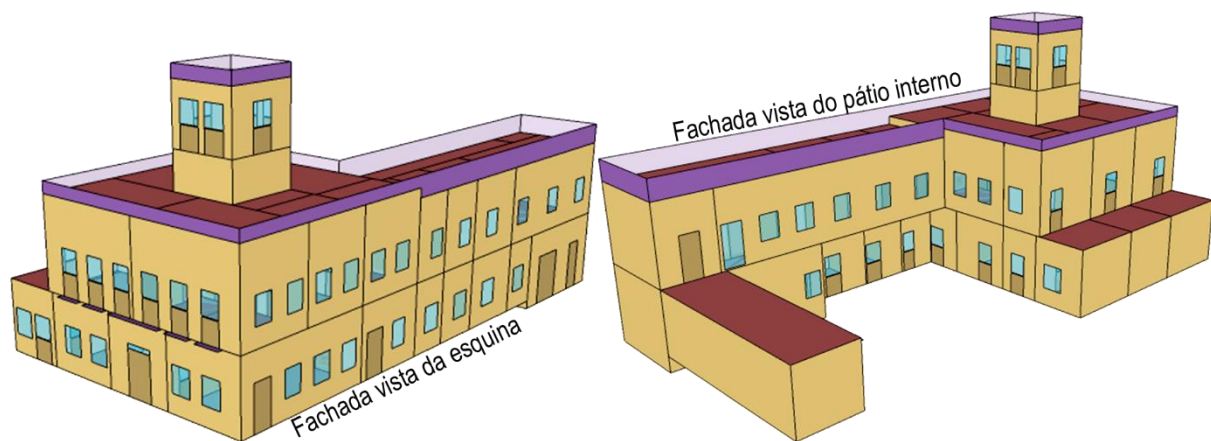


Figura 25 - Modelo 3D do Casarão 2
Fonte: Autora (2020)

Após a modelagem, realizou-se a configuração do Casarão 2, através do software *Energy Plus 8-7-0*. O Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE) disponibilizou o arquivo climático de Pelotas (.TRY) para ser utilizado durante as simulações desta pesquisa.

Ao configurar os materiais, deve-se levar em consideração que as edificações construídas no início do século XIX não possuem padrão de criação e

aplicação de materiais. Ou seja, a edificação apresenta elementos heterogêneos, com diferentes configurações, espessuras e materiais. Um exemplo disso são as paredes, que possuem espessuras variando entre 20cm e 90cm.

Como forma de simplificar o processo de modelagem e evitar futuros erros de complexidade, as paredes foram agrupadas em espessuras, assim como o método apresentado por Knop (2012). A Figura 26 demonstra como as paredes foram agrupadas. Esse método definiu 8 grupos de paredes, com composição de paredes semelhantes.

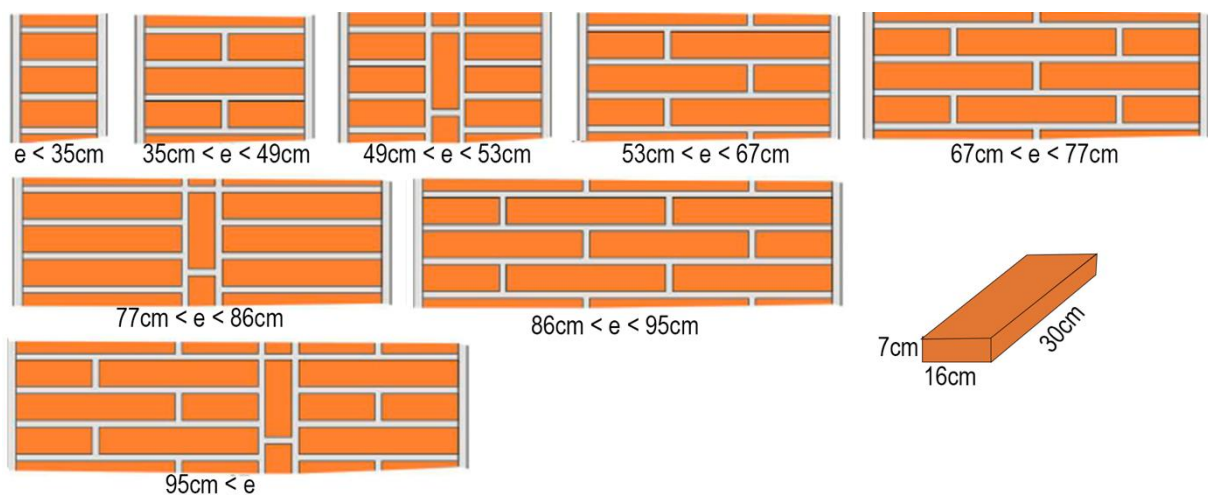


Figura 26 - Configuração e agrupamento das espessuras das paredes do Casarão 2
Fonte: Adaptado de Knop (2012)

Com as espessuras e composição reais, foi possível definir a transmitância térmica dos grupos de paredes heterogêneas. Todavia, o alto grau de complexidade das camadas heterogêneas das paredes pode provocar erros durante a simulação do modelo no *EnergyPlus*. Segundo Knop (2012), é necessário fazer o cálculo de equivalência para transformar as camadas heterogêneas (tijolo e argamassa) em camadas homogêneas, com mesmas transmitância e capacidade térmica, deixando o modelo mais simples e acelerando o processo de simulação. Ao final, as paredes passaram a ser compostas por uma camada externa e interna de reboco e uma camada intermediária do material equivalente. Esse material equivalente possui as mesmas propriedades térmicas da parede original, apenas com a densidade modificada. As espessuras das paredes equivalentes, telhado, assoalho, terraço e entrepiso têm suas propriedades térmicas representadas na Tabela 14.

	Paredes							
Intervalo	e<35	35≤e<49	49≤e<53	53≤e<67	67≤e<77	77≤e<86	86≤e<95	95≤e
Espessura(cm)	21	35	49	53	67	77	86	95
U W/(m.K)	2,13	1,49	1,15	1,07	0,88	0,79	0,72	0,65
C _t kJ/(m².K)	315	387	537	593	748	852	954	1049
Massa aparente tijolo [kg/m³]	1798	1219	1201	1216	1214	1211	1212	1199
	Pisos							
	Telhado							
		Assoalho			Entrepiso		Terraço	
U W/(m.K)	1,92	1,95			2,01		1,32	
C _t kJ/(m².K)	41	25			50		268	

Tabela 14 - Propriedades térmicas dos elementos construtivos

Fonte: Autora

As informações sobre o uso do ambiente, operação de janelas, sistema de iluminação, equipamentos, condicionamento de ar e características históricas foram obtidas através de levantamento *in loco*. Os dados coletados de cada zona térmica foram fichados e estão disponíveis para consulta nas Tabelas A.1 à A.33, no Apêndice A. Esses dados são utilizados para modelar e caracterizar cada zona térmica do Casarão 2.

3.3.1. Modelo real

A INI-C estabelece padrões para configurar tanto o modelo que representa a edificação real quanto a edificação referência. Primeiramente, identificou-se a tipologia do Casarão 2. Uma vez que essa edificação é mista, podendo ser considerada tanto como atividades de escritórios e museu quanto atividades públicas, os melhores valores a serem adotados são os referentes a tipologias não descritas no item 2.2.3.1, presentes no Anexo C.

A envoltória do edifício real foi configurada conforme a edificação se apresenta na realidade. No caso deste trabalho, as paredes foram identificadas, agrupadas e simplificadas, e as suas propriedades térmicas para a modelagem são descritas na Tabela 14, no item 3.3. A atividade predominante nas áreas de permanência prolongada é o trabalho de escritório, sendo 140W o calor produzido pelo metabolismo, conforme NBR 16401-1 (2008). Os valores de ocupação, horas de ocupação e densidade de potência de equipamento (DPE) são pré-estabelecidos pela INI-C. Essa normativa obriga a criação de uma agenda com 12h de ocupação durante o dia (8h às 20h), de segunda a sábado, com ocupação de 10m²/pessoa e DPE de 12W/m² (INMETRO, 2018). A iluminação foi configurada para funcionar

durante o período de ocupação, com a densidade de potência instalada (DPI) para nível A de eficiência, uma vez que não foi possível averiguar a potência individual de cada lâmpada. Para isso, foram utilizados os valores disponibilizados pela INI-C, representados pela Tabela 15, de acordo com a atividade da zona térmica.

Atividade	DPI Classe A (W/m ²)	DPI Classe B (W/m ²)	DPI Classe C (W/m ²)	DPI Classe D (W/m ²)
Depósitos	4,95	5,97	6,98	8,00
Banheiros	9,15	10,68	12,20	13,73
Museu/ sala de exibição	11,50	13,71	15,89	18,08
Escritório	10,00	13,02	16,03	19,04
Garagem	1,50	2,07	2,64	3,20
Escada	6,25	8,11	9,97	11,84

Tabela 15 - Limite máximo aceitável de densidade de potência de iluminação (DPIL) para a classe de eficiência pretendida: método das atividades do edifício
Fonte: Adaptado da INI-C (Inmetro, 2018)

Como a edificação não apresenta sistema de climatização artificial, a busca pelo conforto térmico foi realizada através da ventilação natural, ou seja, pela abertura e fechamento das esquadrias. As janelas de madeira possuem 100% de aberturas e postigo de madeira. A ventilação natural foi configurada durante 24 horas diárias, com aberturas 100% das janelas com termostato de 24°C, quando as condições ideais forem alcançadas, assim como recomenda a INI-C (INMETRO, 2018). Ou seja, quando a temperatura do ar do ambiente é igual ou superior à temperatura de termostato e quando a temperatura do ar externo é inferior à temperatura do ar interno ($T_{ext} \leq T_{ext}$). Os postigos foram representados internamente às janelas, sendo ativados durante a noite e desativados durante o dia, assim como funciona na realidade.

A temperatura do solo foi obtida pelo Utilitário *Slab*, que é vinculado ao *EnergyPlus* e corrige as temperaturas médias mensais do solo. Para isso, realizou-se uma simulação com a edificação em solo adiabático, para obter as temperaturas médias mensais do ar interno. Em seguida, essas temperaturas foram configuradas e simuladas com o pré-processador *Slab*. Os resultados obtidos foram configurados como temperatura do solo no *EnergyPlus*.

3.3.2. Modelo referência

3.3.2.1. Modelo referência com ventilação natural

O modelo de referência do Casarão 2 deve seguir as configurações estabelecidas na Tabela do Apêndice C, sobre valores de referência para edificações, cuja tipologia não é descrita pela INI-C. A orientação solar e o pé-direito devem ser os mesmos do modelo real. As paredes externas foram configuradas com argamassa interna e externa de 2,5 cm, bloco cerâmico furado de 9 cm, transmitância de $2,39\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ e absorptância de 0,5. A cobertura foi configurada com telha de fibrocimento, câmara de ar menor de 5cm, laje maciça de concreto de 10cm, transmitância total de $2,06\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ e absorptância de 0,8. Já o vidro foi configurado como simples incolor 6 mm e com fator solar de 0,82. As propriedades térmicas de cada material foram detalhadas na Tabela 9, do item 2.2.3.1.

O período de ocupação, quantidade de pessoas e DPE foram configurados conforme os valores de referência do modelo real (item 3.3.1.). Já a iluminação foi configurada com os valores da Tabela 15 (item 3.3.1) para DPI com classe C, para se ter os valores mais parecidos com as atividades do edifício. A ventilação natural e a temperatura do solo foram configuradas conforme descritas no modelo real, final do item 3.3.1.

3.3.2.2. Modelo referência com climatização híbrida

A INI-C obriga que todas as edificações ventiladas naturalmente alcancem no mínimo 90% de $PHOC_t$ (INMETRO, 2018). Caso esse grau de conforto não seja atingido, recomenda-se a aplicação de um sistema auxiliar de climatização. Neste caso, foi configurada a edificação com o sistema de climatização híbrido, acrescentando o *Packages Terminal Heat Pump* (PTHP), para operar quando a ventilação natural não conseguia alcançar os critérios de conforto térmico observando a ASHRAE 55 (2010). Segundo Rupp e Ghisi (2019), esse sistema permite a alternância entre o sistema de ar-condicionado e a operação de janelas, economizando energia e garantindo o conforto térmico da edificação. A INI-C estabelece em $2,60\text{W/W}$ o Coeficiente de Desempenho (COP) na parte PTHP do sistema híbrido. O termostato foi configurado para manter a temperatura interna do ambiente em 24°C . A taxa de fluxo de ar por pessoa foi de $0,00944\text{m}^3/\text{s}$, a eficiência do motor do PTHP foi de 90% e a eficiência do seu ventilador foi 80%.

O horário de operação do *PTHP* e ventilação natural foram determinados no objeto *AvailabilityManager:HybridVentilation*, onde é levado em consideração os limites de aceitabilidade da ASHRAE 55 (2010). Ou seja, quando a temperatura operacional estava abaixo de 80% de conforto, a ventilação natural foi desligada e o sistema de *PTHP* ligado. Quando a temperatura operacional estava acima de 80%, a ventilação natural foi ligada e o sistema de *PTHP* desligado. Para isso, foi necessário aplicar a opção *AdaptiveASH55* no campo de *Thermal Comfort Model*, presente no objeto *Pessoas*.

3.3.3. Modelo otimizado segundo a INI-C

3.3.3.1. Modelo otimizado com ventilação natural

O principal objetivo da otimização do Casarão 2 foi alcançar o nível “A”, observando a INI-C, levando em consideração sua limitação como edificação inventariada no nível 1. Ou seja, as propostas de otimização devem ser reversíveis e não provocarem mudanças estruturais e arquitetônicas nessa edificação. Para isso, optou-se por 3 parâmetros de modificação.

O primeiro parâmetro foi a troca de cor da edificação, tanto nas paredes quanto nas coberturas. Ao todo, foram realizadas 8 simulações, variando a cor da parede e cobertura em branca e preta, com 0,20 e 0,97 de absorvância, respectivamente. O objetivo dessa etapa foi averiguar como a absorvância de cada elemento impacta no conforto térmico do Casarão 2.

O segundo parâmetro foi a aplicação de isolantes térmicos na cobertura e variação nas cores da envoltória. A aplicação de isolamento abaixo da cobertura aumenta a inércia térmica da edificação, sem alterar as suas características estéticas e, além disso, é um processo reversível. Foi testado como isolante a lã-de-vidro com espessuras de 10 mm, 50 mm, 100 mm, 150 mm e 200 mm.

O terceiro parâmetro foi a troca do vidro simples por vidro duplo, com duas camadas de vidro com 20 mm e câmara interna de 12 mm. A troca do material antigo por um novo pode gerar críticas em relação à criação de um falso histórico. Todavia, constatou-se durante o levantamento a presença de algumas janelas quebradas, sendo necessário sua troca.

3.3.3.2. Modelo otimizado com climatização híbrida

Nas otimizações do modelo com climatização híbrida, o PTHP foi configurado com nível “A”, ou seja, com COP 3,24. O termostato foi configurado para 24°C e taxa de fluxo de ar por pessoa foi de 0,00944m³/s. A eficiência do motor do PTHP foi de 90% e a eficiência do seu ventilador foi 80%, assim como o item 3.3.2.2. As modificações cor de parede e cobertura, isolamento e vidro, foram feitas conforme o item 3.3.3.1., até alcançar o valor mínimo de consumo de energia primária para o nível “A”.

3.3.4. Modelo otimizado segundo a *EnerPHit Standard*

A certificação *EnerPHit Standard* obriga o uso do sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor (*Mechanical Ventilation with Heat Recovery – MVHR*) nos climas frios e deixa opcional para os climas mais quentes. Visando os períodos de frio presentes na ZB2, optou-se por utilizar o MVHR. Esse sistema foi configurado nas zonas térmicas de permanência prolongada, no objeto *IdealLoadsAirSystem*, com fluxo de ar constante de 1,0h⁻¹ (renovação de ar por hora), assim como recomenda a *EnerPHit Standard*.

Como um dos objetivos deste trabalho foi analisar o *payback* das modificações do *retrofit*, o MVHR utilizado neste trabalho foi baseado num modelo real, disponibilizado no mercado, que possui a certificação de *Component Passive House*. Nesse aspecto, selecionou-se o equipamento *Duplexvent Flexi DV 2006*, que possui eficiência de 91% e potência de 890W. Esse MVHR trabalhou durante as 24 horas do dia com *setpoint* dentro dos limites de conforto térmico estabelecidos pelo projeto *Passive-on*, ou seja, com temperatura de 26°C para refrigeração e 20°C para aquecimento.

Uma das limitações do objeto *IdealLoadsAirSystem* foi o seu dado de saída sobre o consumo de energia, o qual considera o sistema com COP igual a 1. Visando sistemas de climatização com mesmo COP, os resultados do consumo de energia foram divididos por 3,24, mesmo valor do COP usado no PTHP.

3.4. Método do orçamento do *retrofit*

Segundo Mattos (2006), o orçamento é o somatório entre os custos diretos (material, equipamento e mão-de-obra), os custos indiretos (taxas, equipes de supervisão e de apoio, etc.), impostos e lucro do objeto. Neste trabalho foi analisado

apenas os custos diretos, os quais seguiram as seguintes etapas: identificação dos serviços, levantamento de quantitativos, discriminação dos custos e cotação de preços.

A identificação dos serviços se refere às modificações realizadas na edificação para atender o nível “A” da INI-C e a *EnerPHit Standard*. Dos serviços para alcançar o nível “A”, foi feita a pintura das paredes externas, pintura da cobertura, aplicação de isolante térmico na cobertura, troca de esquadrias e instalação do PTHP, caso necessário. Dos serviços para a edificação alcançar a *EnerPHit*, foi feita a instalação do MVHR e qualquer modificação necessária para alcançar os critérios mínimos da certificação.

O primeiro passo para o orçamento foi realizar o levantamento quantitativo dos materiais necessários para o *retrofit* do Casarão 2. Esse quantitativo tem como base as áreas dos elementos construtivos (parede, cobertura e vidro) e a implementação de novos elementos (PTHP e MVHR).

A composição dos custos e serviços foi efetuada tendo como base a Tabela de Composição e Preços para Orçamentos (TCPO) (PINI, 2010), que possui diversas composições de serviços de referência. Já os valores dos custos e serviços foram obtidos através das tabelas presentes no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) (2019), referentes ao mês de novembro de 2019, em Porto Alegre.

O custo do sistema PTHP levou em consideração a quantidade de Unidades Internas de Expansão Direta *Split*, necessárias para atender a demanda de resfriamento ou aquecimento da edificação. Nesse custo, levou-se em consideração a composição do TCPO para o *Split* e os custos do SINAPI.

Em relação ao MVHR, como não existem fabricantes deste sistema no Brasil, solicitou-se um orçamento nas empresas europeias. Todavia, as empresas contatadas afirmaram que não realizam projetos para o Brasil. Devido a isso, foi necessário comprar o equipamento MVHR à parte e acrescentar as taxas de importação do sistema junto ao conjunto de dutos flexíveis e isolados. Por questões de custos e benefícios, o MVHR escolhido foi *Duplexvent Flexi DV 2006*. As taxas de importação foram calculadas através do Simulador de Tratamento Tributário e Administrativo das Importações (RECEITA FEDERAL, MINISTÉRIOS DA FAZENDA, 2019), considerando o valor da libra (£) de R\$5,2883, referente ao mês de dezembro de 2019.

3.5. Análise de resultados

3.5.1. Análise do conforto térmico e consumo de energia

O objetivo dessa etapa foi descrever o método de análise do desempenho termoenergético dos *retrofit* energéticos, visando atender ao nível “A” da INI-C e os critérios mínimos da *EnerPHit*. Primeiramente, foram definidas as soluções de envelope em cada etapa de simulação. As descrições das soluções analisadas estão descritas na Tabela 16.

Etapas	Descrição
Etapa 1	Edificação real
Etapa 2	Edificação referência
Etapa 3	Solução com classificação nível A, conforme INI-C
Etapa 4	Solução que atende aos requisitos mínimos da <i>EnerPHit</i>

Tabela 16 - Descrição das soluções analisada de conforto térmico e consumo de energia

Fonte: Autora

Verificou-se o desempenho anual de cada solução, relacionando o $PHOC_t$, o consumo de energia primária e o consumo de energia para refrigeração e aquecimento. Em todas as etapas foram realizadas análises do nível de eficiência energética, de acordo com o método proposto pela INI-C e pela *EnerPHit*.

Segundo a INI-C, a eficiência das simulações ventiladas naturalmente é avaliada através do $PHOC_t$, sendo necessário implementar a climatização híbrida quando a edificação não alcançar 90% de conforto térmico (INMETRO, 2018). Além disso, essa normativa estabelece 5 passos a serem seguidos para determinar o nível de eficiência da edificação.

No primeiro passo, determina-se a energia primária consumida pelo modelo de referência. Para isso, multiplica-se o consumo total de energia, resultante da simulação computacional, pelo fator de conversão de energia elétrica (1,6), assim como mostra a Tabela 5, no item 2.2.3.

No segundo passo, determina-se o fator de forma (FF) do Casarão 2. Esse fator é a razão entre a área total do envelope (área de parede, cobertura e outros elementos) e o volume total da edificação.

No terceiro passo, determina-se o coeficiente de redução da carga térmica anual da classe “D” para classe “A”, com base no FF e o grupo climático (GCL) correspondente. Neste trabalho, o Casarão 2 se localiza no GCL-5 (Pelotas) e não possui sua tipologia na descrição da INI-C, o que tornou a Tabela 17 ideal para

selecionar os coeficientes de redução. O Anexo D mostra essa tabela na íntegra, segundo o INI-C.

Grupo climático	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para classe A ($CRCEP_{D-A}$)			
	$FF \leq 0,20$	$0,20 < FF \leq 0,30$	$0,30 < FF \leq 0,40$	$FF > 0,40$
GCL 5	0,21	0,23	0,24	0,26

Tabela 17 - Edificações não descritas anteriormente: coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A ($CRCEP_{D-A}$) com base no fator de forma (FF) e o grupo climático correspondente

Fonte: Adaptado do Inmetro (2018)

No quarto passo, identifica-se o intervalo entre as classes “A” e “D”, de eficiência energética através da equação 2, no item 2.2.3.1. Ou seja, multiplica-se o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência, pelo coeficiente de redução de consumo de energia, descrito no passo anterior. Em seguida, divide-se por três esse resultado, para definir o intervalo entre as classes.

No quinto passo, com o intervalo de classes já definido, observa-se o nível de Eficiência Energética da edificação. Para isso, preenche-se a Tabela 10 do item 2.2.3.1. Com essa tabela, é possível analisar e comparar o nível de desempenho energético, tanto da edificação real quanto das diversas propostas de *retrofit*.

A classificação do Casarão 2, através da *EnerPHit Standard*, foi realizada levando em consideração os critérios de duas zonas bioclimáticas. A primeira zona bioclimática leva em consideração a localização do Casarão 2 em uma zona de clima quente, tal como o zoneamento da *EnerPHit*. Nessa zona, a edificação deve alcançar a certificação *EnerPHit Standard*, caso apresente consumo de energia primária máxima inferior a 120 kWh/(m².ano), com máxima de 10% das horas de sobreaquecimento e, como não apresenta especificação na demanda de aquecimento, adotá-la como inferior a 15 kWh/(m².ano) (mínima demanda de aquecimento mencionado na certificação). A segunda zona leva em consideração que as características climáticas de Pelotas são mais parecidas com as características climáticas do Uruguai do que as zonas centrais do Brasil. Nessa zona, classificada como normal, a única diferença em relação à zona quente, é a demanda de aquecimento, a qual não pode ultrapassar 15 kWh/(m².ano).

3.5.2. Análise do *payback* simples

A análise econômica teve como objetivo analisar a viabilidade econômica das soluções, atendendo o nível “A”, conforme a INI-C e a *EnerPHit Standard*, através do *payback* simples. Com esse tipo de *payback* foi possível fornecer um número de período de retorno do investimento em relação ao fluxo de caixa positivo (Hirschfeld, 2007). Para isso, foi necessário obter o custo do investimento adicional e o custo da energia conservada das soluções analisadas. Essas soluções são descritas na Tabela 18.

Etapas	Descrição
Etapa 1	Edificação otimizada ventilada naturalmente
Etapa 2	Solução com classificação nível A, conforme INI-C, menores modificações
Etapa 3	Solução com classificação nível A, conforme INI-C, intermediário
Etapa 4	Solução com classificação nível A, conforme INI-C, menor consumo de energia
Etapa 5	Solução que atende aos requisitos mínimos da <i>EnerPHit</i>

Tabela 18 - Descrição das soluções para análise de viabilidade econômica

Fonte: Autora

Na análise do custo de energia conservada, multiplicou-se o custo do quilowatt-hora pela quantidade de energia economizada. Segundo a Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), o quilowatt-hora na tarifa energética do mês de novembro de 2019 custou R\$0,52. Já a quantidade de energia economizada foi obtida pela subtração entre o consumo de energia do modelo real e cada *retrofit* pelo consumo de energia do modelo de referência. Logo, foi possível estipular o *payback* simples por meio da fração do investimento realizado sobre o custo anual da energia economizada, conforme a Equação 3.

$$PB_{simples} = \frac{I}{c} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$PB_{simples}$: *Payback* simples (anos);

I: Investimento adicional (R\$);

C: Custo da energia economizada (R\$/ano).

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

As configurações descritas no item 3 resultaram em propostas de *retrofit* que são analisadas neste capítulo. São investigados o comportamento termoenergético do Casarão 2, o *retrofit*, e as suas viabilidades econômicas.

4.1. Análise do conforto termoenergético do Casarão 2

4.1.1. Análise do modelo real

O modelo real do Casarão 2 foi representado pelo Modelo 2 (mod. 2). Seu sistema de climatização foi feito inteiramente através do controle de abertura das esquadrias, o qual proporcionou a ventilação natural. Como resultado da simulação, constatou-se que essa edificação apresenta 67% do tempo em estado de conforto térmico nas horas ocupadas - 8h às 20h, de segunda a sábado -, 28% de desconforto por frio e 5% de desconforto por calor. Como o Casarão 2 apresentou 67% de $PHOC_t$, foi necessário, primeiramente, otimizar a edificação até alcançar o 90% de $PHOC_t$ exigido pela INI-C.

O desconforto por frio pode acontecer devido às poucas zonas de permanência prolongada presentes no Casarão 2. As várias zonas de permanência transitória podem se comportar como camadas de isolante térmico. Isso ocorre por dois fatores: no primeiro fator, essas zonas não possuem ganhos térmicos provenientes do metabolismo humano e de equipamento, minimizando a geração de calor interno; no segundo fator, o grande volume dessas zonas térmicas dificulta o aquecimento deste ar.

Outro fator que contribui com esse desconforto por frio são as paredes externas do Casarão 2, as quais possuem baixa transmitância térmica e alta massa específica, diminuindo a troca de calor entre os ambientes externos e internos. Ou seja, a alta inércia térmica, juntamente com os baixos ganhos de calor, geram o desconforto por frio. As Figuras 27 e 28 mostram cada zona térmica de permanência prolongada, com seus respectivos percentuais anuais de conforto e desconforto por frio e calor.

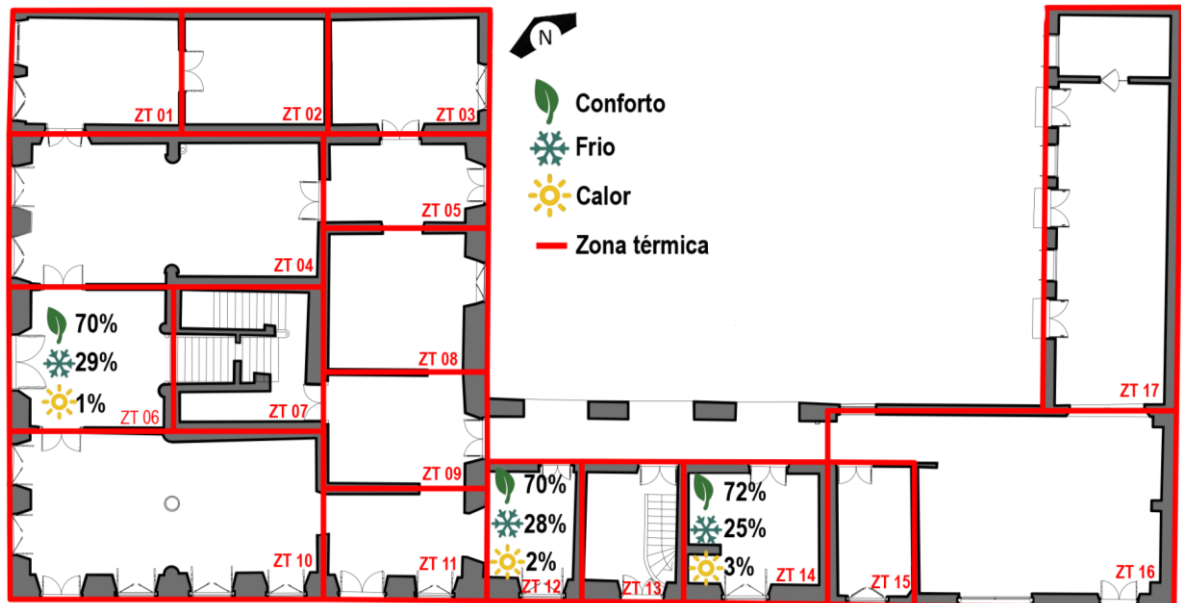


Figura 27 - Planta baixa do 1º pavimento: conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada
Fonte: Autora

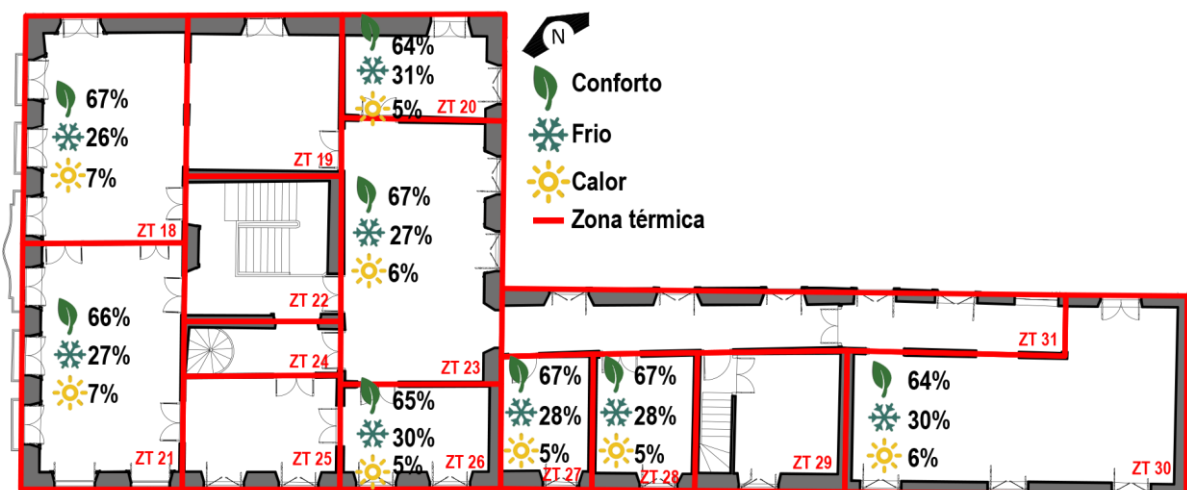


Figura 28 - Planta baixa do 2º pavimento: conforto térmico dos ambientes de permanência prolongada
Fonte: Autora

Comparando os dois pavimentos, verificou-se que o térreo possui mais tempo em conforto térmico que o pavimento superior. Isso ocorre porque o segundo pavimento está em contato com a cobertura, elemento com maior transmitância térmica, facilitando as trocas térmicas com o ambiente externo. Já o pavimento térreo possui o entrepiso, seguido do segundo pavimento e, por fim, a cobertura, impedindo que a parte superior do térreo esteja em contato direto com o ambiente externo. Ou seja, essa camada se comporta como uma camada de isolamento térmico na parte superior do térreo.

4.1.2. Análise do modelo de referência

O item 4.1.1. demonstrou que o modelo real apresenta $PHOC_t$ abaixo de 90%, sendo necessário utilizar a climatização híbrida como sistema de climatização. Devido a isso, o modelo de referência foi configurado com a climatização híbrida, operando o PTHP sempre que a ventilação natural não proporcionar o conforto térmico no ambiente. Além disso, foi necessário realizar uma nova avaliação no desempenho termoenergético do Casarão 2, através dos 5 passos mencionados no item 3.5.1.

Segundo a simulação do *EnergyPlus*, o modelo de referência foi nomeado de Modelo 1 (mod. 1) e apresentou 74.956,17 kWh/ano de consumo de energia. Multiplicando isso pelo fator de conversão de energia (1,6), obtém-se 119.929,87 kWh/ano de consumo de energia primária.

Ao analisar a volumetria e a área total do envelope do Casarão 2, constatou-se que seu fator de forma é 0,41. Com esse valor e por estar localizado no GCL-5, segundo a Tabela 17 do item 3.5.1., utilizou-se 0,26 como coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe “D” para classe “A”. Colocando esse coeficiente na Equação 2 (item 2.2.3.1.), chegou-se a 10.393,92 kWh/ano como o intervalo entre as classes “A” e “D”. Por fim, preencheu-se a Tabela 10 (item 2.2.3.1). A Tabela 19 apresenta esses resultados, classificando o nível de eficiência da edificação de acordo com o seu consumo de energia. Foi possível verificar com esses resultados, que para o Casarão 2 e qualquer *retrofit* realizado nele alcançarem o nível “A” INI-C, o consumo de energia primária deve ser inferior a 88.748,11 kWh/ano.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 88.748,11	> 99.142,03	> 109.535,95	> 119.929,87
Limite inferior	≤ 88.748,11	≤ 99.142,03	≤ 109.535,95	≤ 119.929,87	-

Tabela 19 - Classificação da eficiência energética

Fonte: Autora

4.1.3. Análise de otimização para nível “A” da INI-C

Para alcançar o nível “A” da INI-C, ou o Casarão 2 deve apresentar $PHOC_t$ superior a 90%, ou deve possuir um sistema de climatização híbrida, com consumo

total de energia primária inferior a 88.748,11 kWh/ano. Visando não aumentar o consumo de energia da edificação real, optou-se, primeiramente, por melhorar o conforto térmico dessa edificação, utilizando estratégias passivas. Nessa etapa, ao todo, foram realizadas simulações com 32 modelos de *retrofit*. Cada modelo apresentou um conjunto de modificações, as quais variavam entre troca na cor das paredes externa e cobertura, aplicação de lâ de vidro e substituição do vidro simples das janelas por vidro duplo com 3 mm. A Tabela 20 mostra as características modificadas. Já o gráfico da Figura 29 mostra os resultados, em percentuais, do nível de conforto térmico de cada *retrofit*.

Nome do modelo	Cor parede	Cor cobertura	Isolamento cobertura	Janela
Modelo 2	Real	Real	Sem	Vidro simples
Modelo 3	Branca	Real	Sem	Vidro simples
Modelo 4	Preta	Real	Sem	Vidro simples
Modelo 5	Real	Branca	Sem	Vidro simples
Modelo 6	Real	Preta	Sem	Vidro simples
Modelo 7	Branca	Branca	Sem	Vidro simples
Modelo 8	Branca	Preta	Sem	Vidro simples
Modelo 9	Preta	Branca	Sem	Vidro simples
Modelo 10	Preta	Preta	Sem	Vidro simples
Modelo 11	Branca	Real	1cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 12	Branca	Real	5cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 13	Branca	Real	10cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 14	Branca	Real	15cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 15	Branca	Real	20cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 16	Preta	Real	1cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 17	Preta	Real	5cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 18	Preta	Real	10cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 19	Preta	Real	15cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 20	Preta	Real	20cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 21	Real	Real	1cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 22	Real	Real	5cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 23	Real	Real	10cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 24	Real	Real	15cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 25	Real	Real	20cm lâ-de-vidro	Vidro simples
Modelo 26	Real	Real	20cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 27	Preta	Real	20cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 28	Branca	Real	20cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 29	Real	Preta	20cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 30	Preta	Preta	20cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 31	Branca	Preta	20cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 32	Preta	Real	15cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 33	Preta	Real	10cm lâ-de-vidro	Vidro duplo
Modelo 34	Preta	Real	5cm lâ-de-vidro	Vidro duplo

Tabela 20 - Modificações do Casarão 2: climatização natural

Fonte: Autora

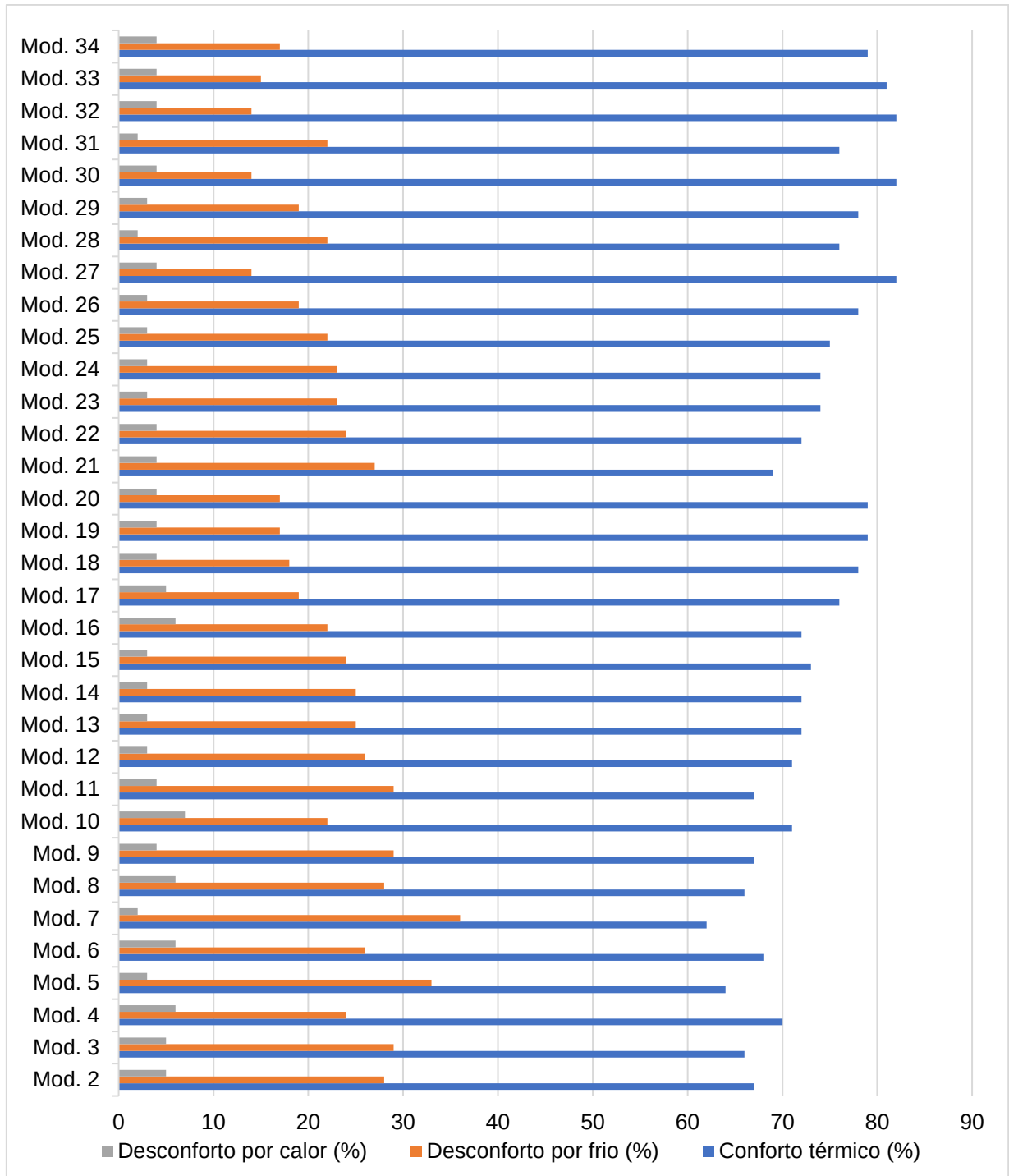


Figura 29 – Gráfico do conforto térmico dos retrofit ventilados naturalmente do Casarão 2
Fonte: Autora

A partir dos resultados, foi possível verificar que as estratégias visando aquecer o Casarão 2 e manter o seu calor interno foram as mais eficientes. Os modelos que apresentaram algum elemento com cor preta tiveram seus $PHOC_t$ mais elevados do que os modelos com os mesmos elementos de cor branca. Isso ocorre porque as cores mais escuras absorvem mais o calor proveniente da radiação solar, aquecendo a edificação e diminuindo o seu desconforto por frio. Um exemplo disso

foram os Modelos 4 e 6, respectivamente parede e cobertura preta, os quais apresentam 4% a mais de conforto térmico se comparados aos Modelos 3 e 5, respectivamente parede e cobertura branca. Apenas pintando as paredes do Casarão 2 de preto, o $PHOC_t$ passou de 67% para 70%. Já a cobertura preta melhorou em 1%. Isso mostrou que as paredes, apesar da sua grande inércia térmica, têm maior influência nos ganhos térmicos dessa edificação. Isso está relacionado com o fato de a área de envoltória das paredes serem muito mais elevadas do que a área de cobertura. Ou seja, mesmo a cobertura tendo maior transmitância térmica por m^2 , as paredes possuem maior área em contato com o ambiente externo, realizando, assim, mais trocas térmicas devido a sua área.

Os modelos com a lã de vidro na cobertura conseguiram melhorar a inércia térmica e manter o calor dentro da edificação. Testou-se aumentar progressivamente a espessura da lã de vidro de 50 mm em 50 mm e depois trocar a cor da envoltória. Apenas com o acréscimo de lã de vidro, o $PHOC_t$ ficou entre 69% (mod. 21) e 75% (mod. 25), ou seja, entre 2% e 8% a mais, se comparado ao edifício real.

O vidro duplo foi o último parâmetro modificado. Esse tipo de vidro contribui para melhorar o isolamento da edificação, contribuindo para melhorar o conforto térmico juntamente com a lã de vidro. Os modelos que usam as três modificações apresentaram os melhores $PHOC_t$, chegando a atenderem os 80% do conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2010), como foi o caso dos modelos 27, 30, 32 e 33. O Modelo 33, com parede preta e 10cm de lã de vidro, apresentou o menor $PHOC_t$ (81%) recomendado da ASHRAE 55. Já o Modelo 27 - parede preta, 20 cm de lã de vidro e vidro duplo - apresentou 82% de $PHOC_t$, sendo o modelo com melhor resultado de conforto térmico.

Apesar de alguns *retrofit* ultrapassarem os 80% do conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2010), nenhum deles atingiu o critério mínimo de 90% de $PHOC_t$ exigido pela INI-C, para edificações ventiladas naturalmente. Por esse motivo, foi necessário utilizar a climatização híbrida para suprimir as horas não atendidas pela ventilação natural.

O Modelo 35 (mod. 35) teve como base o modelo real, com acréscimo da climatização híbrida. Segundo o *EnergyPlus*, para manter os ambientes com temperatura de 24°C, esse modelo consumiu 96.052,30 kWh/ano de energia primária. Uma vez que esse consumo fica no intervalo entre 88.748,11 kWh/ano e

99.142,03 kWh/ano, seu nível de desempenho energético foi “B”. Visando alcançar o nível “A”, foram usados os mesmos critérios de modificação dos modelos ventilados naturalmente. A Tabela 21 mostra as características modificadas dos *retrofits*. O gráfico da Figura 30 mostra a relação entre o consumo de energia de aquecimento, resfriamento e *fans* (ventiladores das unidades internas Split) dos modelos com climatização híbrida. Já o gráfico da Figura 31 mostra o consumo primário de energia.

Nome do modelo	Cor parede	Cor cobertura	Isolamento cobertura	Climatização
Modelo 35	Real	Real	Sem	Híbrida
Modelo 36	Branca	Real	Sem	Híbrida
Modelo 37	Preta	Real	Sem	Híbrida
Modelo 38	Real	Branca	Sem	Híbrida
Modelo 39	Real	Preta	Sem	Híbrida
Modelo 40	Branca	Branca	Sem	Híbrida
Modelo 41	Branca	Preta	Sem	Híbrida
Modelo 42	Preta	Branca	Sem	Híbrida
Modelo 43	Preta	Preta	Sem	Híbrida
Modelo 44	Real	Real	1cm lã-de-vidro	Híbrida
Modelo 45	Real	Real	5cm lã-de-vidro	Híbrida
Modelo 46	Preta	Real	1cm lã-de-vidro	Híbrida
Modelo 47	Branca	Real	1cm lã-de-vidro	Híbrida
Modelo 48	Preta	Real	5cm lã-de-vidro	Híbrida
Modelo 49	Branca	Real	5cm lã-de-vidro	Híbrida

Tabela 21 - Modificações do Casarão 2: climatização híbrida

Fonte: Autora

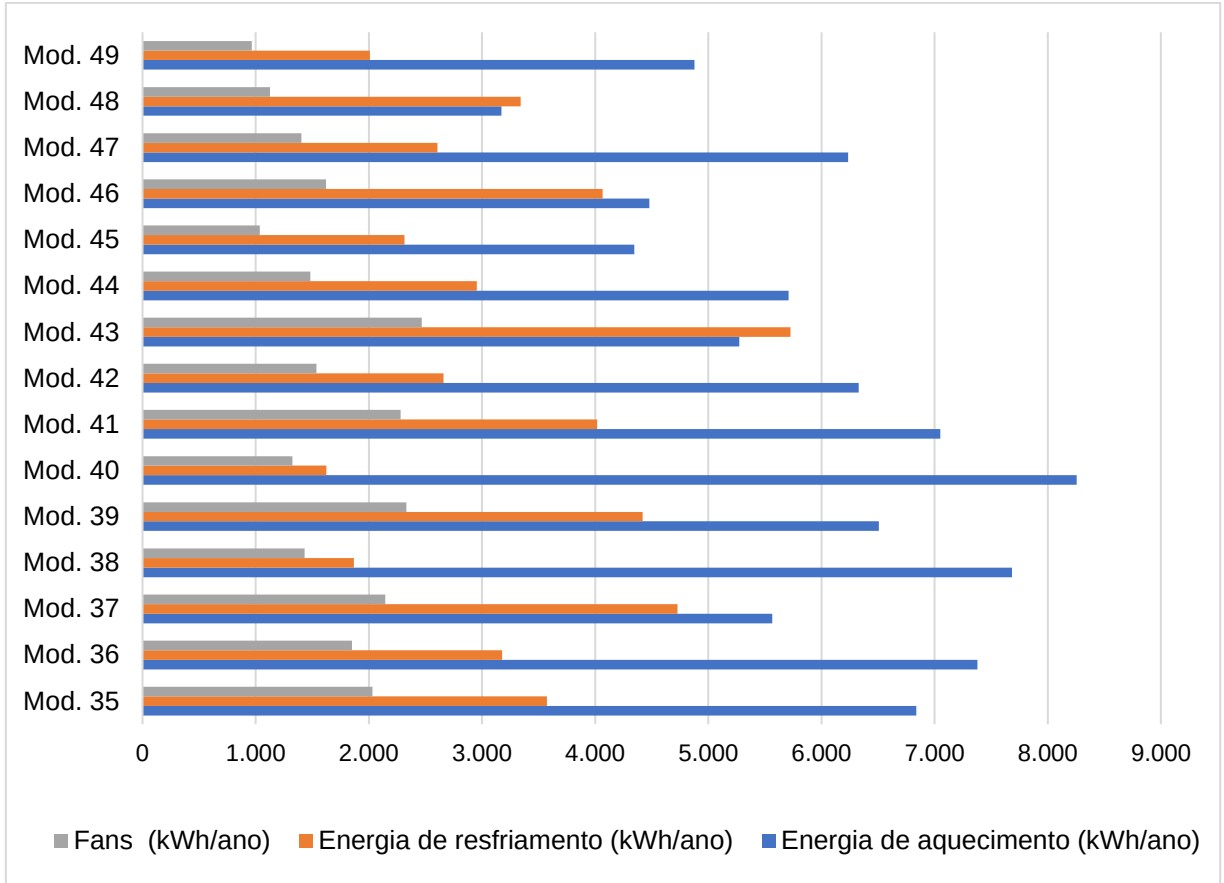


Figura 30 - Gráfico de consumo de energia
Fonte: Autora

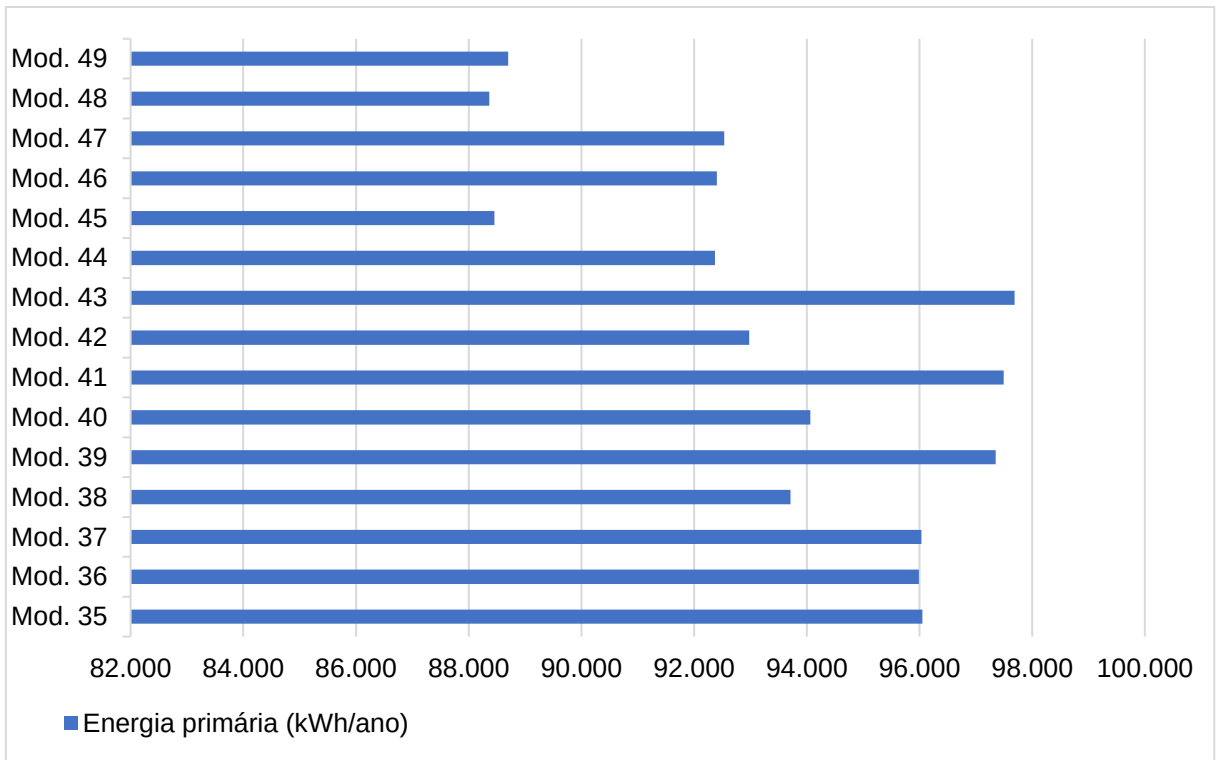


Figura 31 - Gráfico de consumo de energia primária
Fonte: Autora

A Tabela 22 mostra os resultados do consumo de energia e classe energética conforme dos *retrofits*.

Modelo	Energia de aquecimento (kWh/ano)	Energia de resfriamento (kWh/ano)	Fans (kWh/ano)	Energia primária (kWh/ano)	Classe energética
Modelo 35	6.839,94	3.575,06	2.031,75	96.052,30	B
Modelo 36	7.378,03	3.177,35	1.850,77	95.987,34	B
Modelo 37	5.564,29	4.727,22	2.145,39	96.036,54	B
Modelo 38	7.684,01	1.867,11	1.432,28	93.710,94	B
Modelo 39	6.506,88	4.418,96	2.332,21	97.350,38	B
Modelo 40	8.254,58	1.624,78	1.323,65	94.062,32	B
Modelo 41	7.050,99	4.016,76	2.282,05	97.497,18	B
Modelo 42	6.330,01	2.659,78	1.535,72	92.978,32	B
Modelo 43	5.274,89	5.726,96	2.467,72	97.688,82	B
Modelo 44	5.710,39	2.954,32	1.482,85	92.373,60	B
Modelo 45	4.346,58	2.315,97	1.036,95	88.456,70	A
Modelo 46	4.479,51	4.065,65	1.622,87	92.406,35	B
Modelo 47	6.236,73	2.607,00	1.405,18	92.535,76	B
Modelo 48	3.172,39	3.342,34	1.127,09	88.364,42	A
Modelo 49	4.877,71	2.009,04	965,28	88.700,75	A

Tabela 22 - Classificação do desempenho energético dos modelos PTHP

Fonte: Autora

Dentre as propostas de *retrofit* com climatização híbrida, os Modelos 45, 48 e 49 apresentaram consumo de energia primária inferior a 88.748,11kWh/ano, sendo classificados no nível A da INI-C. Quando esses três modelos foram analisados, percebeu-se que a melhor intervenção foi a aplicação de 5cm de lã de vidro na cobertura. Como o Casarão 2 sofre de desconforto por frio, a climatização híbrida trabalha mais para aquecer a edificação. Conforme mostrado na Tabela 22, o consumo de aquecimento foi o dobro do consumo de resfriamento. Uma vez a edificação aquecida, foi necessário manter o calor no seu interior. Sendo a cobertura o elemento de área elevada e alta transmitância térmica, quando sua inércia térmica foi aumentada através do isolante, diminuiu-se o consumo de energia para manter a edificação em conforto. Isso foi comprovado comparando os Modelos 35 e 45.

Pintar as paredes, nessa etapa, não provocou mudanças significativas no consumo final de energia. Quando uma cor diminuía o consumo de energia de aquecimento, aumentava, ao mesmo tempo, no consumo de resfriamento, e o contrário também acontecia. Ao colocar o isolamento na cobertura, notou-se que a troca de cor nas paredes influenciou menos de 0,5% no consumo final de energia. Isso ocorreu porque as paredes 2 possuem uma grande massa térmica, dificultando as trocas térmicas entre o ambiente interno e externo. Ou seja, no caso do Casarão

2, a climatização híbrida, a qual só foi acionada quando a ventilação natural não alcançava o $PHOC_t$ recomendado da INI-C, torna mais importante isolar a edificação, aumentando assim a sua inércia térmica, do que utilizar estratégias para controlar a absorção de radiação solar na envoltória.

4.1.4. Análise da otimização para critérios mínimos da *EnerPHit Standard*

Normalmente as edificações analisadas pela *EnerPHit Standard* utilizam o sistema de ventilação mecânica, com recuperação de calor (MVHR) como mecanismo de climatização. Levando isso em consideração, o Modelo 50 foi simulado, tendo como base o modelo real, com acréscimo do MVHR. Ao término da simulação, obteve-se 102,89 kWh/(m².ano) de consumo de energia primária, 8,84 kWh/(m².ano) de consumo de aquecimento, 7,33 kWh/(m².ano) de consumo de resfriamento e 1% de sobreaquecimento. Ou seja, esse modelo ficou dentro dos requisitos mínimos da EnerPHit - consumo de energia primária inferior a 120 kWh/(m².ano), consumo de aquecimento inferior a 15 kWh/(m².ano), e sobreaquecimento inferior a 10% das horas do ano. Todavia, mesmo esse sistema apresentando elevada eficiência energética, ele aumentou em 6% o consumo de energia primária, se comparado com o modelo com climatização híbrida. Esse aumento deixa a edificação com consumo de energia primária entre 99.142,03 kWh/ano e 109.535,95 kWh/ano, deixando a edificação no nível C da INI-C. Isso ocorre, pois o MVHR, apesar do seu sistema eficiente, fica trabalhando durante todas as horas do ano, aumentando significativamente o consumo de energia para deixar o Casarão 2 em conforto térmico. Já no sistema com climatiza híbrida, a parte que consome energia só foi ligada quando a ventilação natural não alcançava o conforto térmico.

Contudo, como o Casarão 2 ou está localizado na zona climática quente ou pode ter sua zona definida como normal, devido à proximidade climática com o Uruguai, como explicado no item 2.2.2, o uso do MVHR não é obrigatório. Devido a isso, analisaram-se os modelos com sistema de climatização híbrida para averiguar se tais modelos poderiam ser certificados pela *EnerPHit*. O Modelo 35 (modelo real com climatização híbrida) apresentou 97,16 kWh/(m².ano) de consumo de energia primária, 6,92 kWh/(m².ano) de consumo de aquecimento, e 3% de sobreaquecimento. Com esses resultados, constatou-se que o Casarão 2 pode receber a certificação *EnerPHit Standard*, tanto considerando sua zona quente

quanto normal. Isso ocorre, pois apenas com o acréscimo da climatização híbrida na edificação real já foi possível atender os critérios mínimos da *EnerPHit*, não sendo necessário realizar outras alterações.

Comparando a *EnerPHit Standard* e a INI-C, foi possível verificar que mesmo um modelo atingindo os critérios de uma certificação, isso não significa que vai atender a outra. Isso foi mostrado através do Modelo 35, o qual atingiu os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*, mas alcançou eficiência energética de nível “B” da INI-C. Já os modelos que atingiram o nível “A” da INI-C apresentaram consumo de energia primária inferior a 90 kWh/(m².ano), podendo serem certificados pela *EnerPHit*. Em termos de eficiência energética, pode-se concluir que atender o nível “A” da INI-C foi mais eficiente que atender aos critérios mínimos da *EnerPHit*. Cabe ressaltar, ainda, que o fato de termos um sistema de ventilação híbrida, observando os requisitos da INI-C, pressupõe um controle rigoroso na abertura e fechamento de janelas, ou seja, mecanização do sistema. Esta mecanização não foi considerada nas análises de custos. Nesse sentido, sem a mecanização é possível que a energia primária fosse superior ao estimado pelo *EnergyPlus*.

4.2. Análise do *payback*

4.2.1. Análise do orçamento

Todas as modificações realizadas para os *retrofits* exigem custos, seja a otimização para melhorar o conforto térmico do Casarão 2, seja para diminuir o consumo de energia. Nessa etapa foi analisado o custo das 5 soluções de *retrofit*, os quais apresentaram os melhores resultados de consumo de energia e conforto térmico. A configuração do envelope e do sistema de climatização dessas soluções é apresentada na Tabela 23.

Mod.	Parede	Cobertura		Vidro	Sist. de climatização			Conf. term. (%)	EP (kWh/ano)
	Cor	Cor	Iso. (mm)		Per.	SP (°C)	Tipo		
Mod. 27	Preta	Cerâm.	200	Duplo	24h	24	VN	82%	47.585,94
Mod. 30	Preta	Preta	200	Duplo	24h	24	VN	82%	47.585,94
Mod. 32	Preta	Cerâm.	150	Duplo	24h	24	VN	82%	47.585,94
Mod. 33	Preta	Cerâm.	150	Duplo	24h	24	VN	81%	47.585,94
Mod. 35	Azul claro	Cerâm.	-	Simples	24h	20-26	VH	-	96.052,30
Mod. 45	Azul claro	Cerâm.	50	Simples	24h	20-26	VH	-	88.456,70
Mod. 48	Preta	Cerâm.	50	Simples	24h	20-26	VH	-	88.364,42
Mod. 49	Branca	Cerâm.	50	Simples	24h	20-26	VH	-	88.700,75
Mod. 50	Azul claro	Cerâm.	-	Simples	24h	20-26	MVHR	-	101.716,00

Legenda:

Conf. term.: Conforto térmico (%)

EP: Energia primária (kWh/ano)

Iso: Isolamento (mm)

Per: Período

Sist. de climatização: Sistema de climatização

SP: Setpoint (°C)

Tabela 23 - Descrição das soluções para análise da viabilidade econômica

Fonte: Autora

O orçamento foi efetuado com somatório entre os custos diretos dos serviços realizados em cada *retrofit*. Para isso, foi realizado um levantamento quantitativo de todos os serviços e materiais. Depois, calculou-se os custos unitários dos serviços de acordo com o TCPO e as tabelas do SINAPI. A Tabela 24 mostra a relação desses custos e seus quantitativos.

Descrição dos Serviços		Custo unitário	Quantidade	Custo total
Revestimentos	Pintura tipo caiação três demãos – paredes externas	R\$7,33 (m²)	1.460,73 m²	R\$10.707,15
	Pintura tipo caiação três demãos – cobertura	R\$7,33 (m²)	565,48 m²	R\$4.144,97
	Isolamento térmico em laje empregando manta de fibra de vidro e=50 mm	R\$40,13 (m²)	565,48 m²	R\$22.692,71
	Isolamento térmico em laje empregando manta de fibra de vidro e=150 mm	R\$118,02 (m²)	565,48 m²	R\$66.737,95
	Isolamento térmico em laje empregando manta de fibra de vidro e=200 mm	R\$156,97 (m²)	565,48 m²	R\$88.486,40
	Vidro Duplo	R\$269,01 (m²)	151,28 m²	R\$40.695,83
Equipamentos	Condensador de ar Split 12000 BTUs	R\$2.439,73(un.)	10 un.	R\$24.397,30
	Duto flexível isolado termicamente com lã de vidro	R\$60,35 (m)	210 m	R\$12.673,50

Tabela 24 - Levantamento quantitativo dos materiais

Fonte: Autora

O MVHR (*Duplexvent Flexi DV 2006*) foi importado, sendo necessário calcular as taxas de importação através do Simulador de Tratamento Tributário e Administrativo das Importações, referente ao mês de dezembro de 2019. A Figura 32 mostra os resultados das taxas de importação segundo esse simulador, confirmando que apenas o mecanismo do MVHR utilizado neste trabalho custa R\$39.454,21. Acrescentou-se a esse valor o custo da instalação dos dutos flexíveis para a passagem do ar. Ao final, todo o sistema MVHR custou R\$52.127,71.

■ Dados da Simulação

Código NCM		8543.70.99	
Descrição NCM		OUTROS	
Taxa de Câmbio do Dia 31/12/2019		R\$ 5,2883	
Valor Aduaneiro Convertido		R\$39.454,21	
Alíquota II (%)	12,00	Tributo II	R\$ 4.734,50
Alíquota IPI (%)	10,00	Tributo IPI	R\$ 4.418,87
Alíquota PIS (%)	2,10	Tributo PIS	R\$ 828,54
Alíquota COFINS (%)	9,65	Tributo COFINS	R\$ 3.807,33

As alíquotas podem ser preenchidas manualmente e os tributos recalculados

Figura 32 - Tratamento tributário e administrativo da importação do sistema MVHR

Fonte: Receita Federal, Ministério da Fazenda, 2019

Com os quantitativos e os custos unitários dos serviços, foi possível obter o custo final de cada solução *retrofit*. A Tabela 25 mostra o custo de cada serviço e o custo total de cada modificação nos *retrofit*.

Descrição dos Serviços		B-4	B-5		B-6	B-8	Investimento total
		Janelas	Isolamento térmico – lã-de-vidro	Pintura externa cobertura – tipo caiação	Pintura externa parede – tipo caiação	Sistema de climatização	
C U S T O R \$	Modelo 27	40.695,83	88.486,40	-	10.707,15	-	139.889,40
	Modelo 30	40.695,83	88.486,40	4.144,97	10.707,15	-	144.034,40
	Modelo 32	40.695,83	66.737,95	-	10.707,15	-	118.140,90
	Modelo 33	40.695,83	66.737,95	-	10.707,15	-	118.140,90
	Modelo 35	-	-	-	-	24.397,30	24.397,30
	Modelo 45	-	22.692,71	-	-	24.397,30	47.090,01
	Modelo 48	-	22.692,71	-	10.707,15	24.397,30	57.797,16
	Modelo 49	-	22.692,71	-	10.707,15	24.397,30	57.797,16
	Modelo 50	-	-	-	-	52.127,71	52.127,71

Tabela 25 - Orçamento dos serviços

Fonte: Autora

Nota-se que o modelo ventilado naturalmente, visando o nível A da INI-C, apresentou os maiores custos de investimento, entre R\$118.140,90 e R\$144.034,40. Isso ocorre devido à grande quantidade de isolamento térmico colocado na cobertura. Só isolando a edificação já foi o suficiente para gerar um custo mais elevado do que importar um MVHR (R\$52.127,71), cuja tecnologia não existe no Brasil. O custo dos modelos com climatização híbrida e isolamento na cobertura apresentam os menores valores, seguidos do Modelo com MVHR e, por fim, os modelos com climatização híbrida e pintura na envoltória.

O *retrofit* com menor custo de investimento foi o Modelo 45, com 5cm de lã de vidro na cobertura e climatização híbrida. Seu investimento foi R\$47.090,01, entre 67% e 60% inferior aos *retrofits* com ventilação natural de menor e mais custo, respectivamente. Além disso, esse *retrofit* possui uma economia de 10% nos custos quando comparado ao *retrofit* com MVHR.

Esses dados evidenciam dois fatos: primeiro, nem sempre investir numa solução passiva é, inicialmente, mais econômica do que num sistema mecânico. Em edificações com poucas áreas de permanência prolongada e com grande inércia térmica, a instalação do sistema de climatização artificial diminui o investimento inicial, para deixar a edificação na temperatura de conforto. Segundo, apesar da existência de tecnologias com baixo consumo de energia para trocar a temperatura

do ambiente (MVHR), devido ao preço da moeda e das taxas de importação, é mais econômico ou utilizar os sistemas de climatização artificial do próprio país, ou investir na criação desse tipo de tecnologia no Brasil.

4.2.2. Análise do *payback* simples

Nessa etapa do trabalho, foi analisada a economia de energia das oito possibilidades de *retrofits* e os seus *payback* simples. Com o objetivo de verificar a economia de energia obtida nos modelos ventilados naturalmente, com classificação nível “A” da INI-C, e atendendo os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*, utilizou-se como base de consumo de energia primária o valor do Modelo 35, o qual representou o Casarão 2 com climatização híbrida, sem outras alterações. Os resultados da economia de energia foram representados na Tabela 26.

Modelo	Energia (kWh/ano)		Custo (R\$/ano)				Economia (%)
	Consumo	Economia	Tarifa	ICMS	Total	Economia	
Mod. 27	47.585,94	48.466,36	0,52	8,535	24.847,11	25.202,51	50%
Mod. 30	47.585,94	48.466,36	0,52	8,535	24.847,11	25.202,51	50%
Mod. 32	47.585,94	48.466,36	0,52	8,535	24.847,11	25.202,51	50%
Mod. 33	47.585,94	48.466,36	0,52	8,535	24.847,11	25.202,51	50%
Mod. 35	96.052,30	0	0,52	8,535	50.049,62	0	0
Mod. 45	88.456,70	7.595,60	0,52	8,535	46.099,90	3.949,72	8%
Mod. 48	88.364,42	7.681,88	0,52	8,535	46.051,92	3.997,70	8%
Mod. 49	88.700,75	7.351,55	0,52	8,535	46.226,81	3.822,81	8%
Mod. 50	101.716,00	- 5.663,70	0,52	8,535	52.994,74	- 2.945,12	- 6%

Tabela 26 - Consumo e economia de energia dos *retrofits*

Fonte: Autora

Em seguida, foi realizado o cálculo do *payback* simples, levando em consideração o período de retorno do investimento das modificações em relação a economia de energia. O investimento foi considerado viável quando o tempo de retorno não ultrapassa a vida útil da medida de otimização. A Tabela 27, adaptada a NBR 17.575 (2013), mostra a vida útil de cada modificação. Visando que todos os *retrofits* estejam dentro de vida útil, foi escolhida como parâmetro norteador a modificação com o menor tempo de vida útil. Uma vez que todos os *retrofits* apresentam ou pintura ou equipamentos de condicionamento de ar, adotou-se 8 anos como tempo de vida útil.

Parte da edificação	Exemplos	Vida Útil (ano)	
		Mínimo	Superior
Pintura	Pintura de fachada, pinturas revestimentos sintéticos texturizados	≥ 8	≥ 12
Impermeabilização manutenível apenas com a quebra dos revestimentos	Impermeabilização de áreas internas, de piscina, de áreas externas com pisos, de coberturas utilizáveis, de rampas de garagem, etc.)	≥ 20	≥ 30
Esquadrias externas	Janelas, (componentes fixos e móveis), portas balcão, gradis, grades de proteção, cobogós, brises. Incluso complementos de acabamento como peitoris, soleiras, pingadeiras e ferragens de manobra e fechamento	≥ 20	≥ 30
Equipamentos funcionais manuteníveis e substituíveis	Equipamentos de recalque, pressurização, aquecimento de água, condicionamento de ar, filtragem, combate a incêndio e outros.	≥ 8	≥ 12

Tabela 27 - Vida útil da modificação

Fonte: Adaptado da NBR 15575 (2013)

Segundo a Tabela 28, a qual mostra os resultados do *payback* simples de cada *retrofit*, os modelos 48 e 49 não foram considerados economicamente viáveis, pois ultrapassam 14 anos de tempo de retorno do investimento. A princípio, o Modelo 45 também não foi considerado economicamente viável, pois possui seu *payback* simples de quase 12 anos, estando superior ao limite de 8 anos estabelecido neste trabalho. Todavia, levando em consideração a Tabela 27, os equipamentos de condicionamento de ar possuem como limite superior de vida útil 12 anos, podendo, assim, enquadrar o Modelo 45 como economicamente viável. O Modelo 50, com MHVR, não foi considerado economicamente viável, pois o seu consumo de energia foi mais elevado do que o consumo de energia do modelo usado como referência na análise (Modelo 35).

Modelo	Investimento inicial (R\$)	Economia de energia (R\$/a)	Payback simples (ano)	Vida útil (ano)	
				Mínimo	Superior
Modelo 27	139.889,40	25.202,51	5,56	PB < 8	PB < 12
Modelo 30	144.034,40	25.202,51	5,72	PB < 8	PB < 12
Modelo 32	118.140,90	25.202,51	4,69	PB < 8	PB < 12
Modelo 33	118.140,90	25.202,51	4,69	PB < 8	PB < 12
Modelo 35	24.397,30	0	0	-	-
Modelo 45	47.090,01	3.949,72	11,92	PB > 8	PB < 12
Modelo 48	57.797,16	3.997,70	14,46	PB > 8	PB > 12
Modelo 49	57.797,16	3.822,81	15,12	PB > 8	PB > 12
Modelo 50	52.127,71	- 2.945,12	-	-	-

Tabela 25 - Payback simples

Fonte: Autora

Apesar do grande investimento inicial, os *retrofits* que se utilizam apenas de estratégias passivas para garantirem o conforto térmico no interior do Casarão 2

foram considerados economicamente viáveis. Como mostra a Tabela 28, os modelos 27, 30, 32 e 33, apresentam *payback* inferior a 6 anos, estando abaixo do limite de 8 anos considerado viável.

Comparando os resultados de *payback*, foi possível constatar que, apesar do grande investimento inicial, as estratégias passivas possuem o menor tempo de retorno, se comparada às estratégias que misturam estratégias passivas com ativas. Esse resultado foi possível devido à possibilidade de ultrapassar 80% de $PHOC_T$ sem aumentar o consumo de energia para a climatização.

A maioria dos *retrofits* que misturam sistemas ativos e passivos, climatização híbrida, apresentaram tempo de retorno dos investimentos mais elevados do limite de 8 anos, não sendo considerados economicamente viáveis. Isso ocorre pelo aumento no consumo de energia do PTHP desse sistema, o qual mantém a edificação em conforto térmico devido às limitações da ventilação natural. A exceção disso foi o Modelo 45, que pode ou não ser considerado viável, dependendo do limite superior ou mínimo da vida útil a ser considerado.

Já o modelo com MVHR, mostrou que não foi viável importar o MVHR para a climatização do Casarão 2. Além do alto custo inicial, causado pelas altas taxas de importação e o preço da moeda, esse sistema aumenta consideravelmente o consumo de energia. Uma vez que o MVHR não utiliza a climatização natural em nenhuma hora para proporcionar os níveis de conforto térmico, o seu consumo de energia será mais elevado do que a climatização híbrida.

4.3. Análise do impacto das modificações dos *retrofits* na edificação histórica

O *retrofit* energético visa: à valorização da massa térmica da envoltória; ao incremento na resistência térmica dos componentes opacos; ao uso de esquadrias com alto desempenho; e a sistemas de condicionamento eficientes. Ou seja, é necessário modificar, em algum nível, a envoltória da edificação. Para essas modificações serem consideradas viáveis em uma edificação histórica, elas devem ser reversíveis e causarem mínima descaracterização arquitetônica e mínima perda do material histórico. As modificações utilizadas nos *retrofits* deste trabalho foram: cor branca nas paredes, cor preta nas paredes, lã de vidro na cobertura, vidro duplo nas esquadrias, implementação do PTHP, para a climatização híbrida, e MVHR.

A pintura nas paredes do Casarão 2 são consideradas viáveis no quesito de retrabalhabilidade e conservação do material histórico, uma vez que não há perdas materiais na envoltória com essa intervenção. Todavia, pode haver um impacto visual na percepção da edificação, dependendo da cor aplicada nas paredes. A cor branca não altera a percepção do Casarão 2, uma vez que sua cor predominante nos últimos anos foi azul claro, podendo ser confundido com branco, dependendo da distância do observador. Além disso, o seu entorno é marcado por construções de cores quentes e/ou claras, não destacando a edificação do seu entorno histórico. Já a cor preta provoca um forte impacto visual na edificação, uma vez que nunca foi utilizada em seu processo de restauro e revitalização. Ademais, essa cor acabaria por destacar o Casarão 2 do seu entorno imediato, em consequência da palheta de cores presentes nas demais edificações históricas do entorno. Esse destaque na cor pode provocar a percepção de segregação entre as construções, que deveriam fazer parte de um conjunto. Ou seja, no caso deste trabalho, a cor branca nas paredes foi considerada viável, por não causar impactos visuais na percepção do Casarão 2, enquanto a cor preta foi considerada inviável.

Ao isolar a cobertura com lã de vidro, aumentando a inércia térmica da edificação, não se tem um impacto negativo nessa edificação. A lã de vidro foi colocada na parte interna da cobertura, não ficando visível na fachada. Os ambientes internos possuem forro de madeira, os quais encobrem as estruturas da cobertura, escondendo, assim, a aplicação da lã de vidro na parte interna da cobertura. Ou seja, essa modificação, além de ser reversível, também não gera impara visual na edificação.

A aplicação inadequada do vidro duplo nas esquadrias descaracteriza a obra e provoca perda do material histórico. As esquadrias originais, feitas de madeira e vidro simples, não possuem caixilhos adequados para serem transformadas em esquadrias duplas. A troca de esquadrias gera perda das esquadrias originais em bom estado de conservação e podem confundir a percepção do usuário perante a originalidade delas, podendo gerar o falso histórico. Uma alternativa para ambos os problemas é manter a esquadria original na parte externa e aplicar a nova (com vidro duplo) na parte interna da envoltória, entre a janela original e o postigo. Assim, é mantida a esquadria original do Casarão 2, ao mesmo tempo em que se melhora o isolamento, através da nova esquadria. Apesar de gerar certo impacto visual na

parte interna, a fachada externa da edificação não sofre impacto visual e essa modificação pode ser retrabalhada.

Em relação à climatização artificial (PTHP e MVHR), apesar de sua implementação ser um processo reversível, pode gerar perda de material histórico, causada pela instalação da tubulação. As unidades externas desse sistema também podem descaracterizar a edificação, devido ao seu volume e material. Para minimizar esses impactos, recomenda-se duas estratégias: primeiro, a passagem de tubulação deve ser feita em áreas onde não haja material histórico original, para causar o menor impacto aos elementos internos da edificação. Segundo, deve-se definir uma área imperceptível aos olhos do usuário na rua para as unidades externas desse sistema, diminuindo, assim, o impacto visual.

Dos modelos de *retrofit* realizados neste trabalho, os modelos 27, 30, 32, 33 e 48 não foram considerados viáveis, pois a cor preta nas paredes gera forte impacto visual na percepção do Casarão 2. Em contrapartida, os modelos 45, 49 e 50 foram considerados viáveis, pois não provocam impactos visuais ou estéticos, geram perda mínima do material histórico e podem ser retrabalhados.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de analisar as possibilidades do *retrofit* energético em um edifício histórico, sob a ótica do patrimônio histórico, eficiência energética e viabilidade econômica. A análise de desempenho energético foi feita visando atender à classificação ao nível “A” do INI-C (atualização do RTQ-C) e à normativa alemã de *retrofit EnerPHit Standard*, para o contexto da zona bioclimática 2 do Brasil. A viabilidade econômica analisou o tempo de retorno do investimento, considerando a vida útil das soluções propostas. Já a análise histórica visou averiguar a influência das modificações dos *retrofits* no envelope histórico do Casarão 2.

Dentro de uma análise geral, foi possível dizer que o Casarão 2 possui um comportamento térmico adequado, apresentando 67% das horas ocupadas em conforto térmico. Essa afirmação leva em consideração os limites do conforto adaptativo para a ASHRAE 55 (2010). Os 28% de desconforto por frio foi provocado por dois fatores: a grande inércia térmica das paredes, diminuindo as trocas térmicas entre o ambiente interno e externo; e o uso da edificação, que proporciona poucas áreas de permanência prolongada e, conseqüentemente, pouca produção de calor interno, proveniente de ocupação, atividade e equipamentos.

A edificação condicionada naturalmente foi examinada para averiguação do seu nível de eficiência energética, pelo método de simulação computacional da INI-C. O processo englobou a avaliação do $PHOC_T$. Caso a edificação alcançasse os 90% $PHOC_T$ exigidos pela INI-C, a edificação seria classificada no nível A. Caso contrário, deve-se implementar a climatização híbrida e analisar o consumo de energia da edificação. Em relação ao objeto de estudo deste trabalho, as poucas áreas de permanência contribuem significativamente para a diminuição da produção de calor interno e aumentam o desconforto por frio, diminuindo o nível de classificação.

As propostas dos modelos 3 a 34 foram sugeridas e analisadas pensando em estratégias para alcançar os 90% $PHOC_T$ da INI-C, para modelos com climatização completamente natural. Para tanto, foram simuladas soluções que contribuíssem para o aquecimento da edificação, como a troca de cor, e aumentassem a inércia térmica da envoltória, isolamento da cobertura e troca das esquadrias por outras mais eficientes. As melhores propostas foram os Modelos 27,

30 e 32, com 82% de $PHOC_T$. Apesar de esses modelos estarem dentro dos 80% de conforto, recomendado pelo modelo adaptativo da ASHRAE 55 (2010), eles não alcançam os 90% da INI-C, sendo necessária a implementação da climatização híbrida e análise do consumo de energia para averiguar a classe energética. Ademais, esses três modelos geraram um grande impacto visual no Casarão 2, por apresentarem a pintura preta nas paredes como proposta para aquecer passivamente a edificação. No caso desta pesquisa, esses modelos e qualquer outro que apresentem cor preta nas paredes, não podem ser considerados viáveis, mesmo tendo como justificativa o aumento significativo do conforto térmico, pois causa um grande impacto visual na edificação. Esse impacto não está apenas relacionado ao fato do Casarão 2 não possuir uma cor escura inicialmente, mas também ao fato das edificações do seu entorno histórico possuírem cores quentes e claras. Ou seja, pintar o Casarão 2 de preto acaba separando-o do conjunto histórico edificado em que se encontra.

Como não foi possível atingir os 90% da INI-C para edificações com climatização completamente natural, foi analisada a edificação real, com acréscimo da climatização híbrida. Com a simulação, constatou-se que a edificação apresentava nível B da INI-C, por possuir consumo de energia primária entre 88.748,11 kWh/ano e 99.142,03 kWh/ano. Segundo o método de avaliação de desempenho energético da INI-C, através da simulação computacional, essa edificação só poderia ser classificada no nível A se apresentasse consumo de energia primária inferior a 88.748,11 kWh/ano. Os modelos 35 a 49 foram desenvolvidos visando esse nível de eficiência. Dos modelos propostos, os Modelos 45, 48 e 49 apresentaram, respectivamente, consumo de energia primária de 88.456,70 kWh/ano, 88.364,42 kWh/ano e 88.700,75 kWh/ano, sendo classificados no nível A. Todavia, o Modelo 48 foi excluído de ser viável, em consequência da aplicação de pintura preta nas paredes externas. Os modelos 45 e 49 foram os modelos que menos causaram impactos visuais na envoltória da edificação, sendo considerados viáveis em termos de consumo de energia e preservação do patrimônio histórico.

Os modelos também foram analisados pela certificação alemã de *retrofit EnerPHit Standard*. Inicialmente, utilizou-se o MVHR como sistema de climatização, representado pelo Modelo 50, pois é o sistema mais utilizado nessa certificação. Como resultado da simulação, foi mostrado que apenas com a implementação do

MVHR o Modelo 50 já atingiu 102,89 kWh/(m².ano) de consumo de energia primária, 8,84 kWh/(m².ano) de consumo de aquecimento, 7,33 kWh/(m².ano) de consumo de resfriamento e 1% de sobreaquecimento, atingindo os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*. Todavia, esse modelo demonstrou que o MVHR aumentou substancialmente o consumo de energia primária, diminuindo, assim, a classe de eficiência energética da edificação para o nível C da INI-C. Como esse sistema não é obrigatório para as zonas climáticas normais e quentes, estipuladas pela *EnerPHit*, também foi analisado os modelos com climatização híbrida e ventilados naturalmente sobre a ótica da *EnerPHit*. Os modelos ventilados naturalmente não atingiram a *EnerPHit*, devido a 28% das horas em desconforto por frio. Já os modelos com climatização híbrida atingiram todos os critérios mínimos para as zonas climáticas quentes e normais – consumo de energia primária inferior a 120 kWh/(m².ano), consumo de aquecimento inferior a 15 kWh/(m².ano), e sobreaquecimento inferior a 10% das horas do ano. Com isso, foi possível constatar que todas as soluções nível “A” da INI-C atendem aos critérios da *EnerPHit Standard*, proporcionando redução no consumo de energia em relação ao modelo de referência com climatização híbrida. Todavia, o contrário não é recíproco. Além disso, foi possível constatar que, para a zona climática quente e normal, o MVHR não foi considerado uma solução viável em relação à economia de energia. Ou seja, mostrou que é mais viável investir na climatização híbrida do que em mecanismos com alta eficiência energética, mas que não utilizam a ventilação natural em algum momento do seu funcionamento.

As análises de *payback* simples para os modelos completamente ventilados naturalmente, em relação ao modelo real com climatização híbrida, apresentaram os menores tempo de retorno do investimento, levando em consideração a economia de energia. Esses valores variaram entre 4 e 5 anos, estando dentro da vida útil das modificações (8 e 12 anos) propostas nesse trabalho. A maioria dos modelos que apresentaram algum sistema mecânico ativo mostraram tempo de retorno superior à vida útil das modificações, não sendo considerados economicamente viáveis. O Modelo 45 – climatização híbrida e 5cm de lã de vidro na cobertura - apresentou quase 12 anos no retorno do investimento inicial, sendo, inicialmente, considerado economicamente inviável. Isso ocorreu porque foi adotado neste trabalho 8 anos de vida útil para modificações de climatização de ar. Todavia, levando em consideração o limite superior de vida útil desse sistema (12

anos), segundo a NBR 15575 (2013), é possível classificar esse modelo como viável. Ou seja, esse sistema pode ou não ser considerado economicamente viável, dependendo da garantia do fornecedor e os limites considerados da NBR 15575 (2013).

Analizando todos os modelos de *retrofit* energético, o Modelo 45 foi o que mais se aproximou de ser viável numa edificação histórica (Casarão 2). Sobre a ótica da eficiência energética, esse modelo atingiu tanto o nível A da INI-C quanto os critérios mínimos da *EnerPHit Standard*. Em termos de patrimônio histórico, suas modificações – PTHP e 5cm de lã de vidro – não provocam impactos visuais na fachada da edificação e podem ser retrabalhadas. Já a viabilidade econômica, apesar de não ser considerada viável no primeiro momento, pelo fato deste trabalho ter considerado o limite de *payback* simples de 8 anos, por apresentar 12 anos de retorno do seu investimento inicial, pode ser considerado viável, segundo a vida útil superior para sistemas de condicionamento de ar da NBR 15575 (2013). Ou seja, pode ser possível realizar *retrofit* energético em uma edificação histórica sem descaracterizá-la, e atingir tanto os índices de conforto quanto de viabilidade econômica.

De um modo geral, os resultados foram satisfatórios. Eles mostraram a complexa relação entre melhorar a eficiência energética de uma edificação tombada no nível 1 e manter suas características de relevância histórica. Todo *retrofit* vai alterar, em algum nível, a envoltória da edificação histórica. O importante nas edificações tombadas no nível 1 é essa alteração não causar impactos visuais ou causar perda de material histórico na envoltória.

Também foi constatado que é comum o *retrofit* em edificações históricas desfavorecer uma das seguintes vertentes: eficiência energética; preservação do patrimônio histórico; e viabilidade econômica. No caso do Casarão 2, isso foi evidenciado nos modelos analisados. As propostas de modelos ventilados naturalmente apresentaram alta eficiência energética e *payback* simples curto. Todavia, esses modelos descaracterizavam a edificação histórica, não sendo considerados viáveis. Os modelos que atingiram o nível A da INI-C e a *EnerPHit Standard* apresentaram os menores impactos visuais e estruturais na edificação, e mostraram alta eficiência energética. Contudo, o *payback* simples desses modelos não foram considerados economicamente viáveis, pois ultrapassavam a vida útil de suas modificações. Entretanto, através do modelo 45, foi possível constatar que

arrumar um equilíbrio entre essas vertentes não é impossível. Ou seja, esse modelo demonstrou que há a possibilidade do *retrofit* energético ser viável em edificações históricas, sendo necessário mais estudos futuros sobre esse tema, com diferentes edificações e propostas de *retrofit* para se chegar a um veredito mais sólido.

5.1. Limitações do trabalho

Como limitação do trabalho, destaca-se a padronização dos elementos construtivos do Casarão 2, pois não foi possível fazer um ensaio técnico para averiguar as propriedades térmicas dos materiais sem causar perda de parte da envoltória histórica. Além disso, a aquisição do material histórico foi dificultada pela falta de integração entre os setores responsáveis pela preservação do patrimônio histórico e planejamento urbano da cidade. Na escolha do objeto de estudo, muitos dos edifícios analisados foram descartados pela falta do projeto arquitetônico, que foram perdidos entre os setores mencionados anteriormente. Um segundo aspecto limitante foi a ausência do orçamento de uma possível mecanização da abertura de janelas, considerando a melhor performance de um sistema híbrido de climatização artificial no Casarão 2 (Ventilação natural e ar condicionado).

5.2. Trabalhos futuros

O estudo desenvolvido analisou a aplicação da INI-C e *EnerPHit* em uma edificação histórica na zona bioclimática 2. Todavia, ainda é necessário ampliar a discussão sobre *retrofit* energético nas demais zonas bioclimáticas brasileiras.

Foi utilizado como objeto de estudo uma edificação histórica de nível 1, portanto, sugere-se o desenvolvimento de novos estudos utilizando edificações inventariadas em diferentes níveis de proteção do patrimônio histórico, com diferentes usos, a fim de gerar mais conhecimentos sobre a integração entre as políticas de preservação do patrimônio histórico e as políticas de conservação de energia.

Referências

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (AIE) (a). Energy consumption: electricity final by sector. **Data and statistics IEA**, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=Electricity%20final%20consumption%20by%20sector>. Acesso em: 01 jan. 2020.

_____. (b). CO2 emissions: CO2 emissions by sector. **Data and statistics IEA**, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2%20emissions%20by%20sector>. Acesso em: 01 jan. 2020.

AGOSTINO, D. D'; ROSSI, F.; MARINO, C.; MINICHIELLO, F.; RUSSO, F. Energy retrofit of historic buildings in the Mediterranean area: the case of the Palaeontology museum of Naples. **Energy procedia**, Itália, v. 133, p. 336-348, 2017

ALVORCEM, C. I. V. **Análise da relação do patrimônio arquitetônico com a eficiência energética em edifícios históricos em Santa Maria, RS**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

ARUMAGI, E.; MANDEL, M.; KALAMEES, T. Method for assessment of energy retrofit measures in milieu valuable buildings. **Energy Procedia**, Estonia, v. 78, p. 1027-1032, 2015.

ASCIONE, F.; BIANCO, N.; MAIS, R. F.; ROSSI, F. Energy retrofit of an educational building in the ancient center of Benevento: feasibility study of energy savings and respect of the historical value. **Energy and Buildings**, Itália, v. 95, p. 172-183, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15220-2: 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**: ABNT, 2005.

_____. **ABNT NBR 15575: Edificações habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **ABNT NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários parte 1: projetos das instalações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BATISTA, N. N.; ROVERE, E. L. L.; AGUIAR, J. C. R. Energy efficiency labeling of buildings: Na assessment of the Brazilian case. **Energy and Buildings**, Brasil, v. 43, n. 6, p. 1179-1188, 2011

BELLIA, L.; ALFANO, F. R. A.; GIORDANO, J.; IANNIALLO, E.; RICCIO, G. Energy requalification of a historical building: a case study. **Energy and buildings**, Itália, v. 95, p. 184-189, 2015.

BOARIN, P.; GUGLIELMINO, D.; PISELLO, A. L.; COTANA, F. Sustainability assessment of historic buildings: lesson learnt from an Italian case study through LEED rating system. **Energy Procedia**, Itália, v. 61, p. 1029-1032, 2014.

BRASIL. Constituição federal (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF; Senado Federal, 1988.

BRASIL. Decreto nº 25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional, **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, 30 nov. 1937. Seção 1, p. 24056.

_____. Decreto nº 6.514, de 22 de julho 2008. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências, **Diário Oficial da União**, Rio de Janeiro, 22 jul. 2008.

BROSTROM, T.; ERIKSSON, P.; LIU, L.; ROHDIN, P.; STAHL, F.; MOSHFEGH, B. A method to assess the potential for and consequences of energy retrofits in swedish historic building. **The historic environment: policy & practice**, Suécia, v. 5, 2014.

CARO, R.; SENDRA, J. J. Evaluation of indoor environment and energy performance of dwellings in heritage buildings: The case of hot summers in historic cities in Mediterranean Europe. **Sustainable cities and society**, Espanha, v. 52, 2020.

CENTRAL VENTILATIONS LTD. What is MVHR. [s. l.]. Disponível em: <https://www.centralventilations.com/what-is-mvhr>. Acesso em: 3 jan. 2020.

CENTRO DE INFORMAÇÕES DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O BRASIL (UNIC Rio). Agenda 30. In: Cúpula das nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável. [s. l.] Estados Unidos da América, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 18 ago. 2018.

CIRAMI, S.; EVOLA, G.; GAGLIANO, A.; MARGANI, G. Thermal and economic analysis of renovation strategies for a historic building in Mediterranean area. **Buildings**, Itália, v. 7, 2017.

CUNHA, E. G.; MONTEIRO, F. A.; VAESCONELLOS, L. **Casa 2 da Praça Coronel Pedro Osório**. Levantamento físico. 1993. Acervo físico do Núcleo de Estudos de Arquitetura Brasileira, 1993.

DUARTE, C.; MORAIS, A. Paving the way to NZEB on two historical blocks in Lisbon pombaline quarter. In: CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, 2019, Russia. **Anais eletrônicos** [...]. Portugal, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/issue/1757-899X/630/1>. Acesso em: 12 fev. 2020.

FABBRI, K. Energy incidence of historic building: leaving no stone unturned. **Journal of Cultural Heritage**, Itália, v. 14, 2013.

FERNANDES, L. O.; LABAKI, L. C. The influence of the shading of surroundings on the brazilian labeling of building energy efficiency. *In*: CONFERENCE, OPPORTUNITIES, LIMITS & NEEDS TOWARDS NA ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE ARCHITECTURE, 28., 2012, Lima. **Anais eletrônicos** [...]. Peru, 2012. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/cdd5/251842f28e0a964061d373a6c677dbf7249e.pdf?_ga=2.168640737.1542459483.1581082578-93981196.1581082578. Acesso em: 8 fev. 2019.

GALATIOTO, A.; RICCIU, R.; SALEM, T.; KINAB, E. Energy and economic analysis on retrofit actions for Italian public. **Energy**, Italia, v. 176, p. 58-66, 2019.
GONZÁLEZ, Aránzazu Galán; ZOTANO, Miguel Ángel Gómez; SWAN, William; BOUILLARD, Philippe; ELKADI, Hisham. Maturity matrix assessment: evaluation of energy efficiency strategies in Brussels historic residential stock. **Energy procedia**, Belgica, v. 11, 2017.

GRANGEIA, R. M. C. **Passivhaus em Portugal: Viabilidade econômica**. 2013. 117f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

GRYTLI, E.; KVÆRNESS, L.; ROKSETH, L. S.; YGRE, K. F. The impact of energy improvement measures on heritage buildings. **Journal of architectural conservation**, Reino Unido, v. 18, p. 89-106, 2014.

GUIMARÃES, M. E. **Uma análise para retrofit da envoltória tombada visando a eficiência energética do Aeroporto Santos Dumont – Rio de Janeiro**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. Editora Atlas S.A. 7ª Edição. São Paulo, 2007.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN)
(a). Recomendações de Paris: Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural. *In*: Convenção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural, **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1972. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Recomendacao%20de%20Paris%201972.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018.

_____. (b). Carta de restauro. **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1972. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauro%201972.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018.

_____. (c). Carta de Machu Picchu. *In*: Encontro Internacional de Arquitetos, **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1977. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Machu%20Picchu%201977.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018

_____. Carta de Veneza. *In*: II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos dos Monumentos Históricos (ICOMOS), **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1964.

Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018.

_____. **Cartas Patrimoniais IPHAN.** Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>. Acesso em: 03 jan. 2020

_____. Carta de Atenas. **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1931. Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Atenas%201931.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018

_____. Manifesto de Amsterdã. **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1975. Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Manifesto%20Amsterda%CC%83%201975.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018

_____. Normas de Quito. *In: Reunião sobre conservação e utilização de monumentos e lugares de interesse Histórico e Artístico*, **Cartas Patrimoniais IPHAN**, 1967. Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Normas%20de%20Quito%201967.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2018

KASS, K.; BLUMBERGA, A.; BLUMBERGA, D.; ZOGLA, G.; KAMENDERS, A.; KAMENDERE, E. Pre-assessment method for historic building stock renovation evaluation. **Energy Procedia**, Letônia, v. 113, p. 346-353, 2017.

KIM, S. H. Assessing the needs and gaps of building information Technologies for energy retrofit of historic buildings in the Korean context. **Sustainability**, Coréia, v. 10, 2018.

KUHL, B. M. Cesare Brandi e a teoria da restauração. **Pós** n. 21, São Paulo, 2007.

LEARDINI, P.; MANFREDINI, M. Modern housing retrofit: assessment of upgrade packages to enerphit standard for 1940-1960 state houses in auckland. **Buildings**, Nova Zelândia, v. 5, p. 229-251, 2015.

LUCCHI, E.; TABAK, M.; TROI, A. The “cost optimality” approach for the internal insulation of historic building. **Energy procedia**, Itália, v. 133, p. 412-423, 2017.

MACHADO, J. J. M. **Retrofit energético em edifícios de interesse histórico estudos de casos: edifícios modernistas em natal**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2014.

MARTÍNEZ-MOLINA, A.; TORT-AUSINA, I.; CHO, S.; VIVANCOS, J. Energy efficiency and thermal comfort in historic building: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Espanha, v. 61, p. 70-85, 2016.

MATTOS, A. D. **Como preparar orçamento de obras: dicas para orçamentistas, estudos de caso, exemplos**. Editora PINI, São Paulo, 2006.

MAZZARELLA, L. Energy retrofit of historic and existing buildings: The legislative and regulatory point of view. **Energy and Buildings**, Itália, v. 95, p. 23-31, 2014.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS (MDIC); INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Portaria nº 248, de 10 de julho de 2018**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC002520.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME); EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco energético Nacional 2010**: Ano base 2009. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **Balanco energético Nacional 2019**: Ano base 2018. Rio de Janeiro, 2019.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E GESTÃO (MPOG); SECRETARIA DE LOGÍSTICA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO (SLTI). **Instrução normativa nº 2, de 04 de junho de 2014**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.comprasgovernamentais.gov.br/index.php/legislacao/instrucoes-normativas/304-instrucao-normativa-n-2-de-04-de-junho-de-2014>. Acesso em: 02 jan. 2020.

OKUTAN, R. S.; KERSHAW, T.; FERNANDEZ, M. H.; COLEY, D. A socio-mathematical approach to exploring conflicts between energy retrofit and perceived heritage character. **Building and environment**, Reino Unido, v. 138, 2018.

PACHECO, M. T. G. **Ventilação natural e climatização artificial**: crítica ao modelo super isolado para residência de energia zero em Belém e Curitiba. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO (EPBD). Diretiva (UE) 2018/844/UE, de 30 de maio de 2018. Alteração da Diretiva 2010/31/UE relativa ao desempenho energético dos edifícios e a Diretiva 2012/27/UE sobre a eficiência energética. **Jornal oficial das Comunidades Europeias**, [s. l.], 2018

_____. Diretiva 2002/91/CE, de 16 de dezembro de 2002. Relativo ao desempenho energético dos edifícios. **Jornal oficial das Comunidades Europeias**, [s. l.], 2002

_____. Diretiva 2010/31/UE, de 19 de maio de 2010. Relativo ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). **Jornal oficial das Comunidades Europeias**, [s. l.], 2010.

_____. Diretiva 2012/27/UE, de 25 de outubro de 2012. Relativo à eficiência energética, que altera as diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. **Jornal oficial das Comunidades Europeias**, [s. l.], 2012.

PASSIVE HOUSE INSTITUTE (PHI) (a). Building Certification. **Passive House Institute**. Alemanha, 2018

_____. (b). Criteria for Passive House, EnerPHit and PHI Low Energy Building Standard. **Passive House Institute**. Alemanha, 2018.

_____. Critérios da Passive House. **Passive House Institute**. Alemanha, 2020. Disponível em: <https://passivehouse.com/>. Acesso em: 02 jan. 2020.

_____. (b). Step by Step retrofit with Passi House componentes. **Passive House Institute**. Alemanha, p. 124, 2016.

_____. EnerPHit y EnerPHit+i: Criterios de certificación para rehabilitaciones enegáricas com componentes Passivhaus. **Passive House Institute**. Alemanha, 2013.

PELOTAS. Lei nº 5.46, de 25 de julho de 2005. Reduz alíquotas do IPTU e dá outras providências. **Câmara Municipal de Pelotas**, Pelotas, RS, 2005.

_____. Lei nº 5.502, de 11 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no município de Pelotas, e dá outras providências. **Gabinete do prefeito de Pelotas**, Pelotas, RS, 2008.

PINI. **TCPO – Tabelas de Composições e Preços para Orçamentos**. 13. ed. São Paulo: PINI, 2010. 640 p. ISBN 978-85-7266-201-7

PISELLO, A. L.; PETROZZI, A.; CASTALDO, V. L.; COTANA, F. (a). On the innovative integrated technique for energy refurbishment of historical buildings: thermal-energy, economic and environmental analysis of case study. **Applied Energy**, Itália, v. 162, 2014.

_____. (b). Energy refurbishment of historical buildings with public function: pilot case study. **Energy procedia**, Itália, v. 61, 2014

RECEITA FEDERAL, MINISTÉRIO DA FAZENDA. Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das importações. Disponível em: < <http://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/>>. Acesso em: 31 dez. de 2019.

RIBEIRO, F. M. T. **Políticas públicas referentes do patrimônio cultural edificado na cidade de Pelotas, RS: o caso da isenção do IPTU**. 2013. Dissertação (Mestrado em Memória Social e Patrimônio Cultural) – Programa de Pós-graduação em Memória Social e Patrimônio Cultural, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2013.

RIO GRANDE DO SUL (RS). Lei nº 7.231, de 18 de dezembro de 1978. Dispõe sobre o Patrimônio Cultural do Estado. **IPHAE**, Porto Alegre, RS, 1978.

_____. Constituição Estadual (1989). **Constituição do estado do Rio Grande do Sul**. Texto constitucional de 3 de outubro de 1989 com as alterações adaptadas

pelas Emendas Constitucionais n.º 1, de 1991, a 73, de 2017. Rio Grande do Sul; Superintendência Legislativa, 2017.

_____. Constituição Estadual (1989). **Constituição do estado do Rio Grande do Sul**. Texto constitucional de 3 de outubro de 1989 com as alterações adaptadas pelas Emendas Constitucionais n.º 1, de 1991, a 77, de 2019. Rio Grande do Sul; Superintendência Legislativa, 2019.

_____. Lei nº 10.116, de 23 de março de 1994. Institui a Lei do Desenvolvimento urbano, que dispõe sobre os critérios e requisitos mínimos para a definição e delimitação de áreas urbanas e de expansão urbana, sobre as diretrizes e normas gerais de parcelamento do solo para fins urbanos, sobre a elaboração de planos e de diretrizes gerais de ocupação do território pelos municípios e dá outras providências. **IPHAE**, Porto Alegre, RS, 1994.

_____. Lei nº 10.116, de 23 de março de 1994. Institui a Lei do Desenvolvimento urbano, que dispõe sobre os critérios e requisitos mínimos para a definição e delimitação de áreas urbanas e de expansão urbana, sobre as diretrizes e normas gerais de parcelamento do solo para fins urbanos, sobre a elaboração de planos e de diretrizes gerais de ocupação do território pelos municípios e dá outras providências. **IPHAE**, Porto Alegre, RS, 1994.

ROBERTI, F.; OBEREGGER, U. F.; LUCCHI, E.; GASPARELLA, A. Energy retrofit and conservation of built heritage using multiobjective optimization: demonstration on a medieval building. *In*: BUILDING SIMULATION APPLICATION, 2015, Itália. **Anais eletrônicos** [...]. Itália, 2015. Disponível em: <https://bupress.unibz.it/de/produkt/building-simulation-applications-bsa-2015/>. Acesso em: 26 fev. 2018.

ROBERTI, F.; OBEREGGER, U. F.; LUCCHI, E.; TROI, A. Energy retrofit and conservation of a historic building using multi-objective optimization and an analytic process. **Energy and Buildings**, Itália, v. 138, 2017.

RUOCCO, G. D.; SICIGNANO, C.; SESSA, A. Integrated methodologies energy efficiency of historic buildings. **Energy Procedia**, Italia, v. 100, p. 1653-1663, 2017.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente construído**, Brasil, v. 19, 2019.

SECRETARIA MUNICIPAL DA CULTURAL (SECULT). **Manual do Imóvel Inventariado Parte 1**. Pelotas, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES (SINAPI). Preços de insumos. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660. Acesso em 12 dez.2019.

VALLATI, A.; GRIGNAFFINI, S.; ROMAGNA, M. Energy retrofit of a non-residential and historic building in Rome. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND ELECTRICAL ENGINEERING, 2016, Italia. **Anais**

eletrônicos [...]. Itália, 2016. Disponível em: <https://www.ieee-pes.org/meetings-and-conferences/conference-calendar/monthly-view/166-technically-cosponsored-by-pes/485-eeeic-2016>. Acesso em: 12 fev. 2020

WEBB, A. L. Energy retrofits in historic and traditional buildings: A review of problems and methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Estados Unidos da América, v. 77, p. 748-759, 2017.

Apêndices

Apêndice A – Ficha técnica para levantamento *in-loco* – Casarão 2

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 01		
Ambiente		
Nome: Depósito		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 0		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária
-	-	-
Observações		
Não apresenta iluminação e equipamentos. Local de acesso restrito. Muitas caixas e entulho. Parece abandonado.		

Tabela A.1. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT1

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 02		
Ambiente		
Nome: Depósito 2		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 0		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária(W)
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Não foi possível o acesso		

Tabela A.2. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT2

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 03		
Ambiente		
Nome: Banheiro		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18:30h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Apresenta vidro leitoso e ladrilho preto e branco.		

Tabela A.3. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT3

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 04		
Ambiente		
Nome: Sala de exposição 1		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Spot para trilhos (LED)	7	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Paredes com painel de madeira transitório para exposição de fotos/quadros. Não considerar esse material na parede durante a modelagem, pois é uma instalação provisória.		

Tabela A.4. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT4

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 05		
Ambiente		
Nome: Sala de exposição 2		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Sala de exposição de estátuas.		

Tabela A.5. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT5

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 06		
Ambiente		
Nome: Recepção		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 1		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Fluorescente compacta	25	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Telefone	1	10
Notebook	1	75
Observações		
Porta sempre aberta durante o período de funcionamento		

Tabela A.6. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT6

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 07		
Ambiente		
Nome: Escada / Depósito 3		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Sem iluminação artificial, equipamentos ou pessoas. Muitas caixas embaixo da escada		

Tabela A.7. – Ficha técnica para levantamento *in loco* do Casarão 2: ZT7

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 08		
Ambiente		
Nome: Sala de exposição 3		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Refletor halógena	3	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Janela com cortina. Quarto da Baronesa.		

Tabela A.8. – Ficha técnica para levantamento *in loco* do Casarão 2: ZT8

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 09		
Ambiente		
Nome: Sala de exposição 4		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Refletor halógena	4	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Sala de exposição permanente das maquetes 3D		

Tabela A.9. – Ficha técnica para levantamento *in loco* do Casarão 2: ZT9

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 10		
Ambiente		
Nome: Sala de exposição 5		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Spot para trilhos (LED)	36	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Exposição de quadros		

Tabela A.10. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT10

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 11		
Ambiente		
Nome: Sala de exposição 6		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Refletor halógena	3	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Exposição permanente de maquetes. Exposição transitória de quadros.		

Tabela A.11. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT11

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 12		
Ambiente		
Nome: Escritório 1 (sala de arquivos)		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 2		
Horário de Funcionamento: 9h às 12h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Refletor halógena	3	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Telefone	1	10
Notebook	2	75
Observações		
Sem pessoas na sala, mas foi constatado na recepção que o horário de funcionamento dessa sala era das 9h às 12h.		

Tabela A.12. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT12

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 13		
Ambiente		
Nome: Escada 2		
Ocupação		
Atividade: transitório		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Acesso restrito a visitantes.		

Tabela A.13. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT13

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 14		
Ambiente		
Nome: Escritório 2		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 2		
Horário de Funcionamento: 9h às 12h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	4	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Telefone	1	10
Notebook	1	75
Computador	1	55
Observações		
Sem pessoas na sala, mas foi constatado na recepção que o horário de funcionamento dessa sala era das 9h às 12h.		

Tabela A.14. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT14

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 15		
Ambiente		
Nome: Banheiro 2		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
.		

Tabela A.15. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT15

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 16		
Ambiente		
Nome: Garagem		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	8	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Local onde é guardado a carroça fúnebre		

Tabela A.16. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT16

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 17		
Ambiente		
Nome: Sala de reunião 1		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Refletor halogena	9	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Essa é usada ocasionalmente para eventos no Casarão 2. Devido a isso é considerada como zona de permanência transitória, e seus equipamentos não são constados.		

Tabela A.17. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT17

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 18		
Ambiente		
Nome: Escritório 3		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 3		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	4	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Telefone	1	10
Computador	3	55
Impressora de mesa	1	70
Observações		
Escritório da Secult		

Tabela A.18. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT18

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 19		
Ambiente		
Nome: Sala de reunião 2		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Jarra térmica	1	1500
Máquina de café	1	1500
Bebedouro	1	700
Observações		
Conversando com os funcionários, essa sala é pouca usada, sendo o foco pegar café. Com isso, ela é considerada de uso transitório.		

Tabela A.19. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT19

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 20		
Ambiente		
Nome: Escritório 4		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 1		
Horário de Funcionamento: 9h às 12h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Notebook	1	75
Observações		
É o gabinete do secretário da Secult		

Tabela A.20. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT20

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 21		
Ambiente		
Nome: Escritório 5		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 3		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	4	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Computador	3	55
Telefone	1	10
Observações		
Segunda sala de escritório da Secult		

Tabela A.21. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT21

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 22		
Ambiente		
Nome: Escada 1		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Sem equipamentos, iluminação e pessoas. As escaiotas aparecem		

Tabela A.22. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT22

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 23		
Ambiente		
Nome: Escritório 6		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 3		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	4	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Computador	3	55
Telefone	1	10
Impressora de mesa	1	70
Observações		
Gabinete da secult		

Tabela A.23. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT23

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 24		
Ambiente		
Nome: Escada 3		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Sem equipamentos, iluminação e pessoas.		

Tabela A.24. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT24

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 25		
Ambiente		
Nome: Sala de Reunião 3		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 3		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		
Essa é usada ocasionalmente para reuniões. Devido a isso é considerada como zona de permanência transitória, e seus equipamentos não são constados.		

Tabela A.25. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT25

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 26		
Ambiente		
Nome: Escritório 7		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 1		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Computador	3	55
Telefone	1	10
Observações		
Secretaria.		

Tabela A.26. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT26

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 27		
Ambiente		
Nome: Escritório 8		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 2		
Horário de Funcionamento: 9h às 12h		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Impressora de mesa	1	70
Telefone	1	10
Observações		
Sala destinada a Recursos Humanos (RH)		

Tabela A.27. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT27

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 28		
Ambiente		
Nome: Escritório 9		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 1		
Horário de Funcionamento: 12h30min às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Impressora de mesa	1	70
Telefone	2	10
Computador	1	55
Máquina de café	1	1500
Observações		
Sala destinada ao financeiro da Secult		

Tabela A.28. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT28

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 29		
Ambiente		
Nome: Escada 2		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	2	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Jarra elétrica	1	1500
Observações		
É parte da escada para o 1º pavimento, juntamente com copa e banheiro.		

Tabela A.29. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT29

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 30		
Ambiente		
Nome: Escada 10		
Ocupação		
Atividade: Escritório		
Quantidade de pessoas: 6		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	8	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Telefone	1	10
Computador	6	55
Televisão	1	100
Observações		

Tabela A.30. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT30

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 31		
Ambiente		
Nome: Corredor		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 9h às 18h30min		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
Tubular fluorescente	8	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		

Tabela A.31. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT31

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 32		
Ambiente		
Nome: Claraboia		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 0		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		

Tabela A.32. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT32

Ficha técnica para levantamento <i>in loco</i> – Casarão 2		
Nº 33		
Ambiente		
Nome: Mirante		
Ocupação		
Atividade: permanência transitória		
Quantidade de pessoas: 0		
Horário de Funcionamento: 0		
Iluminação		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Equipamentos		
Tipo	Quantidade	Potência unitária (W)
-	-	-
Observações		

Tabela A.33. – Ficha técnica para levantamento in loco do Casarão 2: ZT33

Anexos

Anexo A – Características específicas em função do tipo de sistema de condicionamento a ser modelado

Características específicas em função do tipo de sistema de condicionamento a ser modelado segundo Inmetro nº 248

Sistemas de condicionamento de ar	Características	Descrição
Expansão direta, split, condensação a ar	Quantidade de sistemas de condicionamento de ar	Definir um sistema para cada zona térmica.
	Potência de ventilação	Modelar a potência de ventilação independente do COP. Considerar ventiladores com pressão estática total de 250 Pa e eficiência de 65%. Manter a vazão de ar constante.
Água gelada com caixas VAV, condensação à água	Potência de ventilação	Considerar <i>fan-coils</i> com pressão estática total de 600 Pa e eficiência de 65%. Manter a vazão de ar variável por meio de caixa VAV em cada zona térmica. Adotar potência do ventilador do <i>fan-coil</i> variável conforme a equação: $P_{fan} = 0,0013 + 0,1470 \times PLR_{fan} + 0,9506 \times (PLR_{fan})^2 - 0,0998 \times (PLR_{fan})^3$ Onde: P_{fan} = fator de ajuste de potência do ventilador em carga parcial. PLR_{fan} = fator de carga parcial (igual a vazão de ar atual/vazão de ar de projeto).
	Tipo e quantidade de <i>chillers</i>	Definir a quantidade e tipo de <i>chillers</i> conforme a carga térmica total estimada para a edificação: a) Carga térmica ≤ 1055 kW: 1 <i>chiller</i> parafuso. b) Carga térmica > 1055 kW e ≤ 2110 kW: 2 <i>chillers</i> parafuso de mesma capacidade. c) Carga térmica > 2110 kW: 2 <i>chillers</i> centrífugos no mínimo, adicionando novas unidades quando necessário, desde que a capacidade unitária não ultrapasse 2318 kW.
	Temperatura de controle da água gelada	Considerar água gelada fornecida a 6,7°C, com retorno a 13°C.
	Torres de resfriamento	Modelar uma torre de resfriamento com ventilador axial de duas velocidades. Manter a temperatura de saída da água de condensação a 29,4°C e entrada a 35°C.
	Bombas de água gelada	Modelar circuito primário de vazão constante e secundário variável, com potência total de 140 W.s/L e 210 W.s/L, respectivamente. Modelar uma bomba para cada <i>chiller</i> , operando apenas quando o <i>chiller</i> correspondente estiver em funcionamento.
	Bombas de água de condensação	Considerar potência total de 300 W.s/L. Modelar uma bomba para cada <i>chiller</i> , operando apenas quando o <i>chiller</i> correspondente estiver em funcionamento.

Anexo B – Ficha técnica de tombamento do Casarão 2

Ficha técnica de tombamento do Casarão 2 segundo a SeCult

ENDEREÇO: Praça Cel. Pedro Osório, nº2	
PROPRIETÁRIO: Prefeitura de Pelotas	
Nº TOMBAMENTO: 925	EM: 1975
USO ATUAL: Secretaria Municipal da Cultura	
DATA DA CONSTRUÇÃO: 1830	ARQUITETO: José Izella
BREVE HISTÓRIA: O prédio denominado “CASA 2” foi erguido a pedido do charqueador Vianna, no início do século XIX. Essa construção em estilo colonial, de telhado com beiral e anterior à 1830 sofreu uma substancial modificação por volta de 1880. O arquiteto José Izella foi quem realizou o projeto e com a intenção de identificá-la com os casarões vizinhos, construiu mais um pavimento coroando-o com uma platibanda vazada. Restam do estilo colonial algumas características, como a ausência de recuos, a falta de porão e a simplicidade de algumas aberturas no térreo. O charqueador Vianna ao se transferir para o norte do país vendeu a propriedade a José Antônio Moreira, então Barão do Buthuy. A partir dessa venda, foi passando por sucessivos proprietários servindo inclusive, em determinada época, como anexo do Grande Hotel. Após esse uso, e posterior venda, a parte superior foi abandonada e a parte inferior subalugada para pequenas atividades comerciais. Devido a excelente localização do prédio, central e junto a principal praça da cidade de Pelotas — Praça Coronel Pedro Osório - a APLUB interessou-se pelo imóvel e o adquiriu desativando a área para construção de um grande edifício residencial. A declaração pública da destruição do casarão movimentou a cidade no sentido de lutar pela sua preservação, movimento esse que foi liderado pelo Professor Adail Bento Costa, conhecido colecionador cuja meta vital era a criação de um museu no referido local que pudesse abrigar sua fabulosa coleção de peças de mobiliário, imagens, carruagens e grande número de aparelhos de louças e cristal. Criou-se então um impasse: o professor Adail doaria à municipalidade toda a sua coleção se a Prefeitura lhe entregasse o prédio para restaurar, transformando-o em Museu Municipal. Com essa possibilidade coube à Câmara Municipal a iniciativa de preservar o prédio em questão bem como os outros dois vizinhos, mantendo o conjunto. Aprovado pelo Município, o processo foi encaminhado à Secretaria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional — SPHAN para que fosse viabilizado o tombamento o que aconteceu em 1977. Com o casarão tombado, a APLUB através de solicitação do Prefeito Municipal, teve o prédio desapropriado em 10 de agosto de 1977. Foi criada então, a Fundação Museu de Pelotas pela Lei Municipal 2365/77 com a finalidade de restaurar o prédio além de formar e preservar um acervo de bens de enorme valor cultural para exposição ao público. As obras de restauração foram imediatamente iniciadas sob o comando do Professor Adail Bento Costa, mas foram interrompidas em junho de 1980 quando ocorreu a inesperada morte do referido professor. Em 1987 são realizadas obras de restauração das esquadrias e pisos do pavimento superior com verbas do SPHAN e coordenação da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente — SMUMA. Um incêndio ocorre em 1995 destruindo paredes de estuque do segundo pavimento e prejudicando também parte da estrutura do telhado. No ano de 2000 foram iniciadas as obras de restauração, com verbas do IPHAN — Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional, faltando a conclusão através da captação de recursos pela Lei Estadual de Incentivo à Cultura.	



Anexo C – Valores referência para tipologia genérica

Valores de referência para edificações que possuem tipologia não descrita anteriormente segundo Inmetro nº 248

Uso típico	Edificações não descritas nas condições de referência	
	Condição real	Condição de referência
Geometria		
Forma		Condição real
Orientação (°)		Condição real
Pé-direito (piso a teto) (m)		Condição real
Aberturas		
PAF – Porcentual de Abertura da Fachada (%)	Condição real	60
PAZ – Porcentual de Abertura Zenital (%)	Condição real	0
Componentes construtivos		
<i>Parede</i>	Condição real	Argamassa interna (2,5cm), bloco cerâmico furado (9cm), Argamassa externa (2,5cm)
Upar – Transmitância da parede externa (W/m²K)	Condição real	2,39
aPAR – absorvância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
CTpar – Capacidade térmica da parede (kJ/m²K)	Condição real	150
<i>Cobertura</i>	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5cm) e laje maciça de concreto (10cm)
Ucob – Transmitância da cobertura (W/m²K)	Condição real	2,06
aCOB – Absorvância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
CTcob – Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	Condição real	233
<i>Vidro</i>	Condição real	Vidro simples incolor 6mm
FS – Fator Solar	Condição real	0,82
Uvid – Transmitância do vidro (adimensional)	Condição real	5,7
AHR – Ângulo Horizontal de Sombreamento (°)	Condição real	0
AVS – Ângulo Vertical de Sombreamento	Condição real	0
AOV – Ângulo de Observação Vertical (°)	Condição real	Condição real
Iluminação e ganhos		
Densidade de Potência de Iluminação (W/m²)	Condição real	15
Ocupação (m²/pessoa)		10
DPE – Densidade de Potência de Equipamentos (W/m²)		12
Horas de ocupação (horas)		12
Dias de ocupação (Nano)		300
Condição do piso		Condição real
Condição da cobertura		Condição real
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento
Condicionamento de ar (refrigeração)		
COP – Coeficiente de Performance (W/W)	Condição real	
Temperatura setpoint (°C)	24	
Aquecimento de Água		

Anexo D – Valores referência o coeficiente de redução

Edificações

Edificações não descritas anteriormente: coeficiente de redução da carga térmica anual da classe D para a classe A (CRCEP(D-A)) com base no fator de forma (FF) e o grupo climático correspondente segundo o Inmetro nº 248

Grupo Climático	Coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A (CRCEP(D-A))			
	FF ≤ 0,20	0,20 < FF ≤ 0,30	0,30 < FF ≤ 0,40	FF > 0,40
GCL 1-A	0,21	0,24	0,25	0,27
GCL 1-B	0,21	0,24	0,25	0,27
GCL 2	0,20	0,23	0,24	0,25
GCL 3				
GCL 4				
GCL 5	0,21	0,23	0,24	0,26
GCL 6				
GCL 7	0,20	0,23	0,24	0,26
GCL 8				
GCL 9	0,22	0,25	0,26	0,28
GCL 10	0,23	0,26	0,27	0,29
GCL 11	0,22	0,25	0,27	0,29
GCL 12				
GCL 13	0,22	0,25	0,27	0,28
GCL 14				
GCL 15	0,21	0,24	0,25	0,27
GCL 16				
GCL 17	0,22	0,25	0,26	0,28
GCL 18	0,22	0,25	0,26	0,28
GCL 19	0,22	0,25	0,26	0,28
GCL 20				
GCL 21	0,23	0,26	0,24	0,29
GCL 22				
GCL 23	0,22	0,25	0,26	0,28
GCL 24				