

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
NÍVEL DOUTORADO**

**RÔMULO PLENTZ GIRALT**

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS  
DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO**

**São Leopoldo**

**2022**

RÔMULO PLENTZ GIRALT

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS  
DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO**

Tese apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutor em Engenharia  
Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade do Vale do  
Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González

São Leopoldo

2022

G516d Giralt, Rômulo Plentz.  
Desempenho térmico e eficiência energética como estratégias de preservação do patrimônio arquitetônico / por Rômulo Plentz Giralt. – 2022.  
351 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Leopoldo, RS, 2022.  
“Orientador: Dr. Marco Aurélio Stumpf González”.

1. Patrimônio arquitetônico. 2. Eficiência energética. 3. Desempenho térmico. 4. Requalificação. 5. Estratégias. 6. Isolamento térmico. 7. Edificação. 8. Consumo de energia. 9. Temperatura. I. Título.

CDU: 719:551.58

RÔMULO PLENTZ GIRALT

**DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS  
DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO**

Tese apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Doutor em Engenharia  
Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil da Universidade do Vale do  
Rio dos Sinos - UNISINOS

:

Aprovado em 13 de dezembro de 2022

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Antônio Cesar Silveira Baptista da Silva – Universidade Federal de Pelotas

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ana Lucia Goelzer Meira – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof<sup>a</sup>. Dra. Andrea Parisi Kern – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Dr. Marco Aurélio Stumpf González – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Orientador

São Leopoldo

2022

Dedico este trabalho à memória da minha amada mãe Loeci do Carmo Plentz Giralt, que nos deixou no intercurso da finalização deste trabalho, pelo seu exemplo de amor, superação e dedicação.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Engenheiro de Energia Renato Fonseca Pedrotti, cuja parceria foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Marco Aurélio Stumpf González, por acreditar na possibilidade de realização desta pesquisa.

Aos integrantes da banca de qualificação Ana Lúcia Goelzer Meira, Andrea Kern e Antônio César Silveira Baptista da Silva pelo aceite da incumbência e pelas correções e recomendações importantes.

Ao meu orientador na KIT – Karlsruher Institut für Technologie, Prof. Ing. Andreas Wagner, cuja orientação deu novo rumo a esta pesquisa.

Ao meu filho Rafael Kulakowski Giralt, pelo incentivo e ajuda com os desenhos das edificações e a formatação dos questionários.

A Sônia Braun, pelos bons momentos que ficarão apenas na memória.

Ao meu filho Ricardo Braun Giralt, pela sua gratificante presença.

Aos meus colegas da Faculdade de Arquitetura da UFRGS, em especial aos meus companheiros do Laboratório de Conforto Ambiental, Roni, Maurício e Luísa.

A UNISINOS e sua equipe, por ter-me aceitado para esta incumbência.

A CAPES, pela oportunidade da realização do doutorado sanduíche na Alemanha.

As colegas da UFSC Elisiane e Renata, pela parceria nas disciplinas do pós-graduação.

Ao meu pai Ângelo, pelo seu eterno incentivo e preocupação.

Aos meus familiares.

A todos mais que contribuíram com esta pesquisa.

*O covarde nunca tenta  
O fracassado nunca termina  
O vencedor nunca desiste*

## ARQUITETURA FUNCIONAL

Não gosto da arquitetura nova  
Porque a arquitetura nova não faz casas velhas.  
Não gosto das casas novas  
Porque as casas novas não têm fantasmas  
E, quando digo fantasmas, não quero dizer essas assombrações  
Vulgares  
Que andam por aí...  
É não-sei-quê de mais sutil  
Nessas velhas, velhas casas,  
Como, em nós, a presença invisível da alma...tu nem sabes  
A pena que me dão as crianças de hoje!  
Vivem desencantadas como uns órfãos:  
As suas casas não têm porões nem sótãos,  
São umas pobres casas sem mistério.  
Como pode nelas vir morar o sonho?  
O sonho é sempre um hóspede clandestino e é preciso  
(Como bem sabíamos)  
Ocultá-lo das visitas  
(Que diriam elas, as solenes visitas?)  
É preciso ocultá-lo das outras pessoas da casa.  
É preciso ocultá-lo dos confesores,  
Dos professores,  
Até dos Profetas  
(Os Profetas estão sempre profetizando outras cousas...)  
E as casas novas não têm ao menos aqueles longos,  
Intermináveis corredores  
Que a lua vinha às vezes assombrar!

(Mário Quintana)

## RESUMO

As primeiras referências a questões ambientais em edificações de interesse cultural aparecem após a crise do petróleo, nos anos 70 do século passado, mostrando que a preocupação com intervenções nesse tipo de edificações, visando conforto dos usuários e eficiência energética, não é um assunto assim tão recente. A redução da disponibilidade de energia e as novas demandas de eficiência energética trouxeram a necessidade de avaliar a habilidade dessas edificações em conservar energia, considerando também a melhora do seu desempenho térmico. Por outro lado, há a preocupação de que no patrimônio arquitetônico, muitas medidas podem resultar em alterações inapropriadas de aspectos arquitetônicos importantes ou causar sérios danos à materialidade da edificação. Desta forma, são discutidas estratégias de requalificação que alcancem desempenho térmico e economia de energia com mínima alteração dos edifícios, através do uso de materiais que não causem danos e que representem investimento econômico confiável. A problemática não se resume a introduzir materiais, equipamentos e sistemas novos em edificações de interesse cultural, mas respeitar a significância, integridade, autenticidade e, também, a reversibilidade da intervenção, princípios fundamentais da teoria da restauração do patrimônio arquitetônico, prescritos em cartas e convenções internacionais, de forma a salvaguardar os elementos que lhe atribuem valor. Nesse contexto, o objetivo geral da pesquisa é propor estratégias para requalificação do patrimônio arquitetônico residencial no Rio Grande do Sul tendo em vista desempenho térmico e eficiência energética. O método do trabalho categoriza o patrimônio arquitetônico no contexto da ocupação do território rio-grandense, definindo os estudos de caso. Para as intervenções são propostas diferentes estratégias de requalificação: isolamento de pisos e entrepisos, isolamento de coberturas, isolamento de paredes e estratégias relacionadas às esquadrias. Todas foram submetidas a uma avaliação quantitativa, por simulações computacionais, e uma avaliação qualitativa, pela aplicação de questionários a pesquisadores da área de patrimônio histórico. Os resultados, para cada estudo de caso, mostraram quais estratégias tiveram melhor desempenho térmico, eficiência energética e maior compatibilidade patrimonial. Na sequência foi apresentando um mecanismo de ponderação das avaliações, que apontou as estratégias com maior adequação, proporcionando a criação de um modelo de simulação, para cada estudo de caso, combinando essas estratégias, cujos resultados mostraram reduções significativas no consumo de energia. As estratégias de requalificação mais adequadas podem ser incorporadas às normas e manuais para intervenção em edificações de interesse cultural.

**Palavras-chave:** Patrimônio Arquitetônico; Eficiência Energética; Desempenho Térmico; Requalificação

## ABSTRACT

The first references to environmental issues in buildings of cultural interest appear after the oil crisis, in the 70s of the last century, showing that the concern with interventions in this type of buildings, aiming at user comfort and energy efficiency, is not such a recent issue. The reduction in energy availability and the new demands for energy efficiency brought the need to evaluate the ability of these buildings to conserve energy, also considering the improvement of their thermal performance. On the other hand, there is concern that in architectural heritage, many measures may result in inappropriate changes to important architectural aspects or cause serious damage to the materiality of the building. In this way, requalification strategies are discussed that achieve thermal performance and energy savings with minimal alteration of the buildings, through the use of materials that do not cause damage and that represent a reliable economic investment. The problem is not limited to introducing new materials, equipment and systems in buildings of cultural interest, but respecting the significance, integrity, authenticity and also the reversibility of the intervention, fundamental principles of the theory of restoration of architectural heritage, prescribed in charters and international conventions, in order to safeguard the elements that give it value. In this context, the main goal of the research is to propose strategies for the requalification of residential architectural heritage in Rio Grande do Sul with a view to thermal performance and energy efficiency. The work method categorizes the architectural heritage in the context of the occupation of the territory of Rio Grande do Sul, defining the case studies. Different rehabilitation strategies are proposed for the interventions: floor and subfloor insulation, roof insulation, wall insulation and strategies related to openings. All were submitted to a quantitative evaluation, through computer simulations, and a qualitative evaluation, through the application of questionnaires to researchers in the area of historical heritage. The results, for each case study, showed which strategies had better thermal performance, energy efficiency and greater heritage compatibility. Next, a mechanism for weighting the evaluations was presented, which pointed out the most appropriate strategies, providing the creation of a simulation model, for each case study, combining these strategies, whose results showed significant reductions in energy consumption. The most appropriate requalification strategies can be incorporated into norms and manuals for intervention in buildings of cultural interest.

**Key-words:** Architectural Heritage; Energy Efficiency; Thermal Performance; Requalification

## ZUSAMMENFASSUNG

Die ersten Hinweise auf Umweltaspekte in Gebäuden von kulturellem Interesse erscheinen nach der Ölkrise in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts und zeigen, daß die Sorge um Eingriffe in diese Art von Gebäuden, die auf Benutzerkomfort und Energieeffizienz abzielen, nicht so neu ist. Die Verringerung der Energieverfügbarkeit und die neuen Anforderungen an die Energieeffizienz machten es erforderlich, die Fähigkeit dieser Gebäude zur Energieeinsparung zu bewerten, auch unter Berücksichtigung der Verbesserung ihrer thermischen Leistung. Auf der anderen Seite besteht die Sorge, daß im architektonischen Erbe viele Maßnahmen zu unangemessenen Veränderungen wichtiger architektonischer Aspekte führen oder die Materialität des Gebäudes ernsthaft beschädigen könnten. Auf diese Weise werden Requalifizierungsstrategien diskutiert, die mit minimaler Veränderung der Gebäude thermische Leistungen und Energieeinsparungen erzielen, durch den Einsatz von Materialien, die keine Schäden verursachen und eine zuverlässige wirtschaftliche Investition darstellen. Das Problem beschränkt sich nicht auf die Einführung neuer Materialien, Anlagen und Systeme in Gebäuden von kulturellem Interesse, sondern respektiert die Bedeutung, Integrität, Authentizität und auch die Reversibilität des Eingriffs, grundlegende Prinzipien der Theorie der Restaurierung des architektonischen Erbes, vorgeschrieben in Chartas und internationale Konventionen, um die wertvollen Elemente zu schützen. In diesem Zusammenhang besteht das Hauptziel der Forschung darin, Maßnahmen für die Requalifizierung des architektonischen Erbes von Wohngebäuden in Rio Grande do Sul im Hinblick auf thermische Leistung und Energieeffizienz vorzuschlagen. Die Arbeitsmethode kategorisiert das architektonische Erbe im Zusammenhang mit der Besetzung des Territoriums von Rio Grande do Sul und definiert die Fallstudien. Für die Intervention werden verschiedene Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen: Boden- und Unterbodendämmung, Dachdämmung, Wanddämmung und Strategien in Bezug auf Öffnungen. Alle wurden einer quantitativen Bewertung durch Computersimulationen und einer qualitativen Bewertung durch die Anwendung von Fragebögen an Forscher im Bereich des historischen Erbes unterzogen. Die Ergebnisse für jede Fallstudie zeigten, welche Maßnahmen eine bessere thermische Leistung, Energieeffizienz und größere Kompatibilität mit dem Erbe aufwiesen. Als nächstes wurde ein Mechanismus zur Gewichtung der Bewertungen vorgestellt, der die am besten geeigneten Maßnahmen aufzeigte und die Erstellung eines Simulationsmodells für jede Fallstudie vorsah, das diese Maßnahmen kombinierte, deren Ergebnisse signifikante Verringerung des Energieverbrauchs zeigten. Die am besten geeigneten Requalifizierungsmaßnahmen können in Normen und Handbücher für Eingriffe in Gebäude von kulturellem Interesse aufgenommen werden.

**Schlüssel-wörter:** Architektonisches Erbe; Energieeffizienz; Thermische Leistung; Sanierung

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Residência de 1502 localizada em Ettlingen, Alemanha. ....	27
Figura 2 – Escala de sensação térmica de sete pontos.....	58
Figura 3 – PPD em função do PMV .....	58
Figura 4 – Edificações do Parque Aldeia do Imigrante em Nova Petrópolis. ....	63
Figura 5 - Edificações do Parque Histórico em Lajeado. ....	64
Figura 6 - Edificações no conjunto “Casa Amarela” na Linha Brasil, Nova Petrópolis .....	65
Figura 7 – Edificações da Villa Fitarelli.....	65
Figura 8 - <i>Vogtsbauernhof</i> , em primeiro plano edificação original do conjunto. ....	66
Figura 9 - Edificações do Zuiderzeemuseum na Holanda.....	67
Figura 10 - Regiões onde predominam edificações representativas da arquitetura luso-brasileira .....	68
Figura 11 – a) Solar Lopo Gonçalves, Porto Alegre; b) Solar do Almirante Alexandrino, Rio Pardo; c) Prefeitura municipal de Triunfo.....	69
Figura 12 – Regiões onde predominam edificações representativas da arquitetura teuto- brasileira .....	70
Figura 13 - a) Casa Schmitt-Presser, Novo Hamburgo; b) Casa Osterkamp, Westfália; c) Casa na Feitoria Nova, Ivoti.....	71
Figura 14 - Regiões onde predominam edificações representativas da arquitetura ítalo-brasileira .....	72
Figura 15 - a) Casa em Vista Alegre do Prata; b) Casa em Antônio Prado; c) Casa em Santa Tereza .....	73
Figura 16 – Regiões onde predominam edificações representativas do ecletismo.....	74
Figura 17 - a) Palacete Argentina, Porto Alegre; b) Palacete Santo Meneghetti, Porto Alegre; c) Casa Torelly, Porto Alegre .....	75
Figura 18 – Casa das Pestanas.....	78
Figura 19 – Casa Withölder.....	80
Figura 20 – Casa da Neni em primeiro plano.....	82
Figura 21 – Casa Frasca .....	85
Figura 22 – Demonstração da determinação do desvio azimutal .....	93
Figura 23 – Histograma dos valores de infiltração para habitações antigas e de baixa renda	101
Figura 24 - Mapa da área central de Santo Amaro do Sul com localização da edificação.....	121
Figura 25 – Casa do Senhor Tarso do Prado .....	122

Figura 26 – Fachadas principal e lateral.....	122
Figura 27 - Planta baixa.....	123
Figura 28 – Cortes Longitudinal e transversal.....	123
Figura 29 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico.....	124
Figura 30 – Gráfico da umidade relativa do ar.....	125
Figura 31 – Gráfico de precipitação .....	125
Figura 32 – Gráfico da radiação global média mensal .....	126
Figura 33 – Frequência e velocidade dos ventos.....	126
Figura 34 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas .....	127
Figura 35 – Desvio Azimutal da edificação .....	128
Figura 36 - Geolocalização do modelo.....	129
Figura 37 – Zoneamento Térmico e localização em planta das zonas .....	131
Figura 38 – Localização dos elementos construtivos – porão .....	132
Figura 39 – Localização dos elementos construtivos – térreo.....	133
Figura 40 – Localização dos elementos construtivos – sótão.....	133
Figura 41 – Temperatura média diária para janeiro na sala de estar .....	142
Figura 42 – Temperatura média diária para junho na sala de estar .....	143
Figura 43 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 2 .....	144
Figura 44 – Temperatura média diária para junho no dormitório 2 .....	145
Figura 45 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	146
Figura 46 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	147
Figura 47 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	148
Figura 48 – Economia de energia e pontuação de preservação.....	153
Figura 49 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa.....	154
Figura 50 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	155
Figura 51 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	156
Figura 52 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	156
Figura 53 - Mapa da Linha Frank, Município de Westfália, com localização da edificação .	158
Figura 54 – Casa Withölder.....	159
Figura 55 – Fachadas nordeste e sudoeste.....	159
Figura 56 – Planta baixa térreo.....	160
Figura 57 – Cortes transversal e longitudinal.....	160
Figura 58 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico.....	161
Figura 59 – Gráfico da umidade relativa do ar.....	162

Figura 60 – Gráfico de precipitação .....	162
Figura 61 – Gráfico da radiação global média mensal .....	163
Figura 62 – Frequência e velocidade dos ventos .....	163
Figura 63 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas .....	164
Figura 64 – Desvio Azimutal da edificação .....	165
Figura 65 – Geolocalização do modelo .....	166
Figura 66 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas.....	168
Figura 67 – Localização dos elementos construtivos – porão .....	170
Figura 68 – Localização dos elementos construtivos – térreo.....	170
Figura 69 – Localização dos elementos construtivos – sótão.....	171
Figura 70 – Temperatura média diária para janeiro na sala .....	179
Figura 71 – Temperatura média diária para junho na sala .....	180
Figura 72 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 2 .....	181
Figura 73 – Temperatura média diária para junho no dormitório 2 .....	182
Figura 74 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	183
Figura 75 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	184
Figura 76 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	184
Figura 77 – Economia de energia e pontuação de preservação .....	189
Figura 78 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa.....	190
Figura 79 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	191
Figura 80 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	192
Figura 81 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	192
Figura 82 - Mapa da área central de Antônio Prado com localização da edificação.....	194
Figura 83 – Casa da Neni (Casa Antônio Bocchese).....	195
Figura 84 – Plantas baixas do térreo e segundo pavimento.....	196
Figura 85 – Fachadas principal e lateral.....	197
Figura 86 – Cortes transversal e longitudinal.....	197
Figura 87 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico.....	198
Figura 88 – Gráfico da umidade relativa do ar.....	199
Figura 89 – Gráfico de precipitação .....	199
Figura 90 – Gráfico da radiação global média mensal .....	200
Figura 91 – Frequência e velocidade dos ventos.....	200
Figura 92 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas .....	201
Figura 93 – Desvio Azimutal da edificação .....	202

Figura 94 – Geolocalização do modelo .....	203
Figura 95 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas.....	205
Figura 96 – Localização dos elementos construtivos – porão .....	206
Figura 97 – Localização dos elementos construtivos – térreo.....	207
Figura 98 – Localização dos elementos construtivos – 2º pavimento.....	207
Figura 99 – Localização dos elementos construtivos – sótão.....	208
Figura 100 – Temperatura média diária para janeiro na sala de jantar.....	216
Figura 101 – Temperatura média diária para junho na sala de jantar.....	217
Figura 102 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 3 .....	218
Figura 103 – Temperatura média diária para junho no dormitório 3 .....	219
Figura 104 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	220
Figura 105 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	221
Figura 106 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	222
Figura 107 – Economia de energia e pontuação de preservação.....	226
Figura 108 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa.....	228
Figura 109 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	229
Figura 110 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	230
Figura 111 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	230
Figura 112 - Mapa da de Porto Alegre com localização da edificação .....	231
Figura 113 – Casa Frasca .....	232
Figura 114 – Planta baixa 1º pavimento .....	232
Figura 115 – Planta baixa 2º pavimento .....	233
Figura 116 – Corte AA .....	233
Figura 117 – Corte BB e fachada Av. Independência .....	233
Figura 118 – Fachada Rua Barros Cassal.....	234
Figura 119 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico.....	234
Figura 120 – Gráfico da umidade relativa do ar.....	235
Figura 121 – Gráfico de precipitação .....	236
Figura 122– Gráfico da radiação global média mensal .....	236
Figura 123– Frequência e velocidade dos ventos.....	237
Figura 124 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas .....	237
Figura 125 – Desvio Azimutal da edificação .....	239
Figura 126 – Geolocalização do modelo .....	239
Figura 127 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas.....	242

Figura 128 – Localização dos elementos construtivos – porão .....	243
Figura 129 – Localização dos elementos construtivos – térreo .....	243
Figura 130 – Localização dos elementos construtivos – 2º pavimento.....	244
Figura 131 – Localização dos elementos construtivos – sótão.....	244
Figura 132 – Temperatura média diária para janeiro na sala de estar 2 .....	254
Figura 133 – Temperatura média diária para junho na sala de estar 2 .....	255
Figura 134 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 5 .....	256
Figura 135 – Temperatura média diária para junho no dormitório 5 .....	257
Figura 136 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	258
Figura 137 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	259
Figura 138 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	260
Figura 139 – Economia de energia e pontuação de preservação .....	265
Figura 140 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa.....	266
Figura 141 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento .....	267
Figura 142 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento .....	268
Figura 143 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento .....	268

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Edificações selecionadas como estudos de caso.....	77
Quadro 2 – Tipos de estratégias conforme diferentes autores.....	104
Quadro 3 – Estratégias a serem simuladas nos estudos de caso.....	109
Quadro 4 – Faixa de conforto pelo índice PMV.....	111
Quadro 5 – Desempenho térmico e compatibilidade patrimonial.....	120
Quadro 6 – Estratégias com melhor desempenho para edificações representativas da arquitetura luso-brasileira.....	150
Quadro 7 – Estratégias com melhor desempenho para edificações representativas da arquitetura teuto-brasileira.....	186
Quadro 8 – Estratégias com melhor desempenho para edificações representativas da arquitetura ítalo-brasileira.....	224
Quadro 9 – Estratégias com melhor desempenho para edificações representativas do ecletismo.....	262
Quadro 10 – Estratégias avaliadas para cada estudo e caso.....	270
Quadro 11 – Compilação dos resultados das avaliações para cada estudo de caso.....	271
Quadro 12 – Resumo do desempenho térmico, eficiência energética e compatibilidade patrimonial das diferentes estratégias para cada estudo de caso.....	276
Quadro 13 – Resultado para os estudos de caso da ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa.....	278
Quadro 14 – Consumo energético da combinação de medidas.....	279

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana .....	96
Tabela 2 - Cargas Internas de Equipamentos .....	97
Tabela 3 - Padrão de uso da iluminação .....	97
Tabela 4 - Densidade de potência instalada de iluminação .....	98
Tabela 5 - Taxas metabólicas para cada atividade .....	98
Tabela 6 – Taxas de infiltração de acordo com estação do ano e horários do dia.....	101
Tabela 7 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	106
Tabela 8 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	106
Tabela 9 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	106
Tabela 10 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	107
Tabela 11 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	107
Tabela 12 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	107
Tabela 13 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante.....	108
Tabela 14 – Construção e propriedades termofísicas do vidro duplo.....	108
Tabela 15 – Construção e propriedades termofísicas do vidro.....	109
Tabela 16 – Escala de pontuação de avaliação do impacto das estratégias na preservação do patrimônio edificado.....	118
Tabela 17 – Somatório e média ponderada da pontuação das estratégias para cada critério .	119
Tabela 18 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas .....	119
Tabela 19 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade.....	127
Tabela 20 – Comparação entre a cidade de General Câmara e as Cidades da Zona Bioclimática 3 que possuem Arquivo Climático .....	130
Tabela 21 - Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas .....	131
Tabela 22 - Construções e propriedades termofísicas dos materiais .....	134
Tabela 24 - Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas.....	135
Tabela 24 - Número de ocupantes por ambiente .....	136
Tabela 25 - Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes .....	136
Tabela 26 - Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação .....	137
Tabela 27 - Dia de projeto de inverno .....	138
Tabela 28 - Dia de projeto de verão .....	138

Tabela 29 – Resultados da simulação do PMV em porcentagem das horas de desconforto..	140
Tabela 30 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações.....	141
Tabela 31 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem.....	149
Tabela 32 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério .....	151
Tabela 33 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas .....	152
Tabela 34 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade.....	164
Tabela 35 – Comparação entre a cidade de Westfália e as cidades da Zona Bioclimática 2 que possuem Arquivo Climático .....	167
Tabela 36 – Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas.....	169
Tabela 37 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais .....	172
Tabela 38 – Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas .....	173
Tabela 39 – Número de ocupantes por ambiente .....	173
Tabela 40 – Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes.....	174
Tabela 41 – Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação .....	174
Tabela 42 – Dia de projeto de inverno .....	175
Tabela 43 – Dia de projeto de verão .....	176
Tabela 44 – Resultados da simulação do PMV em porcentagem das horas de desconforto..	177
Tabela 45 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações.....	178
Tabela 46 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem.....	186
Tabela 47 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério .....	187
Tabela 48 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas .....	188
Tabela 49 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade.....	201
Tabela 50 – Comparação entre a cidade de Antônio Prado e as cidades da Zona Bioclimática 2 que possuem Arquivo Climático .....	204
Tabela 51 – Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas.....	206
Tabela 52 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais .....	209
Tabela 53 – Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas .....	210
Tabela 54 – Número de ocupantes por ambiente .....	210
Tabela 55 – Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes.....	211
Tabela 56 – Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação .....	211

Tabela 57 – Dia de projeto de inverno .....	212
Tabela 58 – Dia de projeto de verão .....	213
Tabela 59 – Resultados da simulação do PMV em porcentagem das horas de desconforto..	214
Tabela 60 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações.....	215
Tabela 61 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem.....	223
Tabela 62 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério .....	224
Tabela 63 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas .....	226
Tabela 64 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade.....	238
Tabela 65 – Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas.....	240
Tabela 66 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais .....	245
Tabela 67 – Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas .....	247
Tabela 68 – Número de ocupantes por ambiente .....	248
Tabela 69 – Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes.....	249
Tabela 70 - Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação .....	249
Tabela 71 – Dia de projeto de inverno .....	250
Tabela 72 – Dia de projeto de verão .....	250
Tabela 73 – Resultados da simulação do PMV em porcentagem das horas de desconforto..	252
Tabela 74 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações.....	253
Tabela 75 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem.....	261
Tabela 76 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério .....	263
Tabela 77 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas .....	264

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APO	Avaliação Pós-Ocupação
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CAD	<i>Computer-aided Design</i>
CLO	<i>Clothing</i>
EHA	<i>Empty Homes Agency</i>
EIFS	<i>Exterior Insulation Finishing System</i>
EN	<i>European Norms</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPAHC	Equipe do Patrimônio Artístico Histórico e Cultural
EPS	<i>Expanded Polystyrine</i>
EST	Estratégia
EU	<i>European Union</i>
GBC	<i>Green Building Council</i>
HVAC	<i>Heating, Ventilating and Air Conditioning</i>
ICOMOS	<i>International Council of Monuments and Sites</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IN	Instrução Normativa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPHAE	Instituto do Patrimônio, Histórico e Artístico do Estado
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LABEEE	Laboratório de Eficiência Energética das Edificações
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MOD-REF	Modelo de Referência
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PMV	<i>Predict Mean Vote</i> (Voto Médio Estimado)
PPD	<i>Predicted Percentage Dissatisfied</i> (Porcentagem de Pessoas Insatisfeitas)
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SATE	<i>Sistema de Aislamiento Térmico Exterior</i>
Tbs	Temperatura de bulbo seco
Tbu	Temperatura de bulbo úmido
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
XPS	<i>Extruded Polystyrene</i>
VFRGS	Viação Férrea do Rio Grande do Sul
WDVS	<i>Wärmedämmverbundsystem</i>

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	6
RESUMO .....	9
ABSTRACT .....	10
ZUSAMMENFASSUNG .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE QUADROS .....	17
LISTA DE TABELAS .....	18
LISTA DE SIGLAS .....	21
SUMÁRIO.....	23
1 INTRODUÇÃO.....	26
1.1 TEMA .....	34
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	34
1.3 OBJETIVOS .....	35
1.3.1 Objetivo geral .....	35
1.3.2 Objetivos específicos.....	35
1.4 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA.....	35
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	39
2 REVISÃO DA LITERATURA .....	40
2.1 INTERVENÇÃO EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE CULTURAL .....	40
2.1.1 Normativas para intervenção em edificações de interesse cultural .....	40
2.1.2 Cartas patrimoniais na intervenção em edificações de interesse cultural .....	41
2.1.3 Legislação brasileira para intervenção em edificações de interesse cultural .....	50
2.2 CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE CULTURAL .....	51
2.2.1 Conforto térmico.....	55
2.2.2 Eficiência energética .....	59
2.3 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	59
2.4 EDIFICAÇÕES DE INTERESSE CULTURAL NO RIO GRANDE DO SUL.....	62
2.4.1 Introdução.....	62
2.4.2 Edificações representativas da arquitetura luso-brasileira.....	67
2.4.3 Edificações representativas da arquitetura teuto-brasileira.....	69
2.4.4 Edificações representativas da arquitetura ítalo-brasileira .....	72

2.3.5 Edificações representativas do ecletismo .....	73
3 MÉTODO – APRESENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO .....	76
3.1 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO .....	76
3.1.1 Casa das Pestanas .....	77
3.1.2 Casa Withölder .....	79
3.1.3 Casa da Neni .....	82
3.1.4 Casa Frasca .....	84
3.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA.....	87
3.2.1 Parâmetros para modelagem e simulação computacional .....	87
3.2.2 Levantamentos .....	92
3.2.3 Caracterização climática .....	93
3.2.4 Cargas internas .....	95
3.2.5 Considerações sobre infiltração de ar .....	99
3.2.6 Sistema de condicionamento do ar .....	102
3.2.7 Estratégias para conforto e eficiência energética em edificações de interesse cultural .....	102
3.2.8 Parâmetros para avaliação de desempenho térmico e eficiência energética .....	110
3.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA.....	111
3.3.1 Aspectos de compatibilidade patrimonial .....	113
3.3.2 Aspectos técnico-funcionais .....	114
3.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	115
3.4.1 Avaliação Quantitativa .....	115
3.4.2 Avaliação Qualitativa .....	117
3.4.3 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa .....	119
4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS .....	121
4.1 CASA DAS PESTANAS – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA.....	121
4.1.1 Caracterização geral da Edificação.....	121
4.1.2 Aspectos geográficos e climáticos de Santo Amaro do Sul – General Câmara (RS).....	124
4.1.3 Modelagem da edificação .....	128
4.1.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética .....	139
4.1.5 Avaliação Qualitativa .....	150
4.1.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa .....	152
4.1.7 Combinação de estratégias .....	155
4.2 CASA WITHÖLDER – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA .....	158
4.2.1 Caracterização geral da Edificação.....	158

4.2.2 Aspectos geográficos e climáticos de Westfália (RS)-----	161
4.2.3 Modelagem da edificação -----	165
4.2.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética -----	176
4.2.5 Avaliação Qualitativa-----	187
4.2.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa -----	188
4.2.7 Combinação de estratégias -----	191
4.3 CASA DA NENI – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DA ARQUITETURA ÍTALO- BRASILEIRA.....	194
4.3.1 Caracterização geral da Edificação-----	194
4.3.2 Aspectos geográficos e climáticos de Antônio Prado (RS) -----	198
4.3.3 Modelagem da edificação -----	202
4.3.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética -----	213
4.3.5 Avaliação Qualitativa-----	224
4.3.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa -----	225
4.3.7 Combinação de estratégias -----	228
4.4 CASA FRASCA – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DO ECLETISMO .....	231
4.4.1 Caracterização geral da Edificação-----	231
4.4.2 Aspectos geográficos e climáticos de Porto Alegre (RS)-----	234
4.4.3 Modelagem da edificação -----	238
4.4.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética -----	251
4.4.5 Avaliação Qualitativa -----	262
4.4.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa -----	264
4.4.7 Combinação de estratégias -----	267
4.5 AVALIAÇÃO GERAL .....	269
4.5.1 Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares (EST 01)-----	271
4.5.2 Isolamento térmico de pisos e entrespisos de madeira (EST 02)-----	272
4.5.3 Isolamento térmico do telhado (EST 03)-----	272
4.5.4 Isolamento térmico do forro (EST 04)-----	273
4.5.5 Isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) -----	273
4.5.6 Isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06)-----	273
4.5.7 Isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07)-----	274
4.5.8 Vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) -----	274
4.5.9 Substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09)-----	275
4.5.10 Instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10)-----	275
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	281
REFERÊNCIAS .....	283

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PERGUNTAS .....	295
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PONTUAÇÃO E MÉDIA PONDERADA .....	342
Casa das Pestanas .....	342
Casa Withölder .....	343
Casa da Neni .....	345
Casa Frasca .....	346
APÊNDICE C – CONDIÇÕES DE CONTORNO .....	348
Casa das Pestanas .....	348
Casa Withölder .....	349
Casa da Neni .....	350
Casa Frasca .....	351

## 1 INTRODUÇÃO

“O patrimônio arquitetônico – ou patrimônio edificado – corresponde a uma categoria do patrimônio cultural que contém as edificações isoladas, os conjuntos arquitetônicos e os sítios urbanos aos quais são atribuídos valores culturais” (ANDRADE JÚNIOR, 2020). Partindo-se dessa definição, pode-se ver que as primeiras referências a questões ambientais em edificações desse tipo vão aparecer logo após a crise do petróleo, da década de 70 do século passado, mostrando que a preocupação com intervenções nesse tipo de edificações, visando conforto dos usuários e eficiência energética, não é um assunto assim tão recente. Nesse momento, na verdade, o mundo tomou consciência de uma crise energética e ambiental e começou a se fortalecer uma onda preservacionista que ocorreu em paralelo à obsolescência de fábricas e equipamentos (COMAS, 2011). Dentro deste contexto, Smith (1978) fala que, com a redução da disponibilidade das fontes de energia e com novas demandas de eficiência energética, os proprietários de edificações de interesse cultural e seus arquitetos viram a necessidade de avaliar a habilidade dessas edificações em conservar energia, levando em consideração também o melhoramento do seu desempenho térmico. Importante lembrar que o autor levanta a preocupação de que no patrimônio arquitetônico, muitas medidas podem resultar em alterações inapropriadas de aspectos arquitetônicos importantes ou, mesmo pior, causar sérios danos à materialidade da edificação, quer às técnicas construtivas ou aos materiais de construção originais. Assim, recomenda estratégias para alcançar uma maior economia de energia com mínima alteração dos edifícios, através do uso de materiais que não causem danos e que representem investimento econômico confiável. Seguindo a mesma linha, Cassar (2006) aponta que prédios antigos não são necessariamente ineficientes e seu conforto e eficiência energética podem ser melhorados de maneiras não danosas, já que em sua maioria, edificações antigas foram construídas para usar menos energia para aquecimento e resfriamento e por isso requerem poucos melhoramentos com climatização, maximizando as fontes naturais de aquecimento, iluminação e ventilação. Estes são os princípios da arquitetura vernacular que traz como premissa primordial aproveitar as características desejáveis do clima, evitando as indesejáveis (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Ao longo da história têm-se inúmeros exemplos de construções que se valiam de conceitos e princípios hoje chamados de bioclimáticos e sustentáveis. Conhecimentos que eram transmitidos de geração a geração e onde arquitetos e artesãos trabalhavam juntos. Na Europa, nos mais diferentes países, há um enorme legado de edificações de interesse cultural com essas características. Entretanto, novas

demandas de habitabilidade fizeram com que cada vez mais sofressem intervenções buscando adaptação às facilidades contemporâneas, principalmente em relação à eficiência energética. Na Figura 1, na sequência, tem-se, como exemplo, uma edificação construída na Alemanha no início do século XVI que continua sendo utilizada como residência, mas que sofreu intervenção que respeitou suas características formais, ou seja, seu valor como edificação de interesse cultural. À distância, as intervenções são quase imperceptíveis. Numa aproximação, pode-se verificar, por exemplo, que as esquadrias foram substituídas, mantendo, entretanto, sua forma original, assim como internamente foram utilizados sistemas de isolamento térmico.

Figura 1 – Residência de 1502 localizada em Ettlingen, Alemanha.



Fonte: foto registrada pelo autor.

No Brasil, quando da vinda das diversas correntes migratórias, as técnicas construtivas foram trazidas pelos imigrantes, com a ressalva de que se depararam com novos materiais e, principalmente, com condições climáticas diferentes de seu local de origem. Mesmo assim buscaram, através de seus conhecimentos, adaptar suas novas construções às novas adversidades climáticas. Muitas dessas edificações construídas por esses imigrantes chegaram ao tempo atual. Em sua maioria encontram-se em mau estado de conservação e não atendem às condições atuais de habitabilidade e de eficiência energética. O atendimento a estas demandas contemporâneas traz no seu bojo a preservação dessas edificações.

Sobre isto, pode-se citar o caso da cidade de Pelotas que possui em torno de 1700 edificações inventariadas pelo município como de interesse cultural, a maioria em estilo eclético, localizadas em seu centro histórico. Pesquisa ressalta a importância de se criar mecanismos de incentivo para evitar a degradação por abandono, apontando a requalificação

como um desses mecanismos, pois além de revitalizar, também melhora o desempenho térmico das edificações e o consequente conforto dos seus usuários. Para corroborar essas afirmações propõe a comparação do desempenho energético antes e depois de uma intervenção de requalificação em um edifício comercial histórico do século XIX em Pelotas. A pesquisa adotou como parâmetros o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) e a certificação alemã EnerPHit Standard. Foram realizadas simulações computacionais com o programa EnergyPlus, observando possíveis estratégias de otimização energética preservando a fachada e a volumetria do edifício. Em seguida, foi avaliado o custo dessas modificações e o retorno do investimento. Como resultado, foi verificado que é possível realizar a requalificação energética de uma edificação de interesse cultural, sem alterar os elementos arquitetônicos de sua fachada, obtendo-se um alto nível de conforto térmico e eficiência energética (CARVALHO; CUNHA, 2021).

Por outro lado, a preservação do patrimônio edificado guarda uma série de correlações com os paradigmas de desenvolvimento urbano sustentável. No caso de edifícios concentrados nos núcleos fundadores das cidades, sua preservação, por meio da restauração ou reabilitação faz com que seja otimizado o uso do solo onde já há infraestrutura e rede de serviços instalados. Reduzem-se os impactos relacionados às grandes obras viárias e com o transporte casa-trabalho-lazer dos moradores. A reabilitação contribui para a diminuição da demanda de energia e recursos naturais (incluindo uso do solo) necessários para a construção de novas edificações. Reduz o consumo de energia e emissões de CO<sub>2</sub> relacionados com demolição e transporte de entulhos, bem como diminuição do volume de resíduos lançados no meio ambiente (FREY *et al.*, 2008; LAEFER; MANKE, 2008; MANSFIELD, 2009; POWTER; ROSS, 2005; RYPKEMA, 2005; SEDOVIC; GOTTHELF, 2005). Ademais, considerando que boa parte das edificações de interesse cultural encontra-se sem uso, essas podem se constituir em uma reserva social para as demandas presentes e futuras de habitação (KOHLENER; HASSLER, 2002). No Brasil, na década passada, os 6,1 milhões de domicílios vazios nos centros urbanos (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2010) – muitas vezes abandonados, degradando áreas urbanas – seriam suficientes para suprir o déficit habitacional nacional de 5,8 milhões de domicílios ou de quase 25 milhões de residências inadequadas (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2021). Na Inglaterra, conforme a *Empty Homes Agency*, a reabilitação de edificações desocupadas (residenciais, comerciais e industriais) poderia criar 688.763 novos lares (EMPTY HOMES AGENCY (EHA), 2008). Por fim, a preservação proporciona ganhos sociais, ao garantir às cidades a manutenção de suas faculdades

simbólicas, preservando práticas culturais, paisagens e ambiências urbanas únicas, definidoras de um referencial de identidade e pertencimento dos seus cidadãos (FEILDEN, 2003; FITCH, 1990; MANSFIELD, 2009; POWTER; ROSS, 2005; RODWELL, 2007; TWEED; SUTHERLAND, 2007). Estes aspectos também se estendem às edificações localizadas em áreas rurais, sobremaneira aquelas que trazem no seu bojo técnicas construtivas tradicionais e a cultura de quem as construíram.

Ainda do ponto de vista ambiental, as intervenções de conservação, restauração ou reabilitação podem ser tão mais sustentáveis quanto incorporem medidas de racionalização do consumo de recursos naturais e energia, evitando desperdícios e promovendo melhorias no desempenho energético da edificação. Recursos despendidos na ampliação da capacidade de geração e transmissão de energia para atender o aumento no consumo de energia pelo estoque edificado poderiam ser destinados a outras áreas essenciais, como saúde, educação e segurança alimentar. Dentre as categorias de preservação do patrimônio edificado, a reabilitação é a que melhor se enquadra no objetivo de adequar as edificações de interesse cultural a novos padrões de uso e desempenho, inclusive ambiental. A reabilitação visa “atualizar e permitir uma nova abordagem de um imóvel antigo, no sentido de se obter dele melhor resultado e eficiência, a partir de sua total integração no cotidiano da sociedade que o preservou, sem, contudo, descaracterizá-lo” (RIBEIRO, 2008). A Carta de Lisboa sobre a reabilitação urbana integrada também define a reabilitação de um edifício onde diz que são “obras que têm por fim a recuperação e beneficiação de uma construção, resolvendo as anomalias construtivas, funcionais, higiênicas e de segurança acumuladas ao longo dos anos, procedendo a uma modernização que melhore o seu desempenho até próximo dos atuais níveis de exigência” (CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA, 1995).

A reabilitação de edificações de interesse cultural requer um equilíbrio, muitas vezes delicado, entre a manutenção da integridade do edifício e o atendimento das exigências atuais de manutenção, segurança, acessibilidade, conforto e desempenho. A problemática não se resume a introduzir materiais, equipamentos e sistemas novos nessas edificações, respeitando sua significância, integridade, autenticidade e, também, a reversibilidade da intervenção – princípios fundamentais da teoria da restauração do patrimônio arquitetônico. Prescritos em cartas e convenções internacionais, os fundamentos teóricos da restauração reúnem os critérios básicos para intervenção no patrimônio edificado, de forma a salvaguardar os elementos que lhe atribuem valor cultural. Diversas pesquisas têm tratado dessa relação entre o patrimônio edificado e suas peculiaridades relacionadas aos critérios de restauração e à necessária atualização desse tipo de edificação. Nesta linha, Cuchí Burgos (2021) fala de um sério conflito

entre os valores patrimoniais e as necessidades de eficiência energética, que deve ser resolvido através da análise de soluções técnicas menos agressivas como sistemas de isolamento interior, sistemas de climatização eficientes ou, em último caso, eximindo o patrimônio arquitetônico de requisitos regulamentares de energia zero, como no caso europeu, já que o seu valor patrimonial deve prevalecer sobre o valor social. O problema de melhorar a eficiência energética dessas edificações também é decorrente do olhar de quem os torna patrimônio. É um olhar que confere qualidade patrimonial aos elementos físicos, materiais ou, pelo menos, suportados direta e intimamente por eles. Sua permanência, a permanência de sua aparência ligada à sua materialidade, sua autenticidade baseada na continuidade no tempo de sua realidade física, são o suporte de sua qualidade patrimonial. Isso significa que não é incoerente mudar livremente os usos de um edifício, incluindo modernos sistemas de climatização ou equipamentos para apoiá-los, desde que isso não afete direta ou indiretamente a materialidade dos elementos sobre os quais se sustenta o seu valor.

Rispoli e Organ (2019) apontam que os edifícios antigos têm um desempenho diferente dos atuais e que medidas aplicadas a essas edificações devem ser feitas com o conhecimento suficiente dessa diferença e devem ser compatíveis com os princípios de conservação. Lidelöw *et al.* (2019) comentam do crescente interesse no desempenho energético de edifícios antigos e da grande quantidade de artigos sobre estratégias de eficiência energética para essas edificações, que estão sendo publicados em revistas especializadas. Por outro lado, mostram que em muitos casos não há uma visão geral de como a eficiência energética e a conservação do patrimônio são abordadas nesses estudos, havendo uma lacuna na relação entre a análise do consumo de energia e a análise dos valores do patrimônio arquitetônico. Destacam que, ao considerar melhorias energéticas, questões referentes à preservação devem ser mais explicitamente articuladas e analisadas em relação aos princípios ou metodologias de conservação estabelecidos.

A necessidade de se atingir padrões de eficiência energética nas edificações tem desencadeado práticas de pesquisa e design destinadas a reduzir suas emissões de carbono e melhorar o seu conforto interno e as suas condições de funcionalidade. Sob este aspecto, ao lidar com arquiteturas históricas que precisam preservar seu valor cultural, deve ser empreendido um esforço científico. Isto demanda a investigação de estratégias de requalificação a serem implementadas nesse tipo de edificação, sem o comprometimento de seu valor arquitetônico. Esta foi a motivação para que Cabeza, De Gracia e Pisello (2018) tenham feito uma revisão classificando diferentes exemplos do uso de abordagens de eficiência energética e da integração de energias renováveis em edificações de interesse cultural, incluindo

energia solar e geotérmica, e o uso de bombas de calor e outros sistemas de ventilação e ar condicionado de aquecimento de alta eficiência.

Na mesma linha, Qu et al. (2021) avaliam o potencial de economia de energia, acessibilidade e desempenho térmico de medidas passivas de requalificação de um edifício histórico (casa vitoriana do final do século XIX). Isolamento de paredes internas, atualização de áreas envidraçadas e melhoria da estanqueidade foram as medidas avaliadas, classificadas como medidas tradicionais e avançadas, e agrupadas em 63 combinações de requalificação. Essas combinações são avaliadas e comparadas, e as mais favoráveis são determinadas para alcançar múltiplos objetivos (máxima economia de energia, maior custo-benefício e mais eficiência energética). A influência das combinações de requalificação mais favoráveis na melhoria do nível de conforto térmico interno também é avaliada dinamicamente usando a ferramenta de simulação EnergyPlus.

Quando a abordagem é a regulamentação em vigor, as intervenções em edificações de interesse cultural devem aumentar a sua eficiência energética, de acordo com esses regulamentos. Em pesquisa realizada em uma edificação na cidade de Veneza, os resultados mostraram que as normativas de preservação são tão restritas que dificultam as intervenções, sobremaneira na envoltória dos edifícios (SCHIBUOLA; SCARPA; TAMBANI, 2018). Os autores afirmam que no patrimônio arquitetônico, sistemas e medidas de controle de *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (HVAC) (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado) devem ser melhorados, uma vez que são o único meio verdadeiro de eficiência energética, contrapondo-se a inúmeras pesquisas que ressaltam o necessário balanço entre as intervenções e o caráter histórico e estético dos edifícios. Essa contradição fica clara quando, no caso do governo italiano, de acordo com as recentes diretivas da *European Union* (EU), atenção especial é dada às requalificações energéticas de edifícios de interesse cultural, com incentivos econômicos aos proprietários ou às administrações públicas, adotando estratégias energéticas que melhoram o envelope e o desempenho energético, obtendo resultados significativos. No entanto, de acordo com os regulamentos nacionais restritos, relativos ao patrimônio arquitetônico, a maioria das ações não pode ser aplicada a edificações de interesse cultural, embora representem cerca de 30,1% do total (GALATIOTO *et al.*, 2019).

A reabilitação e a requalificação, objetivando eficiência energética e desempenho térmico, devem preservar e, se necessário, resgatar os valores culturais, os quais são a base para a definição das intervenções e tratamentos que foram empregados na edificação histórica. No âmbito da reabilitação, a valorização do uso destaca-se em importância. Edifícios reabilitados têm sua importância econômica restabelecida e veem revertida sua obsolescência.

Nesse ponto cabe uma discussão referente às diferentes denominações das ações diretas de preservação, quando da intervenção em edificações de interesse cultural, apontadas pela literatura especializada e abordadas de diferentes formas pelos diferentes autores: conservação, restauração, adequação, readequação, reabilitação, requalificação, *retrofit*, além de outras ações diretas de preservação como limpeza, manutenção e consolidação. A proposta inicial desta pesquisa é a utilização do termo requalificação, na medida em que são propostas estratégias para a melhoria das condições de habitabilidade das edificações estudadas. Avançando na questão, considerando-se o que se depreende de muitos estudos de caso, a requalificação, assim como a reabilitação, consiste em processos que buscam contribuir para a preservação e uso sustentável de bens culturais edificados em situação de subutilização, deterioração ou degradação social, por meio da criteriosa adequação de seus atributos espaciais, materiais e/ou de infraestrutura às finalidades pretendidas. Entretanto, essas categorias diferem-se pelo fato de que enquanto a reabilitação consiste em um processo com ênfase na potencialização do uso atual do bem ou no restabelecimento e potencialização de um uso anterior, a requalificação consiste em um processo com ênfase em dotar o bem de um uso ou funcionalidade que ele jamais teve (TOFANI, 2019). Observa-se que no que tange aos propósitos dessa pesquisa que as duas categorias se encaixam nos objetivos a serem atingidos.

Neste sentido, Daudén (2020) fala que muitos desses termos ligados à arquitetura são usados inadequadamente de forma análoga, como ocorre na forma de referir-se a intervenções em edifícios existentes. Restauração, reforma, *retrofit*, requalificação, reabilitação, são denominações que aparecem de forma extensiva e quase sempre sinônima, o que exige a necessidade de algum esclarecimento. A autora ressalta que restauração é uma disciplina, conhecimento autônomo, que dentro do campo da arquitetura vem, desde o século XIX, discutindo a preservação do patrimônio arquitetônico, enquanto as demais palavras são usadas essencialmente como variações de reforma. A autora ainda fala que a reabilitação costuma ser atribuída ao tipo de intervenção que pressupõe uma mudança de uso no programa do edifício construído – o que contradiz a afirmação de Tofani (2019) – mas também visa uma atualização e reflexão acerca dos espaços, como em todas as reformas. Ainda segundo a autora, isso vale para outros nomes, como "requalificação", "remodelação", "renovação", que são todas variações dentro de "reforma". O que diferencia fundamentalmente todas as demais terminologias de "restauração" é justamente o valor cultural que este atesta do objeto que sofre a ação de projeto. Da mesma forma, nos últimos tempos o mercado consagrou o termo *retrofit* para lidar com as obras de atualização tecnológica nos edifícios existentes, adequando as construções às normas técnicas locais, tornando os espaços funcionais e modernizados

respondendo às demandas contemporâneas, através da remodelação do edifício ou dos seus sistemas, incorporando novas tecnologias e conceitos. De maneira geral visando à valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da sua vida útil, eficiência operacional e eficiência energética (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT, 2013). Ainda, conforme a Instrução Normativa (IN) – Nº 2 (BRASIL, 2014, p.01), no âmbito da certificação energética nacional em edifícios, “*retrofit* é qualquer reforma que altere os sistemas de iluminação, condicionamento de ar ou a envoltória da edificação”. O termo *retrofit* utilizado em inglês, traduzido para o português, significa reformar, equipar, modernizar, remodelar, renovar.

Ainda sobre as denominações das ações diretas de intervenção, os alemães valem-se do termo *sanierung* quando se referem a intervenções em edificações existentes visando melhorias das condições de habitabilidade e, principalmente, eficiência energética. Em tradução livre para o português o termo significa renovação. Na sequência da presente pesquisa, esquivando-se de estrangeirismos, e levando-se em conta todas as considerações abordadas sobre as diferentes categorias, adota-se o termo requalificação como categoria de intervenção, para atingir os objetivos do trabalho, ou seja, na aplicação das diferentes estratégias para melhoria do conforto térmico e da eficiência energética nas edificações objetos de estudo.

Para finalizar, volta-se ao final da década de 1970, nas palavras de Smith (1978) que alertava para a necessidade de se reconhecer que as tecnologias de reciclagem e climatização eram relativamente “novas” e que a maior parte das pesquisas e desenvolvimento de produtos eram direcionadas para novas construções. Já naquela época, segundo o autor, 30% de todas as construções nos Estados Unidos envolviam trabalhos em prédios existentes. Até aquele momento, proprietários dessas edificações poderiam empreender medidas de reabilitação e de requalificação recomendadas e reduzir muito a energia usada para aquecimento e resfriamento, sem destruir as qualidades históricas e arquitetônicas que faziam o prédio meritório de preservação. Da mesma forma, os conceitos tradicionais de restauração foram evoluindo ao longo dos tempos, bem como os critérios de intervenção também se modificaram. Resumindo, como bem fala Comas (2011), todo edifício é patrimônio no sentido lato de herança, legado e riqueza e este patrimônio pode acabar se desvalorizando. Nesse sentido, a reforma se faz para que esse patrimônio continue valorizado. A reforma requalifica a forma e a reciclagem requalifica a função em dimensão simbólica, operacional, espacial e técnica, separadamente ou em conjunto. Portanto, é de suma importância que os profissionais da área se apropriem dos novos conceitos, possibilitando intervenções atualizadas e criteriosas e a sustentabilidade do patrimônio arquitetônico.

## 1.1 TEMA

Este estudo aborda a avaliação quantitativa e qualitativa de estratégias propostas para a melhoria do desempenho térmico e da eficiência energética em edificações residenciais de interesse cultural no estado do Rio Grande do Sul. Enquadra-se no âmbito dos objetivos de desenvolvimento sustentável na medida em que, a partir da melhoria das condições de habitabilidade, prioriza a preservação dessas edificações como contraponto a sua demolição e substituição.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A abordagem do estudo propõe, como estudos de caso, edificações de interesse cultural no estado do Rio Grande do Sul categorizadas de acordo com as correntes migratórias mais significativas, do ponto de vista de sua herança arquitetônica, incluindo edificações representativas do estilo eclético, muito frequente nos centros urbanos. Foram escolhidas edificações cujo uso original seja residencial e foram analisadas em seu contexto original. Para cada categoria será escolhida apenas uma edificação, devido à complexidade das análises que incluem simulação computacional e do tempo necessário para essas análises. Também a falta de recursos e de mobilidade, decorrentes da excepcionalidade do período pandêmico, limitaram os trabalhos de campo. Desta forma, foi critério fundamental para a escolha dos objetos de estudo a disponibilidade de documentação, proveniente dos levantamentos de arquivo, e de material iconográfico, principalmente fotográfico. Outro ponto a se destacar é de que não foram feitas calibrações dos modelos simulados através de protótipos ou modelos reais, bem como medições que pudesse auxiliar na determinação das paredes equivalentes, também decorrentes da falta de recursos e mobilidade. Estudos piloto referenciados ao longo da pesquisa serviram de base para a modelagem e simulação dos objetos de estudo. Também não foram analisados efeitos decorrentes da condensação resultante do uso de elementos nos fechamentos verticais, bem como questões relacionadas à acústica e resistência ao fogo.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral do projeto é propor estratégias para requalificação do patrimônio arquitetônico residencial no Rio Grande do Sul tendo em vista desempenho térmico e eficiência energética.

### 1.3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste estudo são:

- a) Avaliar os níveis de eficiência energética de edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul;
- b) Avaliar o desempenho térmico de edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul;
- c) Avaliar a compatibilidade de estratégias de requalificação em edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul com base em critérios de proteção ao patrimônio e técnico-funcionais;
- d) Propor um mecanismo de ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa das estratégias de requalificação de edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul;
- e) Subsidiar a criação de normativas e parâmetros para intervenções de requalificação em edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul.

## 1.4 RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA

Nas intervenções no patrimônio arquitetônico os valores históricos e artísticos têm grande importância, pois são aqueles que foram inicialmente atribuídos aos bens culturais, portanto os mais conhecidos. Com o passar dos anos novos valores surgiram, até que se chegasse aos mais recentes como o simbólico e o afetivo. Nessa trajetória têm-se os valores paisagístico, etnográfico, antropológico, de referência urbana, de raridade formal, dentre outros. Já nos anos 70 do século passado, Curtis (1979) elencou uma série de valores para o estabelecimento de um critério capaz de ordenar as edificações listadas como dignas de preservação, numa primeira tentativa de se estabelecer uma matriz referencial sobre os valores

patrimoniais no Brasil. A atribuição de valor a um bem cultural, por parte da sociedade ou de grupos sociais determinados, é que o torna patrimônio, ou seja, só adquire significância quando consagrado pelo uso coletivo e compreendido dentro do processo social (CURTIS, 1979).

Afora os valores intrínsecos do patrimônio arquitetônico, técnicas de intervenção nesse tipo de edificação são, em princípio, as mesmas aplicadas para edificações normais. Entretanto, essas edificações são mais sensíveis em relação a questões formais e a sua autenticidade histórica (GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010). Intervenções para a melhoria do desempenho térmico e o aumento da eficiência energética nesse tipo de edificações devem considerar não somente aspectos quantitativos, referentes à diminuição do consumo energético ou da diminuição das horas de desconforto, mas também questões de compatibilidade em relação aos critérios de restauração.

Edificações integrantes do patrimônio edificado, por serem sistemas complexos de valor cultural, arquitetônico e identitário, precisam de atenção especial para garantir que sejam preservadas, usadas e gerenciadas ao longo do tempo de maneira sustentável. Isso implica uma demanda por soluções de requalificação capazes de melhorar suas condições térmicas internas, reduzindo o uso de fontes de energia e preservando a importância do patrimônio. Muitas vezes, no entanto, a escolha e implementação de soluções de requalificação é limitada por regulamentos, falta de conhecimento sobre o comportamento higrotérmico do patrimônio edificado, viabilidade econômica etc. Buda et al. (2021) mostram que a escolha de soluções técnicas pode ser muito difícil, já que podem ter impacto em outros aspectos, como a conservação do patrimônio e a qualidade do ambiente interno, mas ao mesmo tempo aponta para uma ampla gama de soluções equilibradas, soluções que atendam à necessidade de melhorar a sustentabilidade do edifício histórico, reduzindo os consumos e respeitando a integridade do edifício.

Outra relevante pesquisa sobre a compatibilização entre estratégias de requalificação e as demandas de preservação fala que as políticas e regulamentações voltadas para a redução do uso de energia em edificações de interesse cultural, através de sua requalificação, é um dos desafios mais difíceis tanto para a pesquisa quanto para a prática, pois é necessário combinar as metas tradicionais de energia/economia com programas de salvaguarda e teorias de conservação (RUGGERI et al., 2020). Os autores atentam para o fato de que na Europa uma parte significativa do estoque edificado é de interesse cultural e que esses bens frequentemente são excluídos das intervenções destinadas à redução do seu consumo de energia, já que a legislação reconhece que o seu caráter excepcional deve ser preservado em primeiro lugar. Desta forma, as estratégias visando eficiência energética devem ser tão eficazes quanto

conservadoras, de acordo com os princípios de conservação da restauração arquitetônica, ou seja, reversibilidade, distinguibilidade, compatibilidade, autenticidade e intervenção mínima. Qualquer estratégia de requalificação energética deve ser concebida principalmente como uma oportunidade para proteger o edifício, e não como uma ação que possa entrar em conflito com suas necessidades de conservação.

Lacunas na relação entre a aplicação de estratégias de requalificação e questões relacionadas à preservação são abordadas em pesquisa que fala que as intervenções em edificações de interesse cultural não têm os mesmos objetivos do que sua aplicação em edifícios modernos. Requisitos adicionais devem ser seguidos, como o uso de materiais compatíveis com o original e a preservação da autenticidade para garantir valores históricos, artísticos, culturais e sociais ao longo do tempo. A pesquisa destaca o paradoxo observado nos países escandinavos, que são modelos na aplicação de políticas ambientalmente sustentáveis, mas ainda pobres em integrar questões de preservação e propõe uma revisão sistemática na intersecção entre sustentabilidade ambiental e conservação (LOLI; BERTOLIN, 2018).

A localização do patrimônio arquitetônico é outro aspecto importante, já que nos recintos urbanos, a grande maioria das edificações de interesse cultural está situada em áreas centrais, o que implica em uma localização privilegiada e acesso à infraestrutura consolidada. A permanência deste tipo de edificação mediante sua requalificação, além da preservação da memória cultural, contribui para a humanização destes locais. Além disso, também em áreas rurais, encontram-se conjuntos de edificações de interesse cultural que poderiam, através da sua requalificação, incorporar-se a rotas regionais relacionadas à cultura que deu origem a esse patrimônio edificado podendo, inclusive, ser fonte de rendimentos extra para seus proprietários.

Estudo mostra que a emergência de itinerários culturais de classificação formal e institucional tem levado ao aparecimento de percursos de diversificado interesse cultural, que têm contribuído para um desenvolvimento sustentável. As rotas urbanas passaram a ser instrumentos de atração turística, focalizando-se em diversas temáticas culturais. Estas novas tendências do turismo podem constituir uma oportunidade para a criação de novas rotas que promovam a arquitetura, enquanto elemento identitário do destino. Na definição de novas rotas culturais é, então, fundamental proceder à identificação e localização do patrimônio edificado, quer seja monumental, vernacular ou contemporâneo (RODRIGUES; ROSA; REBELO, 2020).

Os recursos naturais envolvidos na construção e preservação do patrimônio arquitetônico, bem como as técnicas construtivas, também são aspectos fundamentais a serem considerados quando da intervenção nesse tipo de edificação. “Nunca demolir, a demolição é a solução mais fácil, mas também é um desperdício de energia, materiais e história e um ato de

violência. A transformação é fazer mais e melhor com o que existe”. Estas são as palavras dos ganhadores do prêmio Pritzker 2021, Anne Lacaton e seu marido Jean-Philippe Vassal ao descreverem seu trabalho que realizam há três décadas (ZABALBEASCOA, 2021). Na mesma linha de pensamento, alguns anos antes, Cassar (2006) apontava que o patrimônio edificado é uma reserva de capital ambiental e energético na forma de materiais e técnicas construtivas e que além da energia embutida na produção desses materiais, sua preservação também contribui para a recuperação de técnicas e materiais não mais utilizados. Ainda nesse sentido, todo edifício comporta energia incorporada, correspondente à energia consumida para construí-lo e que vale considerá-lo recurso potencial em termos de sustentabilidade, ressaltando que técnicas tradicionais podem ser recuperadas e instrumentalizar uma mimetização formal (COMAS, 2011).

Quando se fala em recuperação de técnicas construtivas tradicionais, há muitos casos de oficinas organizadas pelos órgãos de preservação para o ensino de ofícios em vias de desaparecimento, valendo-se de pessoas que guardam determinados conhecimentos e trazendo benefícios sociais ao incentivar, por exemplo, que jovens em situação de vulnerabilidade apropriem-se desses conhecimentos, como forma de geração de renda, na medida em que forem aplicados na manutenção e conservação de edificações restauradas. Exemplo importante neste quesito é o trabalho desenvolvido na Bahia, mais especificamente na Chapada Diamantina, que fala que o valor cultural do território, do ponto de vista da arquitetura, também se fundamenta em saberes e técnicas tradicionais que envolvem a manipulação da terra, pedra, cal e madeira e que propiciaram o aparecimento de vários exemplares arquitetônicos, em diferentes tempos e que se mantêm íntegros até hoje. Todos esses saberes e técnicas construtivas persistem, sobretudo, em virtude da atuação insistente de mestres pedreiros, carpinteiros, marceneiros, funileiros, serralheiros e mestres que trabalham com a palha que, além da produção arquitetônica, se ocupam da transmissão dos conhecimentos que acumularam ao longo da vida. É difícil pensar em uma política de salvaguarda do patrimônio cultural no território da Chapada Diamantina desvinculada das questões ambientais. Constatou-se que nos municípios da região onde há mais discussões e ações, por parte das instituições governamentais e da sociedade organizada, vinculadas ao meio ambiente e à preservação do patrimônio cultural, os ofícios e as práticas construtivas tradicionais, relacionadas à construção civil, estão em processo de valorização e reutilização, seja na sua forma original, seja sofrendo adaptações no uso dos novos materiais. Um exemplo a ser mencionado são os cursos e experiências práticas voltados às técnicas relacionadas à bioconstrução promovidos por instituições não governamentais. Cabe, portanto, incentivar o uso dos materiais e das técnicas tradicionais na construção civil, tendo

em vista o reforço aos sistemas de trocas solidárias e à economia local, consolidando uma atitude que representa muito mais do que suprir as necessidades individuais, mas estabelecer laços entre as comunidades do território (LINS; SANTANA, 2017).

Outro quesito importante que deve ser levado em conta quando da intervenção no patrimônio edificado são os custos relacionados não somente às ações de preservação, mas também àqueles relacionados à manutenção destas edificações. Uma significativa economia de energia pode resultar em recursos direcionados a outras ações e na diminuição do custo com manutenção de equipamentos. Além disso, muitas estratégias de economia de energia trazem no seu bojo outras vantagens como o aumento da vida útil das edificações. No caso de prédios públicos de interesse cultural, por exemplo, a obtenção de recursos para sua requalificação depende, principalmente, de incentivos governamentais através de leis de incentivo federal e estadual.

Paralelamente à legislação, a eficiência energética e a melhoria do conforto dos usuários podem agregar-se como critérios fundamentais na preservação do patrimônio arquitetônico. Estes critérios podem servir de incentivo aos proprietários a investirem na manutenção destas edificações na medida em que reduzem seus gastos com energia e incorporam facilidades contemporâneas tanto no uso, quanto na possibilidade de venda ou locação de seus imóveis. A preservação de edificações de interesse cultural tende a ser muito mais eficiente quando seu uso for mantido. Residências requalificadas que mantenham seus moradores são garantia de conservação. Além disso, há a possibilidade de que benefícios fiscais possam ser concedidos aos proprietários de edificações de interesse cultural como incentivo a sua preservação, como ocorre em países como França, Inglaterra e Estados Unidos, o que vem sendo muito discutido nos fóruns referentes ao assunto (COMAS, 2011).

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo desenvolve-se em cinco capítulos. O primeiro capítulo introduz a pesquisa, descreve a justificativa, apresenta os objetivos gerais e específicos e a delimitação do tema. O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura e a discussão dos assuntos pertinentes à proposta da pesquisa. O terceiro capítulo apresenta o método da pesquisa, descrevendo as etapas através das quais o trabalho será realizado. No quarto capítulo são apresentados, discutidos e analisados os resultados obtidos. As considerações finais desse estudo são apresentadas no quinto capítulo. Na sequência têm-se as referências bibliográficas, os apêndices e os anexos.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 INTERVENÇÃO EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE CULTURAL

#### 2.1.1 Normativas para intervenção em edificações de interesse cultural

A inclusão de edificações de interesse cultural em normativas de eficiência energética é muito recente. Mesmo com o crescente interesse no estudo do conforto ambiental e da eficiência energética nessas edificações, muitos regulamentos ainda isentam tais edifícios de sua aplicação. Porém, os “edifícios históricos não podem continuar a ser ignorados pelos padrões internacionais de eficiência energética”, como apontam Martínez-Molina *et al.* (2016) que ressaltam que apenas recentemente a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) publicou um projeto de uma nova norma chamada “Diretrizes Energéticas para Edifícios Históricos” (ASHRAE, 2015). O *Green Building Council* (GBC, 2021), da Itália, estabeleceu um protocolo de certificação voluntário para edificações históricas denominado *GBC Historic Building*, baseado em critérios de sustentabilidade da certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) aliados aos princípios de intervenção na área de restauração. Essa certificação é aplicável a edificações construídas antes de 1945 que sejam objeto de intervenção. Além das categorias de avaliação de sustentabilidade do sítio; gestão de água; energia e atmosfera; materiais e recursos; qualidade ambiental interna; inovação em design; e prioridade regional; foi incluída a área temática “Valor Histórico”. Nesta categoria são avaliados aspectos como a reversibilidade da intervenção, aspectos de conservação, de compatibilidade de uso e compatibilidade construtiva.

Outras ações internacionais recentes podem ser observadas quanto à preocupação de melhoria de desempenho energético no âmbito da preservação do patrimônio arquitetônico, como apontadas por Japiassú (2019) tais como, a instalação do Comitê Científico Internacional sobre Energia e Sustentabilidade no Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (*International Council of Monuments and Sites* (ICOMOS)) e a publicação da *European Norms* (EN) 16883 (EN, 2017), que trata sobre “Diretrizes para melhorar o desempenho energético de edificações históricas”, norma essa que não abrange apenas edificações tombadas.

No Brasil, a partir de 2009, foram estabelecidas as primeiras normativas destinadas à certificação em eficiência energética de edificações novas e existentes, que ocorre mediante a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Os métodos e os requisitos técnicos para a etiquetagem são estabelecidos pelo RTQ-C (BRASIL, 2009), e de edificações

residenciais Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012). Inicialmente, estabelecida em caráter voluntário, a regulamentação de eficiência energética brasileira passou a ser obrigatória a partir de 2014, sendo que as edificações públicas foram as primeiras com a exigência quanto à obtenção da etiqueta A. Entretanto, a Instrução Normativa (IN) N° 2 (BRASIL, 2014) isenta de obtenção da etiqueta A as edificações públicas federais nos casos de *retrofit*, que por questões de inviabilidade técnica ou econômica não permita atingir tal classe de eficiência, sendo vedado baixar essa classe:

Art.6º As obras de *retrofit* devem ser contratadas visando à obtenção da ENCE Parcial da Edificação Construída classe "A" para os sistemas individuais de iluminação e de condicionamento de ar, ressalvados os casos de inviabilidade técnica ou econômica, devidamente justificados, devendo-se, nesse caso, atingir a maior classe de eficiência possível.

Art. 7º No caso de obra de *retrofit* da envoltória é vedado baixar a classe de eficiência existente, recomendando-se obter a maior classe possível de eficiência, observadas as restrições intransponíveis do projeto original como, por exemplo, o tombamento da edificação (BRASIL, 2014. p. 02).

Ainda segundo a IN N° 2 (BRASIL, 2014), no campo do uso da ENCE, as alterações no sistema de condicionamento de ar, iluminação e da envoltória compreendem estratégias de *retrofit* aplicadas às edificações, e intervenções dessa ordem podem reduzir significativamente seu consumo energético.

### **2.1.2 Cartas patrimoniais na intervenção em edificações de interesse cultural**

Para Japiassú (2019) as discussões teóricas sobre conceitos e critérios em intervenções no patrimônio arquitetônico, iniciadas no século XIX, deram origem a um arcabouço teórico e instrumental até hoje em uso. Entretanto, muitos temas ainda são objeto de discussão, novas análises e proposições, o que indica um campo em constante atualização. Intervir e preservar os valores de significação cultural simultaneamente, constitui-se em um desafio na rotina dos profissionais que trabalham com intervenções no patrimônio edificado. Conforme a autora, as intervenções realizadas até o século XVIII não podem ser denominadas como de “restauração”, considerando a significação atual que o termo possui. A preservação ou mesmo a consciência de conservação não eram ainda oriundas de um distanciamento histórico ou da consciência de que tais bens seriam portadores de valores artísticos ou históricos.

Buscar medidas de manutenção e em favor de sua perenidade, atendendo a questões de caráter eminentemente pragmático, era o que ocorria desde a Antiguidade até a Idade Média na preservação de edificações. Com o Renascimento, aos poucos as construções do passado passam a ser mais apreciadas por suas qualidades artísticas e históricas, surgindo a noção de monumento histórico, conforme definido posteriormente por Alois Riegl no início do século XX. Ou seja, diferentemente daqueles monumentos intencionalmente constituídos para evocar uma lembrança, a produção de um dado momento histórico passa a adquirir significação cultural, seja por seus valores históricos, simbólicos ou artísticos, tenha ela sido produzida ou não com intenção memorial (CUNHA, 2010).

Eugène Viollet-le-Duc (1814-1879), John Ruskin (1819-1900), e Camillo Boito (1836-1914) foram alguns teóricos percussores das discussões sobre preservação no século XIX e apresentavam posicionamentos diferentes com relação à intervenção no patrimônio cultural edificado. Em meados do século XX, Cesari Brandi (1906-1988) surge com outra definição do conceito de restauração.

Para Viollet-le-Duc “restaurar um edifício não é mantê-lo, repará-lo ou refazê-lo, é restabelecê-lo em um estado completo que pode não ter existido nunca em um dado momento”(VIOLLET-LE-DUC, 2000, p. 29), sendo esta a primeira definição do moderno conceito de restauração. O teórico partiu do entendimento dos edifícios enquanto sistemas construtivos, contribuindo para avanços na modernização e na conservação desses e ressaltando a importância de destinar uma função, bem como propor adequações ao edifício antigo, para atender a um novo programa.

Uma vez que todos os edifícios nos quais se empreende uma restauração têm uma destinação, são designados para uma função, não se pode negligenciar esse lado prático para se encerrar totalmente no papel de restaurador de antigas disposições fora de uso. Ademais, o melhor meio para conservar um edifício é encontrar para ele uma destinação, é satisfazer tão bem todas as necessidades que exige essa destinação, que não haja modo de fazer modificações (VIOLLET-LE-DUC, 2000, p. 65).

Ruskin, em seu livro “A Lâmpada da Memória”, posiciona-se radicalmente contra qualquer intervenção em restauração, considerando-a como falseamento e defendendo a verdade arquitetônica. Segundo o teórico:

A restauração significa a mais total destruição que um edifício pode sofrer: uma destruição da qual não se salva nenhum vestígio. Uma destruição acompanhada pela falsa descrição da coisa destruída. A assim chamada Restauração é a pior forma de destruição (RUSKIN, 2008).

Já Camillo Boito se posiciona de forma crítica às propostas de Viollet-Le-Duc e Ruskin em relação à arquitetura. Entretanto, quase como uma postura de conciliação entre os teóricos supracitados, ele confirma a importância de ações de conservação no bem para evitar a restauração, mas quando a restauração for necessária deve seguir determinados princípios, tais como os de intervenção mínima e que as obras sejam distintas do original expressando o seu tempo, trazendo o conceito de distinguibilidade, princípios esses que permanecem atuais (BOITO, 2008).

No século XX, Cesare Brandi apresenta outra definição do conceito de restauração, quando afirma que “a restauração constitui o momento metodológico do reconhecimento da obra de arte, na sua consistência física e na sua dúplici polaridade estética e histórica, com vistas a sua transmissão para o futuro” (BRANDI, 2008, p. 30). Desta forma, diferencia reparação, que pode referir-se a qualquer objeto de produção humana, de restauração, que se refere à obra de arte como tal. Daí derivam-se seus dois axiomas, sendo que o primeiro diz que “restaura-se somente a matéria da obra de arte” (BRANDI, 2008, p. 31) e o segundo que diz que “a restauração deve visar ao restabelecimento da unidade potencial da obra de arte, desde que isso seja possível sem cometer um falso artístico ou um falso histórico, e sem cancelar nenhum traço da passagem da obra de arte no tempo” (BRANDI, 2008, p.33).

Apesar de se passarem praticamente cem anos entre a primeira definição do conceito de restauração (Viollet-Le-Duc) e a segunda (Cesare Brandi), as discussões sobre preservação propostas por Ruskin, Viollet-Le-Duc, Boito e Cesare Brandi tiveram grande repercussão e foram ampliadas no século XX, quando houve contribuições ao conceito, tanto que surge o “restauro crítico”. Ainda, nesse intervalo de tempo, houve profundas modificações no campo prático e igualmente na metodologia de intervenção em arquiteturas históricas e essas modificações seguem em processamento (CUNHA, 2010). Atualmente há o início da defesa da participação dos usuários nas decisões de projeto, principalmente na Espanha.

Essas modificações que se verificam no campo prático se baseiam, além das discussões teóricas, nas cartas patrimoniais. Essas são fruto da discussão de um determinado momento, não tendo a pretensão de ser um sistema teórico desenvolvido de maneira extensa e com absoluto rigor, tampouco de expor toda a fundamentação teórica do período. Na realidade são documentos de caráter indicativo, ou no máximo prescritivo, que sistematizam os pontos dos quais foi possível obter consenso, apresentando indicações gerais. Apesar de não possuírem caráter normativo, podem ter papel importantíssimo na construção normativa relacionada à preservação dos bens culturais dos vários países, já que suas indicações devem ser reinterpretadas para as realidades locais, considerando as diversas realidades culturais de cada

país. O estudo das cartas patrimoniais torna possível o entendimento da forma de como o conceito de bem patrimonial foi ampliado no decorrer da história, além do entendimento dos princípios gerais de intervenção por elas apresentados. No início, o conceito de bem patrimonial estava relacionado com o de monumento e de entorno, depois se estendeu para o conjunto arquitetônico e urbanístico, paisagem natural, ampliando-se, assim, o conceito de bem a ser preservado. Todas essas categorias de bens foram denominadas como patrimônio material e, por fim, foi incluída a categoria de patrimônio imaterial, relativo aos bens intangíveis de expressões culturais de um povo, tais como, ritos religiosos, festas populares, produção de artesanato, entre outros. Tais conceitos podem ser observados nas cartas relativas à proteção do patrimônio cultural, tais como, a Carta de Atenas (1931), a Carta de Veneza (1964), a Carta de Restauro (1972), a Carta de Burra (1980) e a Carta de Brasília (1995) (JAPIASSÚ, 2019).

A Carta de Atenas (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN), 2020a), que não se trata da Carta de Atenas do Movimento Moderno, apresenta doutrinas e princípios gerais para a salvaguarda de monumentos. O documento diz que se deve priorizar a conservação do monumento, as ações de manutenção visando sua preservação, em vez da reconstituição integral, a qual deve ser realizada somente em casos estritamente necessários, em vista da sua deterioração ou destruição. A restauração deve preservar a obra histórica e artística do passado, sem prejuízo do estilo de nenhuma época. Também apresenta a necessidade de se avaliar a situação de cada caso e atentar-se para as manifestações patológicas antes das ações de intervenção. Nessa carta são expostas ainda recomendações quanto à relação dos monumentos com seu entorno imediato. As novas construções, por exemplo, em especial as vizinhas aos monumentos, devem respeitar o caráter e a fisionomia das cidades; a preservação dos aspectos paisagísticos para manutenção de caráter antigo; e a retirada de elementos que prejudiquem a visibilidade dos monumentos (publicidade, poste, fios etc.) presentes na vizinhança. Quanto à reconstrução, aqui entendida como anastilose, ou seja, a única forma de reconstrução admitida na restauração, é possibilitada em caso de ruínas, sendo necessária a distinguibilidade dos materiais novos em relação aos originais, conforme citado:

...quando se trata de ruínas, uma conservação escrupulosa se impõe, com a recolocação em seus lugares de elementos originais encontrados (anastilose), cada vez que o caso o permita; os materiais novos necessários a esse trabalho deverão ser sempre reconhecíveis (IPHAN, 2020a, p. 3).

As recomendações da Carta de Atenas tiveram grande repercussão internacional e forneceram as bases para o documento de Veneza.

A Carta de Veneza (IPHAN, 2020b) apresenta propostas pautadas na visão conhecida como restauro crítico, que vem a ser uma releitura das propostas do restauro filológico, consolidadas nas cartas dos anos 1930. O restauro filológico, proposto inicialmente por Camilo Boito e que teve continuidade no trabalho de Gustavo Gionannoni, era marcado pelo enfoque nos aspectos documentais das obras e às marcas de sua passagem ao longo do tempo, respeitando as várias fases. Como descrito por (KÜHL, 2010):

O intuito não era, de modo algum, voltar a um suposto estado original. Se houvesse necessidade de inserir novos elementos, deveriam ser diferenciados da obra como estratificada, para não induzir o observador ao engano de confundir a intervenção com a obra (em alguma de suas etapas). Daí a denominação “restauro filológico”, pois a ação pode assemelhar-se a edições críticas de textos, em que, ao tratarem-se as lacunas do documento, quaisquer interpolações e interpretações são feitas através de elementos diferenciados: tipo e cor da letra, notas à margem do escrito (KÜHL, 2010, p. 294).

Para essa autora, as recomendações da Carta de Veneza são caracterizadas como restauro crítico pelo fato de ser entendido essencialmente como ato crítico que analisa a obra do ponto de vista formal, documental e material, dando o devido respeito a suas várias fases e às marcas que a passagem do tempo depositou sobre a obra. Desta forma, segundo a autora, na visão do restauro crítico, trabalha-se de forma consciente, elucidando que qualquer ação é sempre ato do presente, não propondo uma reversibilidade do tempo, ou intervindo na realidade figurativa do bem (KÜHL, 2010), como pode-se depreender do que fala os artigos 5º e 6º do documento (IPHAN, 2020b):

Artigo 5º - A conservação dos monumentos é sempre favorecida por sua destinação a uma função útil à sociedade; tal destinação é, portanto, desejável, mas não pode nem deve alterar à disposição ou a decoração dos edifícios. É somente dentro destes limites que se deve conceber e se pode autorizar as modificações exigidas pela evolução dos usos e costumes.

Artigo 6º - A conservação de um monumento implica a preservação de um esquema em sua escala. Enquanto subsistir, o esquema tradicional será conservado, e toda construção nova, toda destruição e toda modificação que poderiam alterar as relações de volumes e de cores serão proibidas (IPHAN, 2020b p. 2).

Fica evidente que o princípio de distinguibilidade prevê que o edifício possa passar por diversas intervenções, sendo necessário estabelecer a diferenciação de cada época, evitando-se a falsificação. No entanto, essas intervenções devem seguir princípios, tais como o da mínima intervenção, compatibilidade e reversibilidade, visando à preservação das características que apresentem significância cultural (JAPIASSÚ, 2019).

A Carta do Restauro (IPHAN, 2020c) foi elaborada em 1972 pelo Ministério da Instrução Pública da Itália e apresenta 12 artigos que descrevem diretrizes para intervenções de restauração em todos os tipos de obra de arte, desde monumentos arquitetônicos, pinturas e esculturas, a conjunto de edifícios de interesse monumental, histórico ou ambiental, centros históricos, coleções artísticas e jardins de especial importância. Nesse documento, a restauração é definida como qualquer intervenção, não necessariamente direta, a fim de manter em funcionamento, facilitar a leitura e transmitir integralmente as obras anteriormente citadas. São descritas todas as diretrizes, etapas, responsabilidades, trabalhos, técnicas e programas para a preservação e restauração de bens históricos, artísticos e culturais. Nesse documento também se destacam os princípios de distinguibilidade, da intervenção mínima, da reversibilidade, e da compatibilidade de técnicas e materiais:

Artigo 8º - Qualquer intervenção na obra ou em seu entorno [...] deve ser realizada de tal modo e com tais técnicas e materiais que fique assegurado que, no futuro, não ficará inviabilizada outra eventual intervenção para salvaguarda ou restauração [...] (IPHAN, 2020c p. 3).

A Carta do Restauro, por sua vez, é muito específica para bens com alto valor patrimonial e muito rígida para a realidade latino-americana.

Baseada nos conhecimentos dos membros do ICOMOS, a Carta de Burra (ICOMOS AUSTRÁLIA, 2013) segue linhas de orientação, conservação e gestão dos sítios com significado cultural, designando o valor estético, histórico, científico ou social de um bem para as gerações passadas, presentes ou futuras. Documento publicado inicialmente em 1980, ela reconhece a necessidade de envolver pessoas nos processos de formação das decisões e aborda questões relacionadas às definições de conceitos como conservação e preservação por meio de manutenção e restauração, reconstrução (dadas às exceções, circunstâncias e características de elementos a serem implantados e mantidos) e procedimentos de intervenção como adaptação e uso. O documento apresenta, ainda, as diferenças conceituais entre esses termos:

- a) Conservação: significa todos os processos de cuidar de um lugar de forma a reter seu significado cultural;
- b) Manutenção: proteção contínua da substância (conjunto de materiais que fisicamente constituem o bem), do conteúdo e do entorno de um bem e não deve ser confundido com reparação, que, por sua vez, implica em restauração ou reconstrução;
- c) Preservação: manutenção no estado da substância de um bem e a desaceleração do processo pelo qual ele se degrada;

- d) Restauração: restabelecimento da substância de um bem a um estado anterior conhecido;
- e) Reconstrução: restabelecimento, com o máximo de exatidão, de um estado anterior conhecido com a introdução de materiais diferentes (novos ou antigos) na substância;
- f) Adaptação: agenciamento de um bem a uma nova destinação, sem a destruição de sua significação cultural;
- g) Uso: utilização que não implique mudança na significação cultural da substância, modificações que sejam substancialmente reversíveis ou que requeiram um impacto mínimo.

Embora o conceito de restauração da Carta de Burra seja mais recente, não é o mais aceito pelos profissionais da área no Brasil, sendo o conceito de restauro da Carta de Veneza de 1964 ainda o mais usual, pois é considerado como uma ação cujo objetivo é conservar e revelar os valores estéticos e históricos do monumento, fundamentando-se no respeito ao material original e aos documentos autênticos. Pode-se ressaltar ainda, que a proposta de novos usos e de adaptação de edificações de interesse cultural é apontada por teóricos e em documentos patrimoniais como estratégias de conservação desde que não haja perda da significância cultural do bem (JAPIASSÚ, 2019).

A Conferência de Nara, realizada em 1994 no Japão (IPHAN, 2020d), trata sobre autenticidade em relação a Convenção do Patrimônio Mundial. Este documento traz o reconhecimento do valor da autenticidade do patrimônio, assunto já comentado em 1964 na Carta de Veneza, porém, visando estudos científicos, planos de conservação e restauração etc. Sobre valores à autenticidade pode-se destacar que:

A conservação do patrimônio cultural em suas diversas formas e períodos históricos é fundamentada nos valores atribuídos a esse patrimônio. Nossa capacidade de aceitar estes valores depende, em parte, do grau de confiabilidade conferido ao trabalho de levantamento de fontes e informações a respeito destes bens. O conhecimento e a compreensão dos levantamentos de dados a respeito da originalidade dos bens, assim como de suas transformações ao longo do tempo, tanto em termos de patrimônio cultural quanto de seu significado, constituem requisitos básicos para que se tenha acesso a todos os aspectos da autenticidade.

Autenticidade, considerada desta forma e afirmada na Carta de Veneza, aparece como o principal fator de atribuição de valores. O entendimento da autenticidade é papel fundamental dos estudos científicos do patrimônio cultural, nos planos de conservação e restauração, tanto quanto nos procedimentos de inscrição utilizados pela Convenção do Patrimônio Mundial e outros inventários de patrimônio cultural (IPHAN, 2020d p. 3).

Novamente o tema de autenticidade é abordado, dessa vez em Brasília, no ano de 1995 (IPHAN, 2020e). Representantes do Cone Sul discutem a questão diante da situação regional de uma cultura “sincretista” e de resistência, no qual relaciona a autenticidade e a identidade; autenticidade e a mensagem; autenticidade e o contexto; a autenticidade e a materialidade. Outros pontos são levantados como a graduação e a conservação da autenticidade. Assim sendo, a adoção de novos usos é possibilitada desde que tenha um diagnóstico preciso de quais as intervenções que ele aceita e suporta:

A adoção de novos usos para aqueles edifícios de valor cultural é factível sempre que exista reconhecimento apriorístico do edifício e diagnóstico preciso de quais as intervenções que ele aceita e suporta. Em todos os casos, é fundamental a qualidade da intervenção, e que os novos elementos a serem introduzidos sejam de caráter reversível e se harmonizem com o conjunto (IPHAN, 2020e p. 4).

Deve-se evitar “em edifícios e conjuntos de valor cultural, as fachadas, a mera cenografia, os fragmentos, as colagens, as moldagens são desaconselhados porque levam à perda de autenticidade intrínseca ao bem” (IPHAN, 2020e p. 4).

De forma geral, as edificações objeto de restauração, não mantêm seu uso original, sendo necessária uma intervenção arquitetônica que resultará em um novo objeto, visto que não há neutralidade na ação de intervenção, já que a intencionalidade e a criatividade são inerentes à mesma, além de ser produto de um contexto temporal e cultural específico (CARSALADE, 2014). Ainda segundo o autor, a restauração deve ser abordada majoritariamente como um problema arquitetônico, apesar de relacionar-se com outros conhecimentos e ciências, como a história e a arte. Essa abordagem é defendida pelos principais teóricos de restauração atualmente. A arquitetura, entendida enquanto elemento que constrói a paisagem habitada, “é a maneira de ser individual no mundo e é essa individualidade o que precisa ser preservado: estamos preservando, afinal, a nós próprios” (CARSALADE, 2014, p. 529). Ao habitar o mundo, o ser humano atribui-lhe significados e a sensação de pertencimento ocorre quando há identificação com esses na perspectiva existencialista.

Voltando à Carta de Burra, a atribuição de significância cultural do bem deve ser realizada de acordo com um conjunto de indicadores de modo que nenhum deles deve ser revestido de uma importância injustificada, em detrimento dos demais. Contudo, essa atribuição de valores e significados do bem depende das diferentes leituras de espaço e tempo de cada sociedade, ou seja, é relativa à determinada cultura. Nesse aspecto, no patrimônio cultural, deve-se ter como meta a preservação de uma identidade em transformação em contraponto à preservação da imutabilidade do objeto:

Ao mudar a cultura, transformam-se os valores e transformam-se, também, é claro, as atitudes quanto ao patrimônio. Assim, parece que o que se preserva, na realidade, é a identidade em transformação, ou seja, a preservação não está na capacidade do bem de permanecer como está, mas na sua capacidade de mudar junto com as mudanças socioculturais. Essa concepção se choca com a aceção de imutabilidade do bem a ser preservado, pois também ele, como a tradição e a cultura, está em constante transformação. Não há, portanto, como buscar a essência do objeto de restauro em uma ideia imutável de “objeto” que sobreviveu à história, pois ele está inserido na história da vida, a qual se caracteriza pela transformação. [...] A questão da preservação se centra agora, portanto, no conceito de transformação, ou seja, como manejar essa transformação de forma que não se rompa a delicada tessitura entre a tradição e a contemporaneidade, pois, ao intervir no bem patrimonial nós o estamos modificando, sempre, afinal pela tradição ele já nos chega alterado, pela cultura ele nos chega tematizado e, pelo tempo, com sua significação “original” perdida (CARSALADE, 2014, n. p.).

Nesse contexto de permanente transformação, é de suma importância estabelecer o que seria autêntico em cada cultura para o desenvolvimento de projetos de intervenção em bens patrimoniais. De acordo com a Carta de Brasília (IPHAN, 2020e), um bem é considerado autêntico (considerado como verdadeiro, indubitável), quando há correspondência entre seu significado e sua materialidade. Assim, a autenticidade é um conceito mutável visto que depende do contexto social e cultural no qual se insere:

O tema da autenticidade passa então pelo da identidade, que é mutável e dinâmica e que pode adaptar, valorizar, desvalorizar e revalorizar os aspectos formais e os conteúdos simbólicos de nossos patrimônios.

Em um mesmo país não há uma única identidade e podem existir identidades conflitantes. As identidades nacionais continuam em processo de formação, o que dificulta ainda mais o estabelecimento de critérios únicos e invariáveis para o "autêntico"[...].

[...] Os edifícios e lugares são objetos materiais, portadores de uma mensagem ou de um argumento cuja validade, no quadro de um contexto social e cultural determinado e de sua compreensão e aceitação pela comunidade, os converte em um patrimônio (IPHAN, 2020e, p. 2-3).

A busca pela preservação da memória de artefatos arquitetônicos é designada pela sua significação cultural. As constantes transformações culturais fazem com que ao patrimônio sejam atribuídos novos significados ao longo do tempo. Essa mensagem ou argumento de um bem, portanto, pode mudar sem que haja, no entanto, perda do seu caráter. Nessa concepção, para um bem ser autêntico, é necessário que a mensagem original, e as outras atribuídas ao bem no decorrer de sua existência, seja compreendida e aceita pela comunidade, a qual é inserida em contexto sociocultural, para sua validação (IPHAN, 2020e).

Como se vê, muitos aspectos podem ser analisados na avaliação da autenticidade de um determinado bem, sendo necessário durante o projeto de intervenção identificar quais valores

de significação cultural foram atribuídos à edificação que a classifiquem como de interesse cultural. Assim como no trabalho de Japiassú (2019), esta pesquisa não tem como objetivo tratar sobre o processo de elaboração da significação cultural do bem, tampouco estabelecer a autenticidade de um bem edificado. O que se pretende é evidenciar a necessidade de identificação dos atributos do patrimônio cultural da edificação para o desenvolvimento do projeto de intervenção. Nesse aspecto, busca-se ressaltar a importância do estudo e do conhecimento dos princípios de intervenção apresentados nas cartas patrimoniais, pois esses refletem e consolidam as principais discussões e recomendações internacionais acerca da preservação do patrimônio arquitetônico.

Apesar das discussões iniciais sobre intervenção e preservação do patrimônio estar em torno da definição de restauração, ao longo do tempo esse conceito foi modificado. Posteriormente, conforme apresentada na Carta de Burra (ICOMOS AUSTRÁLIA, 2013), foram definidos termos de acordo com o tipo de ação de conservação, sendo a restauração apenas um dos tipos. Dessa forma, a restauração seria considerada uma das ações possíveis de intervenção no patrimônio. A partir da classificação dos tipos de intervenção para conservação do bem, o conceito de adaptação é o que mais se aproxima de requalificação. Assim, restauração e requalificação se apresentam como conceitos distintos, mas que estão sob um mesmo arcabouço conceitual que é a intervenção no patrimônio arquitetônico (JAPIASSÚ, 2019).

### **2.1.3 Legislação brasileira para intervenção em edificações de interesse cultural**

Quando da intervenção em edificações de interesse cultural é importante o conhecimento da existência de legislação e regulamentação pertinentes. O conhecimento dessas e das diretrizes para intervenção por parte dos profissionais ainda na fase de projeto é de fundamental importância, pois pode orientar uma análise crítica, auxiliar na fundamentação das estratégias propostas e no processo de tomada de decisões projetuais com o intuito da preservação dos atributos do patrimônio arquitetônico (JAPIASSÚ, 2019). Na esfera federal, uma referência para os projetos de restauração é o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural, do Projeto Monumenta (BRASIL, 2005). No capítulo referente ao patrimônio edificado, na identificação e conhecimento do bem, levantamentos físicos são discriminados e os levantamentos se restringem aos aspectos construtivos e locais da edificação. Nenhuma menção é feita a condicionantes climáticas ou aspectos relativos ao conforto dos usuários e/ou eficiência energética. Nas etapas de prospecção e diagnóstico estas questões também não são abordadas. Já na etapa da proposta de intervenção

são mencionados os projetos complementares, estando as questões relativas ao conforto resumidas no item “Instalações Mecânicas” onde se tem o subitem “Ar-condicionado Central”. Este item diz que:

[...] o conjunto de condições e de necessidades elencadas nos estudos, levantamentos, pesquisas e diagnósticos que embasaram a proposta de intervenção, deverá caracterizar o projeto de instalação do sistema de ar condicionado central a ser elaborado para a edificação (BRASIL, 2005, p. 64).

Estranhamente, o item se reporta às etapas anteriores onde em nenhum momento estas questões foram abordadas.

Na esfera estadual um exemplo é o Manual de Orientação para a Preservação do Patrimônio Edificado (INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO DE ESTADO (IPHAE), 2009) onde novamente as questões acima mencionadas são superficialmente abordadas. Fatores climáticos são tratados apenas como causas de deterioração dos edifícios. Já no item “Equipamentos de Climatização e Elevadores” uma única menção é feita ao fato da necessidade de uma pesquisa de mercado buscando-se equipamentos de ar-condicionado que requeiram menos espaço e cuja instalação comprometa minimamente a construção. Ponto positivo é a recomendação de que sua instalação ocorra nos pontos menos visíveis evitando-se janelas, ornamentos etc.

Na esfera municipal, poucos municípios têm órgãos responsáveis pela preservação do patrimônio cultural e, mesmo quando têm, dificilmente há critérios claros para as intervenções. Agregue-se a essa problemática a lacuna de profissionais minimamente especializados no assunto e, mesmo, o caso de profissionais não habilitados interferindo no patrimônio arquitetônico.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES DE INTERESSE CULTURAL

Inobstante o grande acervo de edificações de interesse cultural a ser preservado no cenário brasileiro, independentemente de seu tombamento, e de ser importante a adequação desses edifícios às necessidades atuais de uso, conforto ambiental e eficiência energética, há relativamente poucos trabalhos que abordam essa temática no Brasil (ESTEVES; LOMARDO, 2009; APOLÔNIO *et al.*, 2010; KNOP, 2012; MACHADO, 2014; MENDONÇA, 2014; GUIMARÃES, 2017; JAPIASSÚ, 2019). No exterior, pesquisas têm sido desenvolvidas na área, sobremaneira voltadas à preocupação com a conservação de bens culturais em museus,

galerias de arte e espaços afins. Os estudos de caso apresentados a seguir têm em comum as restrições impostas pelo caráter histórico das edificações, o que também vale para edificações de interesse cultural de uso residencial, foco desta pesquisa.

Papakonstantinou, Kiranoudis e Markatos (2000) apresentam um modelo matemático que fornece informações detalhadas sobre velocidade do ar e temperatura predominantes em edifícios tridimensionais com qualquer complexidade geométrica, para determinadas condições meteorológicas externas. O modelo é utilizado para avaliar as condições ambientais dentro do salão principal do Museu Arqueológico de Atenas. Tipicamente, sistemas de controle ambiental para museus, galerias de arte e outros prédios especiais fornecem um controle muito mais exato do que o esperado de sistemas convencionais de ar-condicionado. Artefatos de valor inestimável e tesouros artísticos abrigados em tais edificações podem ser permanentemente danificados se o ambiente não é bem controlado. Também considerando o conforto dos ocupantes objetiva projetar e instrumentalizar prédios que proporcionem ambientes mais limpos e mais confortáveis com máxima economia de energia.

Realmente, museus são edificações de particular significância devido a sua função e seu status. Papadopoulou, Avgelis e Santamouris (2003), apresentam o trabalho da conversão de uma torre medieval, construída no ano de 1344 como uma fortaleza, em um museu, onde discute-se as dificuldades que surgem na tentativa de contrabalançar as condições climáticas internas necessárias para proteger as exposições e fornecer condições confortáveis para os visitantes, respeitando o significado estético e histórico do edifício. É necessário considerar a difícil, porém necessária tarefa de avaliar fatores como a capacidade e condutividade térmica da envoltória da edificação, a ventilação necessária bem como o movimento do ar interno, no sentido de determinar os ganhos por resfriamento. Finalmente, resta o desafio de projetar e dimensionar um efetivo e eficiente sistema de climatização, que deverá ser o mais discreto possível.

Interferência com mínimo impacto na edificação é o que apresenta o trabalho de Balocco e Grazzini (2007), que trata da intervenção em um local com severas restrições por parte do patrimônio histórico, onde a questão é a interação entre proteção, conservação e conforto para obras de arte e visitantes, considerando que a preservação e critérios de manutenção possam prevalecer sobre os requisitos de uso. O trabalho consiste no estudo de uma solução integrada e reversível de uma instalação arquitetônica proposta para o *Hall of the Five Hundred (Salone dei Cinquecento)* em Florença. Reversibilidade do sistema proposto é entendida como a possibilidade de as presentes condições facilmente serem restauradas. O projeto de uma instalação de condicionamento adequada é somente um dos aspectos do grande problema que

diz respeito ao desempenho termofísico e da qualidade das características do envelope do edifício e isto é realmente muito importante quando o edifício é um museu e uma obra de arte ao mesmo tempo. O Hall está localizado no primeiro piso na parte central do *Palazzo Vecchio* de Florença e consiste em um volume simples com uma base trapezoidal. As paredes e o teto estão cobertos com afrescos. O sistema de cobertura é naturalmente ventilado por grandes aberturas em fita posicionadas nas paredes externas. Qualquer intervenção deve ser justificada por uma restauração conservativa rigorosa do ambiente do museu, edifício e obras de arte. O projeto da instalação proposta deveria partir de uma incidência mínima na estrutura, apresentar condições sob as quais o prédio torna-se estável, seguindo as variações climáticas sazonais. Os requisitos de reversibilidade da instalação conduzem a uma proposta de instalação com sua estrutura localizada na estrutura existente e buscando somente aquecimento no inverno. Os resultados de simulações mostraram que o sistema proposto é a solução para o necessário compromisso entre proteção de obras de arte e o ambiente de museu e condições térmicas internas que possam ser satisfatórias para os visitantes. Este sistema não garante total conforto para os ocupantes, mas as condições microclimáticas internas necessárias para o museu e a proteção da obra de arte. Os resultados mostraram que a instalação de aquecimento proposta é totalmente compatível com a estrutura do edifício e seu uso (BALOCCO; GRAZZINI, 2007).

No Brasil, como dito anteriormente, a prática deste tipo de pesquisa é recente no meio acadêmico, sendo que os primeiros trabalhos são do início da década de 90 do século passado.

Ribeiro (1993) desenvolveu um método de trabalho conjugando as áreas de conforto ambiental e preservação de imóveis, com o objetivo de recuperar prédios de valor cultural ainda existentes no centro do Rio de Janeiro, dentro de uma perspectiva de reciclagem desses imóveis. Foram utilizados os sobrados remanescentes de três dos mais antigos caminhos traçados no Centro Histórico da Cidade, e que ainda sobrevivem no tecido urbano. Buscaram-se formas de intervenção que possibilitassem uma nova abordagem do patrimônio arquitetônico, chegando aos conceitos que a reciclagem vem desenvolvendo atualmente. Avaliou-se o desempenho dos tradicionais sobrados do centro histórico do Rio de Janeiro através dos conceitos da arquitetura bioclimática, buscando o comportamento térmico desses imóveis em clima tropical úmido. Desta forma, estabeleceram-se critérios que compatibilizam os diferentes conceitos das duas áreas em questão, tendo como premissa o fato de que o conforto dos imóveis seria utilizado como instrumento para sua preservação, para que os prédios considerados de interesse à memória de determinado grupo social, acompanhem o desenvolvimento da sociedade da qual fazem parte.

Ribeiro (2000), também apresenta a Avaliação Pós-Ocupação (APO) aplicada ao prédio do Paço Imperial, situado na Praça XV de Novembro, no centro do Rio de Janeiro, construído em 1743 e preservado pelo IPHAN como monumento histórico e artístico nacional. Foi restaurado em 1989 e passou a ser um Centro Cultural. A pesquisa teve por objetivo avaliar a utilização de um prédio tombado, que foi adaptado para ser um centro cultural, visando montar um método de projeto de restauração para monumentos com usos análogos. Em avaliações realizadas em prédios preservados como patrimônio cultural, é necessário ter em mente que enquanto a APO, muitas vezes, recomenda modificações físicas na edificação, no caso de um monumento histórico estas intervenções possuem restrições por parte dos órgãos de proteção, o que acarreta uma dificuldade maior para possíveis soluções.

Corrêa (2001) objetiva o desenvolvimento de um método de avaliação das condicionantes e variáveis de conforto ambiental em edificações de interesse cultural, com base na análise dos elementos da arquitetura tradicional, dando suporte, assim, ao processo de regulamentação das legislações de controle e preservação nos projetos de restauração, bem como de novas intervenções em sítios históricos.

Pereira, Atanásio e Werlich, (2001) fazem o estudo da iluminação em edificações de interesse cultural através de simulação numérica com programas computacionais. São avaliadas a capela Saint Marie de La Tourette de Le Corbusier e a Biblioteca Seinäjyky projetada por Alvar Aalto, ambos apresentando um caráter diferenciado com relação à admissão e distribuição da luz natural. A modelagem foi feita em programa *Computer-aided Design (CAD)* e as simulações no *Lightscape Visualization System 3.2*.

Bezerra (2003) desenvolve uma pesquisa onde estabelece diretrizes gerais de aspectos de conforto ambiental relativos às condições térmicas, acústicas e luminosas em edifícios tombados e reciclados para fins administrativos. A autora realiza uma série de análises incluindo a participação do usuário nos prédios depois de restaurados e em pleno funcionamento. Fala ainda que o processo de restauração de edificações de interesse cultural tombadas envolve um estudo minucioso - prospecção, levantamento histórico, iconográfico, arqueológico etc. e, de acordo com seu novo uso, são incorporadas estratégias de requalificação. A maioria dos casos, porém, requer cuidados com soluções termoacústicas e de iluminação. Outro aspecto importante a ser considerado é que a maioria dos edifícios restaurados é de propriedade do poder público e estes, quando adaptados para um novo uso, são utilizados, geralmente, com atividades culturais como, museu, teatro, galeria de arte etc.

Na área de simulação, Carotenuto (2009) avalia o desempenho termo energético de uma edificação de interesse cultural de elevada inércia térmica da Universidade Federal do Rio

Grande do Sul: o Instituto de Química, fundado em 1926, localizado no Campus Central da Universidade, em Porto Alegre. No estudo, são avaliadas as variáveis representativas do conforto térmico das zonas simuladas, tais como, temperatura média do ar, temperatura média radiante, temperatura operativa, umidade relativa e *Predict Mean Vote* (PMV) (Voto Médio Estimado) ao longo dos meses do ano. Também são apresentados o consumo e o custo de energia elétrica anual do prédio.

Ainda usando como ferramenta a simulação, Knop (2012) avalia o comportamento termo energético de uma edificação histórica com novo uso, localizada no centro da cidade de Pelotas, bem como verifica os efeitos de possíveis medidas corretivas para o aumento dos níveis de conforto térmico e também de eficiência energética.

Em outra pesquisa, Japiassú (2019) desenvolve um método para avaliar a aplicabilidade de estratégias de *retrofit* energético, considerando os princípios de preservação em edificações de interesse cultural, auxiliando e orientando a tomada de decisão do projetista.

Avaliação do comportamento de diferentes estratégias para a reabilitação de um patrimônio industrial de interesse histórico, visando seu desempenho energético, valendo-se de simulações computacionais, é outro tema de pesquisa. São simulados modelos com três envoltórias diferentes além da utilização de estratégias passivas como ventilação natural e controle da iluminação artificial (SACCARO, 2021).

Estratégias recomendadas pelos diferentes autores são ferramentas auxiliares quando da necessidade de intervenção no patrimônio arquitetônico. Muitas pesquisas enfatizam a necessidade de uma análise e descrição minuciosas da edificação, identificando seus materiais, sistemas etc. Nos trabalhos apresentados, análises, monitoramentos e simulações detalhadas das diferentes edificações foram realizados. Outra questão apontada por quase todos os autores é o necessário cuidado com mudanças físicas que possam ser irreversíveis, no caso de edificações de interesse cultural, devido a novas demandas energéticas, de conservação e de conforto.

### **2.2.1 Conforto térmico**

Os estudos de conforto térmico tiveram, nos últimos anos, um aumento de interesse por parte dos pesquisadores, sendo que as normas existentes englobam estudos sobre todas as variáveis que influenciam no conforto térmico, quer sejam em ambientes condicionados ou não (LAMBERTS, 2016). As normas internacionais referência no assunto são a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) e a ISO 7730 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), 2005). As principais normas brasileiras que tratam do assunto

são a NORMA BRASILEIRA DE REGULAÇÃO (NBR) 15220 (ABNT, 2005) e a NBR 15575 (ABNT, 2013).

O conforto térmico, segundo a ASHRAE Standard 55, é “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa” (ASHRAE, 2017). Nesse sentido, pode-se afirmar que existe uma condição na qual uma pessoa não prefira nem mais calor nem mais frio no ambiente, sendo essa condição conhecida por neutralidade térmica (FANGER, 1970).

A percepção das pessoas em relação ao ambiente é muito relativa, dependendo de diferentes variáveis, como o clima, a vestimenta, a atividade desenvolvida, a idade, o sexo, a massa corporal e, por esse motivo, é difícil estipular condições que agradem a todas as pessoas no espaço. Assim, as condições ambientais de conforto são entendidas como aquelas que proporcionam bem-estar ao maior número de pessoas possíveis (RUAS, 1999). Desta forma, é possível estabelecer critérios e índices que determinem limites aceitáveis de conforto.

#### 2.2.1.1 Variáveis de Conforto Térmico

A sensação térmica do ser humano está diretamente relacionada ao equilíbrio térmico de seu corpo como um todo. Este equilíbrio é influenciado pela atividade física e vestimenta, bem como pelos parâmetros ambientais. Desta forma, o conforto térmico depende de variáveis que podem ser separadas em dois grupos: variáveis ambientais e variáveis humanas. As variáveis ambientais estão diretamente relacionadas ao clima e são a temperatura do ar, medida em °C; a umidade relativa do ar, medida em %; a temperatura média radiante, medida em °C; e a velocidade do ar, medida em m/s. As variáveis humanas envolvidas são o tipo de vestimenta, medida em Clo (*clothing*) e o tipo de atividade desenvolvida, medida em Met (metabolismo). Quando esses fatores forem estimados ou medidos, a sensação térmica para o corpo como um todo pode ser prevista através do cálculo de índices de conforto térmico (ISO, 2005).

#### 2.2.1.2 Índices de Conforto Térmico

O conforto térmico pode ser mensurado através de índices que possam expressar a satisfação ou não de um grupo de pessoas em um ambiente térmico. A necessidade de se conhecer a sensação térmica, experimentada pelas pessoas quando expostas a determinadas combinações das variáveis ambientais e pessoais, levou ao desenvolvimento de índices de conforto. Desta forma, índice de conforto térmico é um parâmetro que representa o efeito

combinado das principais variáveis intervenientes. Através dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como obter subsídios para melhor adequá-lo às necessidades humanas (RUAS, 2001).

Fanger (1970), que realizou diversos experimentos sobre conforto térmico, é o principal representante da linha analítica de avaliação das sensações térmicas humanas. Suas equações e métodos têm sido utilizados mundialmente e serviram de base para a elaboração de normas internacionais importantes, fornecendo subsídios para o equacionamento e cálculos analíticos de conforto térmico, conhecidos hoje como *Predicted Mean Vote* (PMV) e a *Percentage of Dissatisfied* (PPD). As normas ISO 7730 (ISO, 2005) e ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2017) ditam sobre estes índices, propondo métodos para a resolução dos mesmos e especificando condições térmicas aceitáveis para o conforto.

#### 2.2.1.2.1 Voto Médio Estimado (PMV)

O voto médio estimado PMV (*Predicted Mean Vote*) relaciona o conforto térmico com variáveis fisiológicas nas equações de balanço de energia empíricas para relatar as percepções de conforto e as trocas térmicas existentes entre o corpo e o ambiente. Estas equações levaram em consideração variáveis tais como a temperatura e a resistência térmica da vestimenta, a taxa de produção de energia metabólica, a taxa de trabalho realizado, as taxas de calor total dissipado pela pele e pela respiração, a velocidade do ar na zona térmica, os coeficientes de transferência de calor por convecção e radiação linearizado, e a temperatura média da pele (ASHRAE, 2017; ISO, 2005). O PMV é um índice em função da taxa metabólica e do balanço de calor do corpo humano, e para calculá-lo é necessário obter dados relativos ao ambiente térmico em estudo. A correlação entre estes itens é dada conforme a Equação 1:

$$PMV = [0,303\exp(-0,036 \times M) + 0,028] \times L \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

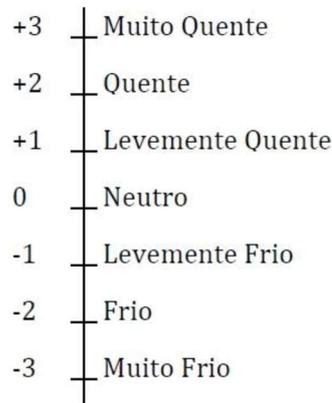
PMV = voto médio previsto, adimensional;

M = metabolismo, W/m<sup>2</sup>;

L = termo de acumulação de energia, W/m<sup>2</sup>.

O índice PMV utiliza uma escala térmica proposta por (FANGER, 1970), a qual pode ser vista na Figura 2.

Figura 2 – Escala de sensação térmica de sete pontos



Fonte: adaptado de (ISO, 2005, p.2)

#### 2.2.1.2.2 Percentagem de Pessoas Insatisfeitas (PPD)

Com o objetivo de estimar a quantidade de pessoas termicamente descontentes com o ambiente, Fanger (1970) relacionou o valor PMV com a percentagem estimada de insatisfeitos PPD (*Predicted Percentage Dissatisfied*). Para considerar a insatisfação de algumas pessoas, dentro de um grupo de pessoas, foi criada a metodologia do PPD. Conhecido os valores de PMV, estima-se o PPD através da seguinte correlação, Equação 2:

$$PPD = 100 - 95 \exp[-0,03353 \times PMV_4 + 0,2129 \times PMV_2] \quad \text{Equação 2}$$

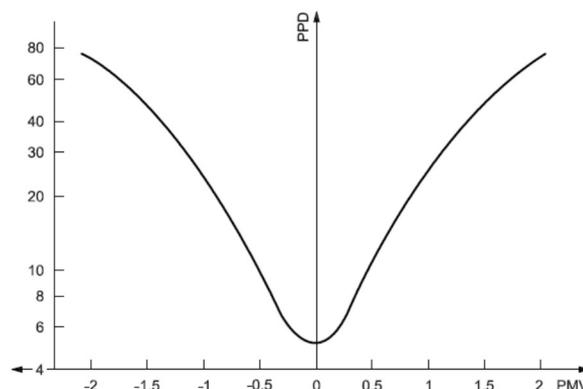
Sendo:

PPD = percentagem de pessoas insatisfeitas, adimensional;

PMV = voto médio previsto, adimensional.

O valor do PPD também pode ser observado pelo gráfico da Figura 3:

Figura 3 – PPD em função do PMV



Fonte: (ISO, 2005, p.5)

O estudo que determinou essas variáveis analisou a resposta de 1300 pessoas, submetidas a diferentes ambientes térmicos controlados e suas sensações e percepções quanto ao conforto e desconforto. A partir dessa análise, foi possível estipular diferentes condições nas quais a sensação de conforto é obtida (FANGER, 1970).

### **2.2.2 Eficiência energética**

A eficiência energética na arquitetura pode ser entendida como um atributo inerente à edificação representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo de energia. Portanto, um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Ao se diminuir o consumo de energia são reduzidos, conseqüentemente, os impactos ambientais. Pode-se concluir isso pelo fato de que, em muitos casos, para gerar energia acaba-se gerando os mais diversos impactos ao ambiente.

No âmbito de eficiência energética, as edificações tornaram-se foco de várias políticas tanto internacionais quanto nacionais desenvolvidas e implantadas, já que representam, nas últimas décadas, o consumo de aproximadamente 50% da energia produzida no planeta (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA), 2017). Critérios relacionados à sustentabilidade e eficiência energética, no projeto de edificações, têm sido objeto de um crescente interesse, como pode-se observar no número de publicações sobre o assunto, tanto referente às normas, como em artigos científicos em periódicos e congressos nacionais e internacionais. Dentro desse contexto, as edificações de interesse cultural possuem um enorme potencial para implantação de estratégias que visem à redução do consumo energético e à melhoria do conforto ambiental, ressaltando-se, entretanto, a necessidade de uma adequada avaliação da edificação, ainda mais quando são aplicáveis princípios de preservação patrimonial.

## **2.3 SIMULAÇÃO COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

Na avaliação de desempenho térmico e eficiência energética de edificações de interesse cultural, a literatura aponta para as mesmas ferramentas aplicadas às edificações sem essa característica. As mais utilizadas são o monitoramento das condições ambientais, através de medições de variáveis com o uso de equipamentos, e os programas computacionais de

simulação que utilizam modelos tridimensionais. Campanhas de monitoramento em edificações de interesse cultural são realizadas em diversas pesquisas apontadas pela literatura (BALOCCO; GRAZZINI, 2007, 2009; BEZERRA, 2003; BIDNER *et al.*, 2003; BRAGER *et al.*, 2004; CAMUFFO *et al.*, 2004; CANTIN *et al.*, 2010; CONRAD *et al.*, 2007; COSTANZO *et al.*, 2006; LA GENNUSA *et al.*, 2005; PAPADOPOULOS; AVGELIS; ANASTASELOS, 2008; PAPADOPOULOS; AVGELIS; SANTAMOURIS, 2003; SAÏD *et al.*, 1999; STRADA *et al.*, 2002; TABLADA *et al.*, 2009). Entretanto, dificuldades e problemas de tempo e custo são levantados por alguns autores como justificativa para o uso de programas de simulação ao invés de medições. Campanhas de monitoramento requerem a instalação e permanência de equipamentos durante longos períodos nos edifícios, tornando-se uma tarefa ainda mais difícil quando essas edificações estão em uso, pela necessidade de material humano disponível para acompanhamento e vigilância de equipamentos caros, devido aos riscos de danos ou mesmo de roubo. Além disso, têm-se problemas de calibragem e a necessidade de apoio computacional (BALOCCO, 2007; BALOCCO; GRAZZINI, 2009; CAMUFFO; BERNARDI, 1995). Desta forma, a utilização de programas computacionais para modelagem e simulação, apesar de não ser uma tarefa fácil, traz a vantagem da independência da pesquisa em relação à utilização de equipamentos de medição e de material humano. Simulações computacionais também permitem avaliações simultâneas em diferentes edificações e, com a confiabilidade dos atuais programas, permite resultados adequados aos objetivos propostos. Nessa linha, Munarim, Marques de Mendonça e Ghisi (2014) apresentam um método para simulação computacional, com ênfase no patrimônio edificado, partindo da construção do modelo para simulação a partir do levantamento de dados e falam dos cenários de intervenções, cenários esses relacionados a estratégias de intervenção a serem avaliadas individualmente ou de forma combinada. Finalizam comentando da importância de se adequar as ferramentas de simulação às particularidades construtivas das edificações antigas, que fogem do convencional, e nas deficiências na simulação desse tipo de edificações, já que os programas de simulação termoenergética utilizam algoritmos desenvolvidos para edificações novas. Da mesma forma, os modelos e os processos simulados são sempre representações simplificadas do real e a complexidade das variáveis envolvidas pressupõe determinado grau de incertezas. Buscando diminuir o efeito dessas incertezas, a simulação pode ser muito mais eficiente na comparação do desempenho predito de alternativas de projeto do que para prognosticar o desempenho de uma única solução, fazendo da simulação computacional uma ferramenta muito adequada à avaliação e apoio à tomada de decisão em projetos de intervenção em edificações existentes.

Akkurt *et al.* (2020) apontam que ferramentas de simulação dinâmica, tradicionalmente utilizadas para estudar o desempenho térmico de novos edifícios, têm sido adotadas no patrimônio arquitetônico para investigar possíveis estratégias para sua conservação e à adequação de cenários de requalificação energética, de acordo com as suas condições de contorno. Os autores afirmam que nessas abordagens, os pesquisadores e mesmo os projetistas se deparam, muitas vezes, com a falta de dados de entrada termofísicos confiáveis para vários componentes do envelope, bem como algumas limitações intrínsecas nos modelos de simulação, especialmente para descrever as características geométricas e peculiaridades do patrimônio edificado, ressaltando a necessidade do preenchimento dessas lacunas de conhecimento. Na falta de dados, aproximações podem ser realizadas na busca da melhor caracterização das propriedades termofísicas dos materiais históricos.

Em outra pesquisa que envolve simulação, foi estabelecida uma metodologia para identificar as estratégias mais eficazes para alcançar a eficiência energética, em edificações de interesse cultural, levando-se em consideração os aspectos históricos desse tipo de edifício e seu contexto cultural. A metodologia envolve análises preliminares para identificar os elementos de valor e o nível de transformabilidade das fachadas; a seleção de diferentes materiais isolantes; simulações dinâmicas do comportamento dos edifícios; análises de custos de intervenção em relação a cada tipo de isolamento e, por fim, a elaboração de uma matriz multicritério para identificar o método mais eficaz de melhoria da eficiência energética de uma parede histórica com diferentes graus de transformabilidade. Cada material isolante foi analisado em relação aos requisitos de aquecimento e resfriamento e seu impacto no custo do material (ANNIBALDI *et al.*, 2020).

Outro aspecto a ser comentado é quanto ao uso de otimização de simulação para a avaliação de diferentes estratégias, em diferentes cenários, para que se alcance os objetivos propostos. Exemplo desse tipo de abordagem encontra-se no trabalho de Ulusam Seçkiner e Koç (2022) onde abordagens de simulação de otimização foram adotadas em um complexo hospitalar para minimizar as dificuldades de controle de um sistema multienergético e seus componentes, como eletricidade, aquecimento, gás natural e conversores, visando minimizar o custo geral do sistema e reduzir as emissões de carbono, observando se a demanda é atendida. Modelos de simulação foram construídos para diferentes cenários e foram otimizados para encontrar a melhor configuração energética com o custo mínimo sem exceder o valor de emissão de carbono estabelecido. A pesquisa demonstra que abordagens de otimização de simulação são ferramentas flexíveis que permitem gerenciar e planejar sistemas de energia nas construções.

Outro exemplo é trazido pela pesquisa de Mostafazadeh, Eirdmoussa e Tavakolan (2023) que propõem uma estrutura baseada em simulação para otimizar os aspectos ambientais, econômicos e sociais de *retrofits* de energia de edifícios sujeitos a mudanças climáticas e variação de preço de energia, aplicada a uma edificação residencial. Apresentam uma nova abordagem de otimização multiobjetivo baseada em simulação com base em uma modificação de algoritmos de otimização. O método da pesquisa é desenvolvido integrando o programa computacional EnergyPlus como motor de simulação de energia com algoritmo de otimização codificado na linguagem de programação MATLAB. Um grande número de medidas ativas, passivas, de conservação de água e requalificação são exploradas para maximizar o desempenho ambiental, minimizando o desconforto térmico e o custo do ciclo de vida.

## 2.4 EDIFICAÇÕES DE INTERESSE CULTURAL NO RIO GRANDE DO SUL

### 2.4.1 Introdução

A seleção das edificações de interesse cultural, a serem objeto de avaliação neste trabalho, leva em consideração, inicialmente, aquelas representativas das principais correntes migratórias no estado do Rio Grande do Sul. São definidas como edificações de interesse cultural aquelas que possuem valores de significância cultural, podendo esses valores serem arquitetônicos, estéticos, históricos, documentais, arqueológicos, econômicos, sociais e, mesmo, políticos, espirituais ou simbólicos (FEILDEN, 2003), sendo estas edificações tombadas ou não. Como ponto de partida foi usado como referência para essa classificação a publicação “A Arquitetura no Rio Grande do Sul”, coletânea que apresenta artigos sobre a arquitetura luso-brasileira (MACEDO, 1987), arquitetura da imigração alemã (WEIMER, 1987) e arquitetura da imigração italiana (BERTUSSI, 1987), dentre outros. Na sequência, outras referências importantes foram consultadas. Para a arquitetura representativa da imigração alemã, Weimer (2005) apresenta extensa relação de edificações na publicação *Arquitetura Popular da Imigração Alemã*. Para a mesma categoria também há o trabalho de pesquisa que relaciona centenas de edificações representativas da imigração alemã na região do Vale do Taquari (COLLISCHONN; RICHTER, 2000). No caso da arquitetura representativa da imigração italiana, (POSENATO, 1983) lista várias edificações para essa categoria. Para o desenvolvimento da pesquisa foram acrescentadas a essas categorias edificações representativas do ecletismo, estilo que aparece em grande quantidade nas principais cidades do estado, e que em parte também foi produzido por arquitetos ou engenheiros imigrantes,

sobretudo de etnia alemã e italiana. Em se tratando dessa categoria, dentre muitos trabalhos, tem-se como exemplo a pesquisa de Schäffer (2011) que classifica um grande número de edificações do ecletismo em Porto Alegre, através da influência arquitetônica predominante, fazendo um recorte do período entre 1880 e 1930. Deve-se observar que as correntes migratórias que tiveram importante influência na arquitetura gaúcha não se resumem às elencadas acima. Outras contribuições importantes não podem deixar de ser comentadas, como a da imigração africana, polonesa, judaica, japonesa e dos povos originários, mesmo que alguns desses grupos migratórios sejam minoritários.

Abrangendo essas e outras categorias, o Rio Grande do Sul ainda tem uma grande quantidade de edificações residenciais de interesse cultural sem qualquer tipo de proteção. Além disso, muitas dessas edificações sofrem com o abandono, já que não atendem mais às necessidades de seus proprietários que, ou não têm interesse em requalificá-las, ou não têm conhecimento de como poderiam torná-las habitáveis, com todas as benfeitorias contemporâneas. É mais fácil sua demolição para a construção de um prédio novo. Por outro lado, os órgãos de preservação não têm fôlego para proteger tamanho estoque edificado, levando-se em conta, também, a pressão do mercado imobiliário.

Figura 4 – Edificações do Parque Aldeia do Imigrante em Nova Petrópolis.



Fonte: foto de Sabrina Schuster

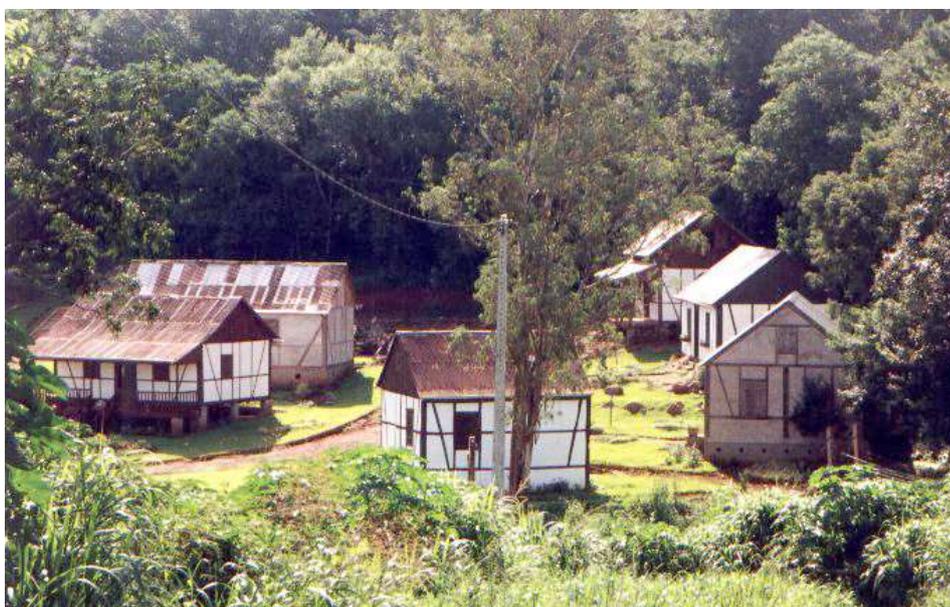
Algumas iniciativas têm sido tomadas no sentido da preservação, iniciativas essas bastante questionáveis, mas que de certa forma acabam por manter em parte o patrimônio

arquitetônico. Pode-se citar, dentre estas iniciativas, os parques temáticos como a Aldeia do Imigrante, em Nova Petrópolis, com edificações retiradas do interior do município (Figura 4).

Entretanto, este exemplo mostra o risco de decisões equivocadas que fazem com que este tipo de intervenção seja questionável. Nesse caso, o templo religioso quando foi construído em 1875 não tinha torre de sino, já que era de colonos protestantes e, no Brasil, até 1889, por não haver separação entre estado e igreja, templos não católicos não podiam ostentar sua condição. Posteriormente recebeu este anexo, mas como era outra época a torre foi construída totalmente revestida com tábuas de madeira e não em enxaimel como a construção original. Quando de sua reconstrução no parque temático, a torre foi feita em enxaimel, ou seja, uma torre falsa (HUYER, 2018).

Afora estes questionamentos têm-se outros exemplos de reconstruções como o Parque Histórico em Lajeado, também conformado por edificações provenientes do interior do município (Figura 5). Com finalidades turísticas, ambos os casos são iniciativas do poder público que removem as edificações de interesse cultural de seu lugar de origem e as realocam no parque simulando um conjunto que na verdade nunca existiu.

Figura 5 - Edificações do Parque Histórico em Lajeado.



Fonte: [www.lajeado.rs.gov.br](http://www.lajeado.rs.gov.br)

A Casa Amarela, também em Nova Petrópolis, alia-se a essas iniciativas, nesse caso de caráter privado. As edificações foram removidas de seu local de origem e remontadas formando um conjunto. Hoje são utilizadas como local para aluguel por temporada (Figura 6).

Figura 6 - Edificações no conjunto “Casa Amarela” na Linha Brasil, Nova Petrópolis



Fonte: foto de Júlio Ariel Guigou Norro

Saindo da temática da imigração alemã, é encontrada iniciativa similar relacionada a arquitetura representativa da imigração italiana (Figura 7).

Figura 7 – Edificações da Villa Fitarelli



Fonte: [www.villafitarelli.com.br](http://www.villafitarelli.com.br)

A Villa Fitarelli, em Garibaldi, é um museu etnográfico da imigração italiana idealizado a partir da montagem de um povoado típico das colônias onde, por vezes, casas inteiras são compradas e remontadas na “vila”. O que não pode ser restaurado, é recriado por um meticuloso trabalho de carpintaria. Iniciativa privada, partiu de uma só casa, em péssimo estado de conservação, que seria o início de um processo de restauração e base para as edificações atuais, em fase de acabamento: uma pequena igreja de pedra, um campanário, ferraria, capela, moinho, tanoaria, mercearia, cantina, estrebaria e uma casa com armazém. Cada parede erguida respeita as técnicas construtivas e os mesmos materiais utilizados pelos imigrantes. Assim como nos casos anteriores, recria um conjunto que nunca existiu.

Iniciativas deste tipo também ocorrem em outros países. Na Alemanha, na *Schwarzwald* (Floresta Negra), edificações rurais foram removidas de seus locais de origem e realocadas no que é conhecido como *Schwartzwälder Freilichtmuseum Vogtsbauernhof* (VOGTSBAUERNHOF, 2021), um museu ao ar livre onde essas edificações se agrupam ao redor de uma edificação original do local, construída em 1612 (Figura 8).

Figura 8 - *Vogtsbauernhof*, em primeiro plano edificação original do conjunto.



Fonte: [www.vogtsbauernhof.de](http://www.vogtsbauernhof.de)

Situação similar ocorre no *Zuiderzeemuseum*, na Holanda (ZUIDERZEEMUSEUM, 2021), onde 140 edificações retiradas dos arredores hoje conformam um museu ao ar livre em forma de um vilarejo (Figura 9).

Figura 9 - Edificações do Zuiderzeemuseum na Holanda



Fonte: [www.zuiderzeemuseum.nl](http://www.zuiderzeemuseum.nl)

Assim como ocorre nos exemplos brasileiros, os dois últimos exemplos simulam conjuntos que nunca existiram. O único aspecto positivo deste tipo de ações é a reconstrução destas edificações que talvez já não mais existissem caso tivessem ficado em seus locais de origem. Exemplo disso é que de todo o conjunto de edificações catalogadas no interior de Lajeado (COLLISCHONN; RICHTER, 2000), grande parte não mais existe por terem ou sido demolidas, ou chegado a um estado tal de deterioração que evoluiu para sua ruína.

A falta de facilidades contemporâneas é um fator que contribui para o abandono das edificações e conseqüentemente para a perda do patrimônio edificado. Iniciativas que possam agregar conforto e modernidade a essas edificações são desejáveis e permitiriam a sua sobrevivência na medida em que permanecessem ocupadas, garantindo, também, sua constante manutenção.

#### **2.4.2 Edificações representativas da arquitetura luso-brasileira**

A arquitetura luso-brasileira está diretamente ligada ao processo de ocupação do território do sul do Brasil. Ainda antes da chegada dos açorianos ao que hoje é o estado do Rio Grande do Sul, que vai ocorrer a partir de 1752, algumas sedes de estâncias pontilhavam na área entre a foz do Jacuí e do Tramandaí, eminentemente de caráter rural, e havia também as estâncias ligadas às missões jesuíticas. A partir da chegada dos açorianos, dois centros marcam efetivamente a ocupação civil do território, Rio Grande e o sítio que viria a tornar-se Porto Alegre. Partindo dessa última localidade vão instalar-se ao longo do Jacuí fundando as cidades

de Rio Pardo, Taquari, Triunfo e Santo Amaro e, posteriormente, avançam para Cachoeira e Caçapava. A partir de Rio Grande instalam-se em Piratini, Pelotas e São José do Norte. Mostardas, na faixa costeira entre o mar e a Lagoa dos Patos, também é uma localidade de colonização açoriana. Em função desse processo de ocupação do território, estão localizadas em cotas menos elevadas, acompanhando os principais cursos d'água ou junto ao litoral (Figura 10). As edificações produzidas pelos açorianos eram uma adaptação das suas casas nos Açores. A coexistência da casa rural com a casa urbana, em áreas muito próximas, deve ter ocorrido nas três localidades de mais significativo desenvolvimento no século XVIII, Rio Grande, Porto Alegre e Rio Pardo sendo que, nas cidades, as plantas das residências tiveram de adaptar-se às limitações do espaço urbano, ressaltando-se a diferença de tipologias dependendo dos recursos dos seus proprietários (MACEDO, 1987).

Figura 10 - Regiões onde predominam edificações representativas da arquitetura luso-brasileira



Fonte: adaptado pelo autor de [www.mundoeducacao.uol.com.br](http://www.mundoeducacao.uol.com.br)

Em relação ao processo construtivo, as primeiras casas usavam a taipa, sendo este o processo que relacionaria a cidade com a zona rural pela habitação mais modesta. Este processo foi em larga escala adotado também pela dificuldade de obtenção do tijolo e do preço deste. Entretanto, mesmo as famílias de algum recurso construíram suas residências sem o uso do tijolo. O uso da alvenaria substituiu as técnicas antigas quase que concomitantemente. Para as paredes externas, muitas vezes com mais de 60 cm de espessura, utilizavam a pedra irregular, e para as internas, de 12 a 16 cm, utilizavam uma espécie de estuque. As janelas de guilhotina,

de pequena dimensão, e ainda menores no piso superior, tinham vidros pequenos e no térreo, inicialmente, tinham apenas um tampo de madeira com tratamento rústico. Eventualmente, as janelas de guilhotina eram tratadas com especial cuidado em sua metade superior, como na edificação representativa dessa categoria, estudo de caso desta pesquisa. Os forros nas residências mais antigas eram muito simples, ainda sem o sistema macho-e-fêmea, devido à falta de maquinário. Os pisos eram igualmente de madeira e as coberturas de telhas de barro com estrutura de madeira (MACEDO, 1987) (Figura 11). Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.

Figura 11 – a) Solar Lopo Gonçalves, Porto Alegre; b) Solar do Almirante Alexandrino, Rio Pardo; c) Prefeitura municipal de Triunfo



Fonte: a) foto de Ricardo André Frantz; b) foto registrada pelo autor; c) foto registrada pelo autor

### 2.4.3 Edificações representativas da arquitetura teuto-brasileira

Associadas à localização das colônias alemãs no Rio Grande do Sul, estas edificações estão localizadas em cotas intermediárias como no Vale do Sinos, Vale do Taquari, Vale do Rio Pardo, bem como na Costa Doce, proximidades de São Lourenço do Sul (Figura 12).

Desde o momento em que o imigrante alemão ocupou o seu lote colonial até a construção de sua casa definitiva, ocorreu um intervalo de tempo que varia de oito a mais de trinta anos. Nesse período, construiu abrigos provisórios que tinham duração limitada. Assim sendo, diferentes autores propõem fases distintas na construção de habitações, valorizando aspectos formais exteriores, em detrimento de sua gênese. Entretanto, todos esses autores propuseram suas teorias de acordo com suas especialidades, não sendo nenhum deles arquiteto (WEIMER, 2005). Esse autor propõe uma retomada para o tema, abordando conjuntamente todo o universo arquitetônico, recorrendo, sempre que possível, a relatos de pessoas que conviveram com os primeiros imigrantes. Desta forma, estabelece como primeiro abrigo a

cabana. Nessa fase o imigrante lançava mão de todos os recursos que estavam a sua disposição para construir o seu abrigo, principalmente o que a floresta lhe oferecia: troncos, bambu, galhos e cipós para montar a estrutura e folhas para a cobertura. O segundo abrigo é o rancho que já poderia ter suas paredes construídas com tábuas fendidas e cobertura de tabuinhas, com piso de chão batido, posteriormente sendo construído piso de madeira. Antes da construção definitiva, o autor aponta uma fase intermediária com as primeiras construções construídas com a técnica construtiva enxaimel. As edificações, construídas nessa técnica construtiva, apresentam a estrutura de madeira aparente preenchida com taipa, barro socado, tijolos maciços rebocados e até mesmo pedras grés cortadas. A cobertura inicialmente de tabuinhas de madeira, conforme dito anteriormente, foi substituída por telhas de barro ou de zinco (Figura 13).

Figura 12 – Regiões onde predominam edificações representativas da arquitetura teuto-brasileira



Fonte: adaptado pelo autor de [www.mundoeducacao.uol.com.br](http://www.mundoeducacao.uol.com.br)

As edificações representativas da imigração alemã no Rio Grande do Sul estão relacionadas com a região da Alemanha de onde vieram os imigrantes. Assim têm-se construções em áreas de maioria de westfalianos, renanos (francos) e pomeranos. Desta forma, foram feitas considerações sobre a arquitetura em área de maioria westfaliana, já que é nessa região que se localiza a edificação estudo de caso dessa pesquisa. De início uma colônia muito heterogênea, Teutônia, a partir de 1868, passou a ser povoada por colonos vindos de uma só região da Alemanha, mantendo a cultura westfaliana em sua forma mais íntegra. Sua arquitetura, ainda que apresente algumas variações formais, consequência de influências

externas ou da própria dinâmica do processo de adaptação, é a que nos traz os melhores exemplares daquilo que se poderia chamar de variante westfaliana do enxaimel no nosso estado. Construtivamente as casas têm muitas semelhanças, sendo que a diferença maior é nos seus tamanhos, em função de terem dois, três ou quatro quartos no piso térreo. Entretanto, a forma dos sítios é muito variável, embora com pátios relativamente parecidos, já que se sujeitavam a algumas normas constantes como a ordenação livre das benfeitorias, a construção da casa e da cozinha afastadas das benfeitorias, mas de forma que se tivesse, a partir dessas, uma visão de conjunto do pátio. Para se chegar ao pátio sempre se precisava passar ao longo da casa. Além disso, a casa e a cozinha eram construídas em paralelo, como se ordenadas por uma geometria rígida, contrastando com a disposição livre das benfeitorias (WEIMER, 2005). Essa conformação é uma adaptação da casa westfaliana ancestral “subdividida em sala de convivência e eira, que, por sua vez, estava zoneada em cozinha e átrio de atividades múltiplas com duas galerias laterais onde eram abrigados os animais”. Este arranjo “explodiu” em suas múltiplas funções, mesmo pelas questões climáticas, onde o átrio coberto virou um pátio aberto, cujo perímetro abrigou construções isoladas, sendo cada uma para cada espécie de animal. A cozinha vai separar-se da casa em duas construções independentes. Isso se explica pelo fato de os lotes disponibilizados aos imigrantes serem imensos se comparados à situação no seu país de origem, o que permitiu que o programa de necessidades pudesse ser desmembrado. Na Figura 13 são apresentadas três edificações representativas da arquitetura teuto-brasileira, todas com uso original residencial. Apenas a Casa Osterkamp está na zona de maioria westfaliana. As demais são em zonas de imigração de maioria renana.

Figura 13 - a) Casa Schmitt-Presser, Novo Hamburgo; b) Casa Osterkamp, Teutônia; c) Casa na Feitoria Nova, Ivoti



a



b



c

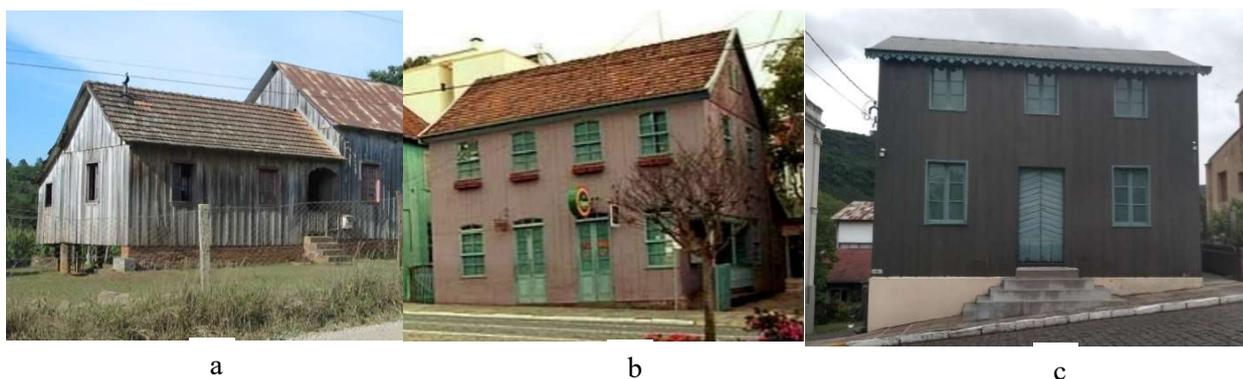
Fonte: a) foto de César Vieira b) foto registrada pelo autor b) foto registrada pelo autor



diâmetro destinados a receber o peso do assoalho em vãos relativamente pequenos. A cobertura, assim como no abrigo inicial, era feita com tábuas lascadas retangulares. Posteriormente foram substituídas por ferro galvanizado – zinco – e telhas de barro. A estrutura do telhado era feita de madeira. As aberturas eram feitas com espessos marcos de madeira lascada e seguidamente a verga e o peitoril avançavam para além dos vãos (BERTUSSI, 1987).

Como citado anteriormente, devido à abundância de madeira e basalto, a casa mista era a mais frequente. Nas colônias mais antigas a maioria das residências e quase a totalidade das estruturas anexas eram compostas de madeira nos níveis superiores e pedra, posteriormente tijolo, empregados na base e alicerces. Nas colônias mais recentes a madeira foi o material quase exclusivo (Figura 15). Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.

Figura 15 - a) Casa em Vista Alegre do Prata; b) Casa em Antônio Prado; c) Casa em Santa Tereza



Fonte: fotos registradas pelo autor

### 2.3.5 Edificações representativas do eclétismo

Tipo de edificação predominantemente urbana, o estilo eclético aparece no Rio Grande do Sul a partir do final do século XIX, transformando a imagem das cidades onde predominava uma arquitetura luso-brasileira (Figura 16). Isso se intensifica a partir da chegada de grandes contingentes de imigrantes, principalmente alemães e italianos, dentre os quais estavam profissionais, técnicos e artesãos da área da construção, que trouxeram o conhecimento aprendido nas escolas europeias. Desta forma, aplicavam em suas obras a linguagem arquitetônica proveniente dos seus países de origem. Tomando-se como exemplo Porto Alegre, a influência do trabalho desses imigrantes foi o principal impulso, entre a virada do século XIX e meados do século XX, para uma rápida transformação no panorama arquitetônico quando, em

cinquenta anos, a cidade foi palco de representação de vários estilos arquitetônicos (SCHÄFFER, 2011).

Figura 16 – Regiões onde predominam edificações representativas do ecletismo



Fonte: adaptado pelo autor de [www.mundoeducacao.uol.com.br](http://www.mundoeducacao.uol.com.br)

Em relação ao ecletismo com influência do classicismo, que inicia no final do século XIX, este destaca-se pela utilização de elementos da arquitetura clássica nas construções, de forma predominante, como frontões, colunas ou pilastras e balaustradas. Até 1920 esse estilo predominava dentre os projetos de prédios públicos, principalmente em Porto Alegre. A edificação objeto de estudo dessa categoria, nesta pesquisa, é representante do ecletismo com influência do clássico. O ecletismo com influência do barroco, aparece nas primeiras décadas do século XX, em obras de grande porte, e está relacionado ao trabalho de arquitetos imigrantes, influenciados ou pela cultura da tradição barroca alemã ou pelo conhecimento dessa arquitetura. Já o ecletismo com influência do gótico traz consigo duas características da arquitetura gótica: a similaridade de um sistema estrutural, já que se utiliza do desenvolvimento das técnicas construtivas do século XX, e a identidade da religiosidade cristã. Dessa forma, no Rio Grande do Sul, a imigração alemã e a italiana participaram na preferência por esse estilo para a construção de capelas e igrejas.

De uma maneira geral, edificações do ecletismo possuem paredes de alvenaria de grande espessura revestidas com reboco. As coberturas são geralmente em telhas cerâmicas. Os pisos e entrepisos são em estrutura de madeira ou de concreto armado, dependendo do porte e da época de construção. As esquadrias são em madeira compostas por planos envidraçados, tampos

e venezianas, ou mesmo em ferro (Figura 17). Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.

Figura 17 - a) Palacete Argentina, Porto Alegre; b) Palacete Santo Meneghetti, Porto Alegre;  
c) Casa Torelly, Porto Alegre



a

b

c

Fonte: a) foto de Eugênio Hansen; b) foto de Ricardo André Frantz; c) foto de Ricardo André Frantz

A partir da apresentação das normativas e da legislação para intervenções em edificações de interesse cultural, da definição do conceito de conforto térmico e suas variáveis, da definição de eficiência energética e da apresentação da simulação computacional como ferramenta de avaliação do desempenho térmico e eficiência energética, e da categorização das edificações representativas das diferentes correntes migratórias no Rio Grande do Sul, que serão a base para a escolha dos estudos de caso dessa pesquisa, pode-se estabelecer o método da pesquisa que será detalhado na sequência.

### 3 MÉTODO – APRESENTAÇÃO E PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO

O método usa como referência procedimentos adotados em estudos e pesquisas no exterior, adaptados à realidade brasileira (ASCIONE; DE ROSSI; VANOLI, 2011; BROSTRÖM *et al.*, 2014; GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010), bem como pesquisas desenvolvidas no Brasil (JAPIASSÚ, 2019; MUNARIM; MARQUES DE MENDONÇA; GHISI, 2014). Consiste em avaliações quantitativas e qualitativas de diferentes estratégias para conforto e eficiência energética a serem propostas para edificações integrantes do patrimônio arquitetônico residencial do estado do Rio Grande do Sul. Primeiramente são apresentados os estudos de caso de acordo com a categorização proposta. Na sequência são apresentados os procedimentos para a modelagem e simulação dos estudos de caso e para a obtenção de dados que permitam a avaliação quantitativa das estratégias. Em seguida, são discutidas uma série de estratégias apresentando suas características, finalizando com a definição de quais dessas estratégias são mais apropriadas para o estudo em tela. A partir da definição das estratégias são apresentados os parâmetros para a avaliação do desempenho térmico e para a avaliação da eficiência energética. Na sequência são descritos os dados da avaliação qualitativa que são obtidos através da aplicação de questionários a pesquisadores atuantes na área de preservação do patrimônio edificado.

#### 3.1 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DOS ESTUDOS DE CASO

Os estudos de caso desta pesquisa são edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul, classificadas em grupos representativos das diferentes influências na sua arquitetura, de acordo com o processo de ocupação do território pelas diferentes correntes migratórias: luso-brasileira, teuto-brasileira e ítalo-brasileira. Acrescenta-se a este grupo uma categoria tipicamente urbana, o ecletismo historicista, que também teve grande influência das correntes migratórias, sobremaneira alemã e italiana. A construção das edificações estudadas abrange um período que vai de meados do século XVIII até o início do século XX. Os exemplares estudados apresentam uma diversidade de materiais e sistemas construtivos que conferem complexidade à análise. A escolha das edificações também contempla cidades pertencentes às três zonas bioclimáticas que ocorrem no Rio Grande do Sul. Essa seleção também leva em consideração a disponibilidade de documentação que permitisse sua digitalização.

A pesquisa propõe a análise, para cada categoria, de edificações que tenham seu uso original como residencial, ou predominantemente residencial, mesmo que atualmente seu uso

seja diferente. Para essa seleção não está sendo levado em consideração o estado de conservação dos elementos arquitetônicos, nem o estado físico desses materiais, ou se o imóvel está ou não ocupado. Também não foi considerado se o imóvel é tombado no âmbito da administração federal, estadual ou municipal. A disponibilidade de documentação também foi fator fundamental na escolha final, devido a quase impossibilidade de levantamentos de campo. Também é necessário ressaltar a limitação da pesquisa, cuja abrangência limita-se a apenas um exemplar representativo de cada categoria. No caso da arquitetura representativa da imigração luso-brasileira, há outras tipologias localizadas em diferentes regiões do Rio Grande do Sul. O mesmo ocorre com a arquitetura representativa da imigração teuto-brasileira, onde igualmente têm-se tipologias com materialidades distintas. Em se tratando da arquitetura representativa da imigração ítalo-brasileira, também há outras tipologias, igualmente com materialidades diferentes. A escolha do ecletismo em detrimento de outros estilos, como o neoclássico, deu-se fundamentalmente pela necessidade da pesquisa em avaliar um exemplar residencial aliado a disponibilidade de documentação.

Na sequência são apresentadas as edificações selecionadas, suas respectivas cidades, ano de construção e zona bioclimática onde se localiza (Quadro 1).

Quadro 1– Edificações selecionadas como estudos de caso

<b>Município</b>	<b>Edificação</b>	<b>Categoria</b>	<b>Ano de Construção</b>	<b>Zona Bioclimática</b>
General Câmara	Casa das Pestanas	Luso-brasileira	1763	3
Westfália	Casa Withölder	Alemã	1880	2
Antônio Prado	Casa da Neni	Italiana	1910	1
Porto Alegre	Casa Frasca	Ecletismo	1911	3

Fonte: elaborado pelo autor

### 3.1.1 Casa das Pestanas

A Casa do Senhor Tarso do Prado, também conhecida como “Casa das Pestanas”, localiza-se no distrito de Santo Amaro do Sul, município de General Câmara/RS, localidade cuja ocupação, por imigrantes açorianos, ocorre a partir de meados do século XVIII, conforme vários autores (DURAN ROCCA, 2009) (Figura 18).

Figura 18 – Casa das Pestanas



Fonte: foto registrada pelo autor

A edificação tem relevância cultural pela sua arquitetura, representativa da imigração açoriana. Construída em 1763 faz parte do conjunto de edificações da vila, tombadas pelo IPHAN. Atualmente encontra-se desocupada, à venda, e em péssimo estado de conservação. Além da falta de manutenção básica, fruto do abandono, parte da cobertura desabou, o que está fazendo com que a exposição às intempéries danifique sua área interna, degradando pisos, forros, paredes e esquadrias.

### 3.1.1.1 Contextualização histórica da Vila de Santo Amaro do Sul – General Câmara (RS)

A Vila de Santo Amaro do Sul, onde localiza-se a edificação, é um distrito do município de General Câmara, no Rio Grande do Sul, localizado às margens do rio Jacuí, na região central do estado, e conhecido pela riqueza arquitetônica das edificações construídas pelos colonos açorianos. O conjunto histórico da cidade – formado pela praça e mais 14 prédios – foi tombado pelo IPHAN, em 1998 (IPHAN, 2021). Santo Amaro do Sul continuou quase intacta até os dias atuais, com seu casario típico e sua importante igreja dominando a paisagem. Marcada pela arquitetura portuguesa, a vila é um dos mais significativos conjuntos urbanos desse tipo no estado do Rio Grande do Sul. Em 1970, diversos locais da vila foram utilizados como cenários para o filme “Um Certo Capitão Rodrigo”, dirigido por Anselmo Duarte e baseado na trilogia “O Tempo e o Vento”, obra do escritor gaúcho Érico Veríssimo, que reúne ficção e história. Grande parte das edificações que compõem o conjunto tombado tiveram importantes funções no passado e serviram de moradia para personagens históricos. Uma delas é a Casa das

Pestanas, casarão onde nasceu, em 12 de abril de 1773, o herói farroupilha e primeiro presidente da República Rio-grandense José Gomes de Vasconcelos Jardim. Perto do balneário do Coqueiro, está o sobrado que pertenceu ao chefe do Exército Imperial durante a Revolução Farroupilha, Chico Pedro, um dos mais temidos pelos farrapos.

Santo Amaro do Sul foi um dos primeiros povoados de colonização açoriana no estado. Nessa região, em meados do século XVIII, situava-se a fronteira entre os impérios português e espanhol - um território habitado por indígenas. Em 1750, o general Gomes Freitas de Andradas construiu um armazém para abastecer os portugueses que subiam o rio Jacuí rumo às Missões e em 1752 a vila foi fundada, neste local, às margens do rio Jacuí, na época em que Portugal e Espanha disputavam o território sul-americano. Em 1753, chegaram os primeiros sesmeiros e, em 1770, os açorianos que se alojaram na margem esquerda do rio e formaram a Forqueta de Santo Amaro. Os casais de açorianos construíram suas residências nos lotes que receberam. O local era estratégico e abrigava depósitos de armas e munições, e foi escolhido para a construção do Forte de Santo Amaro. O povoado cresceu e, a partir da segunda metade do século XVIII, chegaram à região migrantes de outras partes do Brasil e de Portugal. O objetivo central dessa ocupação, apoiada por Portugal, era a demarcação das fronteiras, como determinava o Tratado de Madrid, firmado entre portugueses e espanhóis. Em 1773, Santo Amaro foi elevada à vila e esteve juridicamente ligada aos municípios de Rio Pardo, Triunfo e Taquari. Em 1849, passou à categoria de cidade e, em 1881, à sede do município de General Câmara, conhecido, então, como Margem.

Com a abertura da Estrada de Ferro Porto Alegre – Uruguaiana em 1883, ocorreu a ligação de Santo Amaro a Cachoeira do Sul. Antes da ferrovia, as viagens para Porto Alegre eram feitas em embarcações que navegavam pelo rio Jacuí. Em 1905, a estrada de ferro passou a ser a linha-tronco da Viação Férrea do Rio Grande do Sul (VFRGS). A partir de 1939, com a instalação do Arsenal de Guerra do Exército Brasileiro, a sede do município se consolidou na margem do rio Taquari, com o nome de General Câmara, uma homenagem ao General José Antônio Correa da Câmara, primeiro governador do Rio Grande do Sul, após a Proclamação da República (IPHAN, 2021).

### **3.1.2 Casa Withölder**

A Casa Withölder localiza-se na localidade de Linha Frank, no município de Westfália/RS, cuja ocupação, por imigrantes alemães, ocorre a partir de meados do século XIX. Está localizada junto ao centro dessa localidade, configurada pela venda, a igreja e o cemitério.

Implantada na encosta de um morro faz parte de um conjunto de edificações onde se destacam a casa principal e a cozinha separada da casa. A edificação tem relevância cultural pela sua arquitetura, representativa da imigração alemã, ressaltando-se os imigrantes da região da Westfália, com seu dialeto e cultura muito particulares. Foi construída por volta de 1880 (WEIMER, 2005).

A edificação faz parte de um conjunto de edificações de interesse cultural da área rural listadas pelo município de Westfália em seu plano diretor. Atualmente encontra-se desocupada e em mau estado de conservação. A falta de manutenção básica no seu entorno imediato tem feito com que a vegetação tenha um crescimento desordenado e isso acabe por danificar a cobertura devido à queda de galhos, o que poderá expor a área interna às intempéries, degradando pisos, forros, paredes e esquadrias (Figura 19).

Figura 19 – Casa Withölder



Fonte: foto registrada pelo autor

### 3.1.2.1 Contextualização histórica da Linha Frank – Westfália (RS)

A história de Westfália, que faz parte da Colônia Teutônia, colonizada a partir de 1858, inicia com a chegada de imigrantes alemães vindos da região da Westfália, na Alemanha, e de descendentes de alemães, originários do Hunsrück.

Com a transferência da iniciativa da colonização da esfera provincial para a esfera privada, inicia-se o processo de ocupação da região com a aquisição de terras devolutas pelo comerciante Karl Schilling. De início, devido a questões como o difícil acesso e ao contexto da Guerra do Paraguai, a colônia não prosperou, o que viria a mudar em 1862 quando Schilling associa-se à Lothar de la Rue, Jakob Rech e Wilhelm Kopp formando uma companhia que adquiriu uma faixa de terra que permitiu livre acesso à colônia.

Colonização de início muito heterogênea, a partir de 1868 esse aspecto se modifica, principalmente através da ação do pastor Wilhelm Kleingünther que consegue trazer considerável número de imigrantes westfalianos que vão ocupar as picadas mais novas. Esse incremento de colonos vindos de uma mesma região da Alemanha deu à parte mais nova da colônia uma característica peculiar: ser uma zona muito homogênea de colonização, mantendo a cultura westfaliana em sua forma mais íntegra (WEIMER, 2005).

Atualmente, integram o Município de Westfália as localidades de Linha Frank, Linha Schmidt, Linha Berlim e Linha Paissandu (antigamente conhecida por Picada Krupp), e ainda conta com as comunidades de Picada Moltke, Picada Bismarck, Picada Horst e Picada Köln. Os nomes de cada localidade homenageiam os pioneiros Daniel e Jacob Frank (Linha Frank), Cristian e Peter Schmidt (Linha Schmidt) e os irmãos Horst (Picada Horst); Picada Moltke e Bismarck são em memória general Helmuth Erhard Moltke, do alto comando alemão – e Otto Eduard Leopold von Bismarck – Schönhausen, unificador da Alemanha, ambos da Prússia; Berlim (Linha Berlim) lembra a capital da Prússia e da Alemanha, após a unificação em 1870; Köln destaca a importante cidade da região da Westfália; e o nome Krupp (Linha Paissandu) está ligado à siderúrgica Krupp, uma importante empresa prussiana que contribuiu para a unificação da Alemanha.

Westfália, emancipou-se de Teutônia e Imigrante em 1996, e recebeu o nome em homenagem aos imigrantes que, em sua maioria, são oriundos de uma região que integra o atual estado alemão de Renânia do Norte Westfália (*Nordrhein-Westfalen*). Esses imigrantes falavam o dialeto *Plattdüütsk*, língua até hoje muito difundida entre os westfalianos. A criação do município se deve a diversas pessoas, lideradas pelo empresário Enio Grave. Após formada, a Comissão Emancipacionista apresentou a proposta de emancipação nas diversas comunidades

e então encaminhou o pleito à Assembleia Legislativa do Estado. O pedido foi aprovado e a realização do plebiscito ocorreu em 24 de março de 1996, tendo a maioria da população se manifestado favorável à criação de Westfália. Já em 16 de abril de 1996, através da Lei Estadual nº 10.754, foi criado o município, instalado com administração própria em 1º de janeiro de 2001 (PREFEITURA MUNICIPAL DE WESTFÁLIA, 2022).

### 3.1.3 Casa da Neni

A Casa Antônio Bocchese, mais conhecida como Casa da Neni, está localizada na área central do município de Antônio Prado, localidade que teve origem no final do século XIX, quando foi colonizada por imigrantes italianos. Construída em 1910 pelos construtores Irmãos Nodari (RECH, 2016), conjuntamente com Maximo Empinotti (LUZ; CESA FILHO; WAQUIL, 1989), foi o primeiro imóvel representativo da cultura da imigração italiana, no Brasil, tombado pelo IPHAN em 1985, ressaltando-se que a iniciativa de tombamento partiu do proprietário (MEIRA, 2020) (Figura 20).

Figura 20 – Casa da Neni em primeiro plano



Fonte: foto de Eduardo Lyra (disponível em <http://www.ipatrimonio.org/antonio-prado-casa-de-dona-neni>)

É uma das casas mais conhecidas da cidade e substituiu uma residência mais antiga. Como era o costume na época, no térreo funcionava a oficina do ourives Antônio Bocchese e no pavimento superior morava a família. Uma de suas filhas, Joana Magdalena, apelidada Neni, herdou o imóvel e, sem seguir a atividade do pai, abriu uma loja de artigos religiosos. O espaço funcionou durante muitos anos, sendo conhecido como Casa da Neni até o seu falecimento, em 1981, quando a propriedade passou para Valdomiro Bocchese. Este trabalhava com vários negócios e continuou com um comércio no térreo. Também era dono do Moinho do Nordeste, cujos produtos estampavam imagem da residência. A casa integra o conjunto arquitetônico e urbanístico de Antônio Prado. Este conjunto foi tombado pelo IPHAN em 1990, e é formado por 47 exemplares de arquitetura popular, sendo a maioria grandes casarões em alvenaria e madeira, localizados ao redor da Praça Garibaldi e ao longo da avenida principal. O conjunto reúne edificações de valor cultural indiscutível (IPHAN, 2022).

Restaurada em 1983, desde 2013 abriga a Casa de Cultura Padre Schio – Museu Municipal de Antônio Prado – e encontra-se em bom estado de conservação.

### 3.1.3.1 Contextualização histórica de Antônio Prado (RS)

A floresta milenar que revestia inteiramente o atual município de Antônio Prado permaneceu intocável até pelo ano de 1880. Nem os missionários jesuítas, que fundaram a Vacaria dos Pinhais, nem o Padre Francisco Ximenes, que em 1633 efetuou o levantamento da região, puseram os pés ali, assim como não fez a bandeira de Raposo Tavares, em 1863. Somente os fazendeiros dos Campos da Vacaria penetravam na mata que circundava o campo, ocupando terras para implantar suas lavouras e invernadas. Entretanto, não ultrapassavam a atual linha divisória do município. Apenas os povos indígenas percorriam as montanhosas paragens, cobertas de imensos pinhais, de cujo fruto se alimentavam.

Simão David de Oliveira foi o primeiro cidadão que, por volta de 1880, se estabeleceu na margem direita do Rio das Antas. Viera a pé de São Paulo, penetrando no território gaúcho por Vacaria. Desceu o Rio das Antas, de onde prosseguiu caminho até encontrar um lugar aprazível para construir seu rancho. Era o único trecho de terras planas, junto a foz do rio Leão e do arroio Tigre, por onde depois, em princípio de 1886, foi aberta a primeira picada que dava acesso a nova colônia italiana. Essa picada conhecida como Passo do Simão teve seu nome escolhido em homenagem ao primeiro povoador.

Antônio Prado foi a sexta e última das chamadas "antigas colônias da imigração italiana", e foi fundada em maio de 1886. Deve seu nome em homenagem a Antônio da Silva

Prado, fazendeiro paulista que, como Ministro da Agricultura da época, promoveu a vinda dos imigrantes italianos ao Brasil instalando núcleos coloniais no Rio Grande do Sul.

No sítio escolhido, no interior entre montanhas, foi demarcado um traçado quadriculado típico das povoações organizadas por engenheiros militares. A partir da criação da nova colônia, começaram a ser destinadas verbas públicas para abertura de estradas, construção de balsas, medição de terras, construção de barracões, transporte e acolhimento dos colonos. Apesar dos importantes acontecimentos políticos pelos quais o país passava, como a Proclamação da República e a Revolução Federalista, em 1893, não houve interferência no processo de implantação de imigrantes em terras devolutas e cobertas de matas da Serra do Rio das Antas.

A cidade se transformou em um centro importante de comércio entre fins do século XIX e início século XX. A nova colônia – que se tornou município autônomo em 1899 – ocupou posição estratégica naquela época: a estrada Júlio de Castilhos, inaugurada em 1902, atravessava o centro da cidade e era a principal ligação entre diversos municípios da região e do Rio Grande do Sul com outros estados brasileiros (MUNICÍPIO DE ANTÔNIO PRADO, 2022).

A pequena vila prosperou até 1940, quando começou um longo período de estagnação econômica, motivado pelo desvio das estradas principais e o desenvolvimento das colônias vizinhas. Esse distanciamento do processo de crescimento econômico e populacional foi em parte responsável pela preservação do conjunto arquitetônico e paisagístico da cidade. Com a retomada do desenvolvimento e a pavimentação da estrada que dá acesso à cidade, atraindo um fluxo turístico regional e novas iniciativas comerciais, o conjunto arquitetônico passou a sofrer ameaças a sua preservação, contidas em parte pelo processo de tombamento. Marcada pela arquitetura representativa da imigração italiana, a cidade foi cenário do filme brasileiro “O Quatrilho”, estreado em 1995, que teve a maior parte de suas cenas ali gravadas e concorreu ao Oscar de melhor filme estrangeiro (IPHAN, 2022). Este acontecimento acabou contribuindo para que os moradores mudassem seu pensamento contrário ao tombamento das edificações. Em 2021 a cidade também foi parte do cenário de duas temporadas da série televisiva “Desalma”.

### **3.1.4 Casa Frasca**

A casa Frasca é um conjunto de duas residências construído entre os anos 1906 e 1911. Em 1890, os irmãos Antônio e Caetano Frasca chegam a Porto Alegre vindos de uma família abastada da região da Calábria, no sul da Itália. No Brasil, montam uma loja de produtos

agropecuários no centro da capital gaúcha e decidem morar nas proximidades do negócio. Por isso, encomendam a construção ao construtor Germano Pedro Plentz. As obras começaram em 1906 e, em 1911, a Casa Frasca estava concluída. A edificação marca a avenida Independência com sua monumentalidade e qualidade de seus ornamentos em argamassa, configurando um dos raros exemplares da arquitetura eclética da virada do século XIX para o século XX. Em 2012 foi elaborado o projeto de restauração, identificando e resgatando a história do casarão. Em 2014 a casa de Caetano Frasca teve sua fachada restaurada e finalmente, em 2018 se pode contemplar o conjunto que resgata com certa fidelidade o aspecto original da edificação. A Casa Frasca é um palacete cravado na esquina que abre o bairro Independência, um verdadeiro testemunho de uma época da capital gaúcha (Figura 21).

Figura 21 – Casa Frasca



Fonte: foto de Joana Berwanger (disponível em [www.sul21.com.br/cidades/2018/12](http://www.sul21.com.br/cidades/2018/12))

Com mais de um século de existência, já foi moradia de muitos, marcou a cena do rock gaúcho e virou ponto de resistência cultural. A banda Cachorro Grande, formada em 1999, passou a alugar o espaço para produzir suas músicas quando a casa passou a ser conhecida como “*Fun House*”, nome inspirado no disco homônimo da banda estadunidense *The Stooges*. Ali, os

integrantes da banda chegaram a morar e organizavam festas no início dos anos 2000. O casarão ficava em ponto estratégico: ao lado da Garagem Hermética, onde aconteciam os principais shows de bandas de rock locais e a alguns metros do Bar Bambus. Apesar disso, quase caiu no esquecimento; sua estrutura original foi comprometida pelo tempo e a casa chegou a correr o risco de deixar de existir.

Com altura de um prédio de cinco andares, a Casa Frasca é formada por um conjunto de detalhes que acompanham todo seu interior e o exterior. Da madeira do corrimão aos desenhos pintados nas paredes, passando pelas molduras das janelas e as esculturas que marcam a passagem da família – como as inscrições ‘AF’ e ‘CF’ acima das portas das casas de Caetano e Antônio Frasca. Somente em 2002 os herdeiros vendem o imóvel para pessoas de fora da família. Oito anos mais tarde, em 2010, o Ministério Público abre um inquérito para cobrar soluções para a restauração das fachadas das duas casas – que já constavam no inventário da Equipe do Patrimônio Histórico e Cultural da Secretaria Municipal da Cultura desde 2006 (FLECK, 2018).

#### 3.1.4.1 Contextualização histórica da Avenida Independência em Porto Alegre (RS)

O caminho nasceu espontaneamente como ligação entre a vila de Porto Alegre e a Aldeia dos Anjos de Gravataí, que tiveram fundação quase simultânea. Desde 1829 são encontradas referências à “estrada denominada dos Moinhos de Vento” que, partindo do Alto da Misericórdia, ou Alto da Santa Casa, dava acesso aos moinhos de vento de Antônio Martins Barbosa ou Barbosa Mineiro, prosseguindo tortuosa até os campos da Aldeia dos Anjos. A partir de 1843, o alinhamento da estrada começa a ser projetado. Em 1857, aquela artéria passou a denominar-se Rua da Independência iniciando na Praça da Misericórdia. Em 1933, um decreto determinou a mudança do nome da Rua Independência para Avenida General Flores da Cunha, restabelecido em 1937, pelo Prefeito Loureiro da Silva. No início do século XX, tornou-se o local preferido para moradia de famílias tradicionais, que ali construíram belos palacetes entre 1900 e 1930 (FRANCO, 1988).

Por sua localização privilegiada, no cume do espigão, a Avenida Independência foi escolhida pela próspera classe de industriais, comerciantes e latifundiários, para se estabelecerem. Com o polo produtivo voltado para as cidades, a urgência de novas moradias impulsionou o segmento da construção civil que aliado às ideias higienistas e à procura por locais mais salubres, com maior ventilação e insolação, levaram ao desenvolvimento da arquitetura nesse local com a construção de várias residências. O advento da República,

embasado na filosofia positivista, trouxe à tona a necessidade da implementação de novos programas arquitetônicos. O estilo Eclético representou com primazia essa fase. Em se falando de arquitetura, o estilo eclético trouxe novas contribuições, como o deslocamento das empenas em um ou em ambos os lados e o uso do porão alto, como base. Nas fachadas, com a abolição do beiral colonial, as casas passam a apresentar platibandas ornamentadas com toda a sorte de elementos industrializados. O corpo das edificações apresenta aberturas ritmadas, encimadas por diferentes tipos de arcos e sublinhadas por sacadas com detalhes em ferro fundido. No interior das edificações o uso da escaiola, como ocorre na edificação em estudo, era utilizado acrescido de pigmentos na ornamentação das paredes (LORENZONI, 2015).

Com a urbanização de outros bairros, os antigos moradores foram abandonando a região, ocasionando a degradação de muitas das propriedades. Os antigos casarões deram lugar a grandes prédios de apartamentos e prédios comerciais, mas até hoje a avenida ainda abriga muitos palacetes da época. O ecletismo encontrado nas residências remanescentes nessa avenida são testemunhas de um período próspero da história da cidade. O logradouro conta com um conjunto de vinte e cinco casas ecléticas protegidas, sendo duas tombadas e as demais inventariadas. Na Avenida Independência também se localizam uma parte da Santa Casa de Misericórdia, o tradicional Colégio Nossa Senhora do Rosário, a Igreja de Nossa Senhora da Conceição e a Beneficência Portuguesa.

## 3.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

### 3.2.1 Parâmetros para modelagem e simulação computacional

Foram realizadas simulações em um modelo representativo das edificações selecionadas, com o intuito de avaliar o desempenho térmico das estratégias propostas, bem como a sua eficiência energética, com e sem utilização de sistemas artificiais de climatização. A modelagem foi feita na interface do programa *Google Sketchup* através do *plug-in Euclid*, que permite uma interface com o programa de simulação.

Para a simulação energética é utilizado o programa EnergyPlus, escolha dada pela relevância que o software tem dentro do universo acadêmico e das normas brasileiras que endossam seu uso para resolução de modelos computacionais, como método de avaliação (ABNT, 2013). Os dados de entrada para as simulações são provenientes dos levantamentos de arquivo e de campo, como as espessuras de paredes e pisos, as áreas e pés-direitos dos diversos compartimentos, os materiais e técnicas construtivas, os equipamentos, a iluminação, os

ocupantes, as rotinas, o valor característico dos materiais, as fontes de energia, os dados climáticos e a localização, dentre outros. Como referência, dois estudos piloto foram considerados, onde foram avaliadas estratégias de isolamento térmico em edificações de interesse cultural. Foram avaliados o seu desempenho térmico e a sua eficiência energética considerando as edificações sem qualquer sistema de climatização e, posteriormente, com sistema de ar-condicionado auto dimensionado pelo programa de simulação (GIRALT; PEDROTTI, 2016; GIRALT; WEBER, 2018).

### 3.2.1.1 Construção do modelo

Para a avaliação do desempenho térmico e da eficiência energética em intervenções de requalificação em edificações de interesse cultural, através de ferramentas de simulação, é necessária a construção de um modelo de acordo com a condição real do edifício. Dessa forma, a primeira etapa é a restituição virtual de suas características arquitetônicas e construtivas: forma da edificação; materiais e propriedades dos componentes utilizados nos pisos, paredes, janelas e cobertura; elementos de sombreamento; localização e orientação da edificação. Esse modelo, que representa a condição real do edifício, será chamado de modelo de referência (MOD-REF). Algumas observações podem ser feitas em relação a determinados elementos constituintes da modelagem.

A determinação do modelo equivalente de parede (elemento construtivo equivalente) é realizada de acordo com o que estabelece a norma (WEBER et al., 2017). Entretanto, em edificações antigas, é tarefa difícil, já que não se encontram nas normativas de referência, paredes cujos valores de capacidade e resistência térmicas sejam próximos ou iguais ao modelo de referência, uma vez que os materiais utilizados, muitas vezes não mais existem e, mesmo as espessuras das paredes, não são mais usuais. Medições *in loco* poderiam suprir essa lacuna, mas não foram realizadas por motivos anteriormente expostos referentes a recursos e mobilidade. Como os estudos de caso foram considerados quase que como protótipos, representativos para cada categoria, a especificação das propriedades térmicas dos materiais constituintes da envoltória, bem como suas espessuras, levou em conta aproximações com materiais atuais, constantes nas normas de referência.

Outro ponto é que as edificações em contato com o solo, no programa EnergyPlus, podem ser simuladas de diferentes maneiras: inserindo-se as temperaturas médias mensais do solo no objeto *Site:GroundTemperature:BuildingSurface*; utilizando-se o objeto *Detailed Ground Heat Transfer*, que engloba dois pré-processadores: o *Slab* e o *Basement*; ou ainda

através do objeto *Ground Domain*. O *Basement* seria uma das opções para os quatro estudos de caso, já que todos têm porão ou partes enterradas (MAZZAFERRO; MELO; LAMBERTS, 2015). Entretanto, optou-se pelas simulações inserindo-se as temperaturas diretamente do arquivo climático, já que como dito anteriormente, os estudos de caso foram considerados como protótipos, representativos para cada categoria, não sendo relevantes determinadas condições, permitindo-se simplificações.

Quanto às condições de contorno, para os quatro estudos de caso, detalhes gerais podem ser observados no Apêndice C.

Com relação ao entorno, como os estudos de caso foram considerados como protótipos, representativos para cada categoria, não foram relevantes determinadas condições, o que permitiu simplificações. Ou seja, não foi considerado o entorno das edificações: elementos construídos e vegetação.

Para a simulação termoenergética, os dados de entrada englobam as variáveis que interferem no consumo de energia e no desempenho térmico da edificação. São determinantes, por isso, as relações geométricas entre suas superfícies, sua constituição – inclusive número, espessura e posição das camadas componentes – e as propriedades termofísicas e ópticas dos materiais construtivos. São necessários dados como a condutividade térmica, o calor específico e a densidade dos materiais construtivos utilizados nas edificações simuladas. Quando se trata de materiais construtivos mais recentes, as informações necessárias para a simulação, eventualmente, podem ser obtidas em catálogos e manuais de fabricantes. Em se tratando de construções históricas, isso é um tanto quanto difícil. Na ausência de dados catalogados, informações como a transmitância térmica dos componentes construtivos, por exemplo, podem ser aferidas em laboratório, medidas *in situ* ou calculadas analiticamente, o que ocorre nessa pesquisa. Os cálculos para estimativa analítica da transmitância térmica dos componentes opacos de edificações são feitos a partir de propriedades conhecidas da estrutura analisada, como a condutividade térmica. Aproximações são feitas, mesmo sabendo-se que valores teóricos de transmitância térmica calculados para paredes, pisos e coberturas de edificações históricas, podem divergir dos valores reais. Em pesquisa desenvolvida para a *Historic Scotland* (BAKER, 2011) comparando os resultados calculados com resultados derivados de medições *in situ*, em 57 paredes analisadas, 44% dos valores de transmitância térmica medidos ficaram abaixo daqueles calculados, enquanto 14% ficaram acima.

Uma vez restituídas virtualmente as características físicas da edificação, de acordo com o tipo de simulação a ser feita, o modelo deve ser complementado com dados climáticos, regime de utilização da edificação, cargas e usos finais de energia. Os dados climáticos normalmente

demandados são registros horários de temperatura, umidade, radiação solar e regime dos ventos anuais ou de um dado período, representativos da zona climática onde se localiza a edificação em análise ou, no caso de a localidade não ter registros climáticos, de uma localidade mais próxima, dentro da mesma zona bioclimática. Os padrões de utilização da edificação se referem ao número de usuários, tipos e rotinas de atividades desenvolvidas no edifício. No caso de uma simulação termoenergética, as cargas e usos finais de energia referem-se ao consumo de energia pelos sistemas de calefação, ventilação, resfriamento, iluminação e equipamentos elétricos (MUNARIM; MARQUES DE MENDONÇA; GHISI, 2014).

### 3.2.1.2 Calibragem do modelo

A confiabilidade dos resultados das simulações computacionais está diretamente relacionada à qualidade dos dados que são inseridos no modelo. Em se tratando de edifícios existentes, os modelos das simulações podem ser calibrados, na medida em que os resultados dos parâmetros simulados podem ser confrontados com medições realizadas na edificação real, através, por exemplo, do histórico mensal de consumo e demanda de energia, no caso de simulações termoenergéticas (MUNARIM; MARQUES DE MENDONÇA; GHISI, 2014). Utilizando faturas de consumo de energia, de edificações construídas em regiões de clima quente, Pedrini, Westphal e Lamberts (2002) propuseram um método para calibração, cujo procedimento foi testado na simulação de um edifício de arquitetura modernista no sul do Brasil, chegando a uma diferença de apenas 0,2% entre o consumo anual de energia medido e o consumo simulado.

Entretanto, em se tratando de edificações antigas, muitas vezes a construção encontra-se desocupada ou abandonada durante um longo período ou apresenta um histórico de ocupação e uso equivocados, o que pode invalidar o histórico de comportamento dos usuários. Nem sempre estão disponíveis informações sobre a época de instalação ou substituição de equipamentos elétricos e mecânicos, ou mesmo de intervenções no envelope da edificação. Isso torna impraticável a calibração dos modelos das simulações termoenergéticas com base no consumo mensal de energia nesses edifícios. Quando o foco da avaliação é o desempenho da envoltória, uma forma de calibragem dos modelos das simulações seria a aferição das propriedades termofísicas a partir de dados de medições *in situ*, tais como o fluxo de calor nas superfícies opacas ou as temperaturas internas. Todavia, esses procedimentos apresentam um grau elevado de incertezas e, como alternativa, podem ser realizadas análises de sensibilidade com a variação de determinados parâmetros nos dados de entrada – como as propriedades dos

materiais ou as cargas internas – para verificar a influência desses parâmetros nos resultados das simulações. As análises de sensibilidade contribuem para o refinamento do modelo, orientando para a necessidade ou não de medições suplementares ou de maiores detalhamentos ou mesmo simplificações nas simulações (MUNARIM; MARQUES DE MENDONÇA; GHISI, 2014). Essas análises de sensibilidade são parte integrante do estudo, já que as diferentes estratégias simuladas apresentam variações nas propriedades dos materiais e consequente variação nos dados de entrada e acabam contribuindo para a aferição dos modelos. Estes procedimentos adotados na pesquisa superam as dificuldades dos trabalhos de campo como anteriormente abordado.

### 3.2.1.3 Cenários de simulação

Após a construção do modelo dá-se sequência à avaliação da edificação original nos parâmetros e quesitos que se pretende analisar com a simulação. Esse procedimento auxilia na definição das estratégias que foram adotadas, além de determinar um cenário base – modelo de referência – para a avaliação da eficácia das intervenções que foram simuladas. O próximo passo foi a criação de diferentes cenários envolvendo as estratégias para aumento da eficiência energética e do desempenho térmico a serem aplicadas para a edificação, podendo contemplar desde estratégias simples até intervenções na envoltória – como a instalação de isolamento térmico nos pisos, paredes e cobertura, reforma ou substituição de aberturas, dentre outros.

Uma abordagem na qual seleciona-se uma série de possíveis alternativas de projeto e simula-se cada uma delas separadamente é sugerida por Cluver e Randall (2010). Desta forma, pode-se isolar e avaliar o efeito de cada estratégia de intervenção no comportamento da edificação. Na sequência, são criados cenários com combinações de diferentes alternativas de projeto, na medida em que determinadas soluções podem, individualmente, melhorar o desempenho da edificação. Da mesma forma, uma determinada intervenção, em combinação com outra, pode ter seus efeitos anulados ou mesmo revertidos. Em trabalho de intervenção em edificação histórica que também utiliza simulação, Ascione, De Rossi e Vanoli (2011) seguiram fórmula semelhante.

Alternativa para a avaliação das estratégias propostas combinadas seria a criação de cenários de otimização de simulação, conforme abordado anteriormente na revisão da literatura. Entretanto, estes procedimentos não foram adotados nesta pesquisa, já que priorizam resultados provenientes de avaliações quantitativas e um dos objetivos da pesquisa é a ponderação entre resultados desse tipo de avaliação e de avaliações qualitativas. A avaliação do desempenho

térmico e da eficiência energética também foram feitas de forma separada, até porque os resultados dessa última foram utilizados para a ponderação. Para uma primeira aproximação, a avaliação de medidas mais energeticamente eficientes, quando tomadas individualmente e, posteriormente, a combinação daquelas mais eficientes com as mais adequadas aos princípios de restauração, sem a otimização de simulação, mostraram-se mais pertinentes aos objetivos da pesquisa.

### 3.2.2 Levantamentos

A coleta de dados necessária para o andamento da pesquisa é iniciada através dos levantamentos de arquivo (documental) sendo, em alguns aspectos, a base para as demais, já que os materiais e registros levantados servem de subsídio para as etapas seguintes. Esse levantamento constitui-se dos inventários e levantamentos cadastrais realizados pelos órgãos do patrimônio histórico, dos projetos constituídos de plantas, cortes, fachadas e detalhamentos das edificações e de fotos existentes (material iconográfico). Os memoriais descritivos dos inventários de cadastro e projetos de restauração são de fundamental importância para o entendimento dos processos construtivos e identificação dos materiais componentes da edificação, embora muitas edificações de valor cultural não tenham qualquer documentação. Essa documentação pode ser obtida nos arquivos do IPHAN, quando a edificação é tombada por esse órgão, como no caso de estudo piloto realizado no Palacete Argentina, sede do órgão em Porto Alegre (GIRALT; PEDROTTI, 2016) ou para o estudo piloto realizado no Salão Holler, onde os documentos foram fornecidos pela Prefeitura Municipal de Ivoti (GIRALT; WEBER, 2018) ou obtidos de publicação onde a edificação foi estudada (WEIMER, 2005). Documentação também pode ser obtida nos arquivos do IPHAE, quando tratar-se de edificação tombada por este órgão em nível estadual, ou mesmo em arquivos municipais, como no caso de Porto Alegre, nos arquivos da Equipe do Patrimônio Artístico Histórico e Cultural (EPAHC).

Os levantamentos *in loco* constituem-se de visitas e prospecções nos objetos de estudo selecionados, quando são confrontadas as informações obtidas no levantamento de arquivo com a realidade das edificações. Possíveis inconsistências e lacunas são esclarecidas nessa fase. Nesta etapa também são realizados registros fotográficos. O uso e o estado de conservação também são verificados nesta etapa. Entretanto, devido à excepcionalidade do recente período pandêmico, não foram feitos levantamentos de campo detalhados, exceto alguns registros fotográficos externos. As informações que seriam provenientes deste tipo de levantamento foram obtidas da documentação disponível e do material iconográfico.

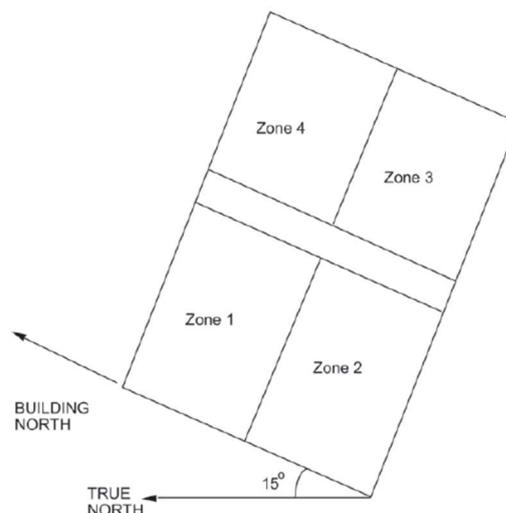
### 3.2.3 Caracterização climática

#### 3.2.3.1 Localização e orientação solar

As edificações objeto de análise deste trabalho deverão ter sua localização definidas pelos seus endereços e coordenadas geográficas. Essas coordenadas podem ser obtidas através de aplicativos do tipo *Google Earth* ou *Google Maps*, por exemplo. Estes aplicativos também podem fornecer, de forma remota, informações do entorno da edificação. Essas informações seriam necessárias, já que edificações lindeiras ou vegetação de grande porte são elementos de sombreamento da edificação que afetam o seu desempenho térmico, caso o entorno fosse levado em consideração nessa pesquisa. Em relação à orientação solar, será necessário calcular o desvio azimutal da fachada principal da edificação em relação ao norte.

O desvio azimutal da edificação é especificado em relação ao norte verdadeiro. Os edifícios frequentemente não se alinham com o norte verdadeiro. Por conveniência, de acordo com a modelagem, pode-se inserir superfícies em um sistema de coordenadas “regular” e depois deslocá-las através do uso do desvio azimutal, cujo ângulo deverá ser informado ao programa de simulação. O valor é especificado em graus a partir do “norte verdadeiro” (sentido horário é positivo) (ENERGYPLUS, 2020a). A Figura 22 mostra como o eixo norte do edifício pode ser girado para corresponder a um dos eixos principais de um edifício real. Nesse exemplo o desvio azimutal é de  $15^\circ$ .

Figura 22 – Demonstração da determinação do desvio azimutal



Fonte: (ENERGYPLUS, 2020a)

Conhecendo-se as coordenadas da edificação e o seu desvio azimutal será possível geolocalizar o modelo que for gerado. Dessa forma o programa de simulação pode realizar suas rotinas de cálculo considerando a posição correta do modelo. É de suma importância que o modelo da edificação esteja posicionado exatamente como na construção original, pois o programa de simulação realizará o balanço termo energético da edificação considerando a sua posição.

### 3.2.3.2 Arquivo climático

Os arquivos climáticos a serem utilizados para as simulações devem fornecer valores horários para todos os parâmetros relevantes requeridos pelo programa de simulação, tais como temperatura do ar, umidade do ar, direção e velocidade do vento e radiação solar. O sítio do Laboratório de Eficiência Energética das Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) disponibiliza arquivos climáticos de cidades brasileiras para simulação energética de edificações (LABEEE, 2021). Caso o local onde se localize a edificação que será simulada não possua arquivo climático, deve-se utilizar os dados climáticos de uma região próxima que possua características climáticas similares, dentro de uma mesma zona bioclimática. O zoneamento bioclimático brasileiro é apresentado na parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005b).

Um ponto a ser definido são os dois períodos do ano – estações – que servirão como referência para a definição das vestimentas dos ocupantes bem como para as análises dos dados de saída. Há duas maneiras de definir as estações do ano: a astronômica e a climática (meteorológica). Ambas as definições se constituem de quatro estações de três meses cada. A definição astronômica é a mais usual, utilizada pelos veículos de comunicação, logo a mais conhecida pelo público leigo. Astronomicamente, em função da posição da Terra em relação à sua órbita ao redor do sol, as estações, para o hemisfério sul, são assim definidas: verão 21 de dezembro a 23 de março, outono 23 de março a 21 de junho, inverno 21 de junho a 23 de setembro, e primavera de 23 de setembro a 21 de dezembro. Já para a climatologia e a meteorologia, as estações do ano são definidas em períodos de três meses: verão em dezembro, janeiro e fevereiro; outono em março, abril e maio; inverno em junho, julho e agosto; e primavera em setembro, outubro e novembro. Cada estação inicia no primeiro dia do primeiro mês e finda no último dia do terceiro mês (CUNHA, 2021). Essa abordagem lida com os dados de meses inteiros, em vez de frações de meses, alinhando as datas do calendário com as temperaturas médias durante cada período do ano. Essa divisão, que existe desde meados do

século 20, permite que os cientistas da área comparem com mais facilidade os padrões climáticos de uma estação para outra, o que seria muito difícil usando a convenção astronômica, por causa do atraso nas temperaturas sazonais. Os trimestres convencionados pelos meteorologistas permitem que os padrões climáticos interanuais sejam mais bem observados e previstos, uma vez que são baseados no ciclo anual de temperatura, não no tempo exato de órbita da Terra (INCAPER, 2021). Para as análises desta pesquisa, levando-se em consideração as abordagens acima, foram assumidas para as simulações as estações climáticas/meteorológicas.

### **3.2.4 Cargas internas**

As cargas internas são constituídas pelo calor liberado pelas pessoas, equipamentos elétricos e iluminação, e têm fundamental importância na carga térmica do ambiente, junto das condições ambientais externas, do microclima do local e dos elementos construtivos da edificação. Além da influência na carga térmica do ambiente, as cargas internas, juntamente com a resistência térmica das vestimentas e as atividades exercidas pelos usuários, podem modificar, consideravelmente, o nível de conforto térmico das pessoas que ocupam a edificação.

Considerando-se seu uso como residencial e tendo como objetivo determinar o nível de conforto e a eficiência energética da edificação, tomaram-se como base os dados do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) (BRASIL, 2012).

#### **3.2.4.1 Ocupação**

Em se tratando de edificações residenciais, o RTQ-R estabelece um padrão mínimo de ocupação de dormitórios que deve ser de duas pessoas por ambiente e a sala utilizada por todos os usuários dos dormitórios, sendo este número distribuído uniformemente no caso de existir outras salas ou compartimentos de permanência prolongada. A modelagem deve considerar um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, conforme os horários apresentados na Tabela 1, sendo a ocupação do ambiente representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Tabela 1 – Padrão de ocupação para dias de semana e final de semana

Hora	Dormitórios		Sala	
	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)	Dias de Semana (%)	Final de Semana (%)
1 h	100	100	0	0
2 h	100	100	0	0
3 h	100	100	0	0
4 h	100	100	0	0
5 h	100	100	0	0
6 h	100	100	0	0
7 h	100	100	0	0
8 h	0	100	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	50	0	0
11 h	0	0	0	25
12 h	0	0	0	75
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	25	75
15 h	0	0	25	50
16 h	0	0	25	50
17 h	0	0	25	50
18 h	0	0	25	25
19 h	0	0	100	25
20 h	0	0	50	50
21 h	50	50	50	50
22 h	100	100	0	0
23 h	100	100	0	0
24 h	100	100	0	0

Fonte: (BRASIL, 2012)

#### 3.2.4.2 Equipamentos

O regulamento também estabelece que as cargas internas de equipamentos devam ser modeladas para o ambiente “sala” definindo o período de uso e a potência dos equipamentos, conforme são apresentados na Tabela 2. Para a simulação do ambiente devem ser consideradas as potências dos equipamentos para o período de 24 horas do dia durante todo o período de simulação.

Tabela 2 - Cargas Internas de Equipamentos

<b>Ambiente</b>	<b>Período</b>	<b>Potência (W/m<sup>2</sup>)</b>
Sala	24 h	1,5

Fonte: (BRASIL, 2012)

## 3.2.4.3 Iluminação

Tabela 3 - Padrão de uso da iluminação

<b>Hora</b>	<b>Dormitórios</b>		<b>Sala</b>	
	<b>Dias de Semana (%)</b>	<b>Final de Semana (%)</b>	<b>Dias de Semana (%)</b>	<b>Final de Semana (%)</b>
1 h	0	0	0	0
2 h	0	0	0	0
3 h	0	0	0	0
4 h	0	0	0	0
5 h	0	0	0	0
6 h	0	0	0	0
7 h	100	0	0	0
8 h	0	0	0	0
9 h	0	100	0	0
10 h	0	0	0	0
11 h	0	0	0	100
12 h	0	0	0	100
13 h	0	0	0	0
14 h	0	0	0	0
15 h	0	0	0	0
16 h	0	0	0	0
17 h	0	0	100	100
18 h	0	0	100	100
19 h	0	0	100	100
20 h	0	0	100	100
21 h	100	100	100	100
22 h	100	100	0	0
23 h	0	0	0	0
24 h	0	0	0	0

Fonte: (BRASIL, 2012)

Em relação à iluminação, o RTQ-R determina que a modelagem deva ser realizada para os ambientes de permanência prolongada considerando um padrão de uso para os dias de semana e outro para os finais de semana. As porcentagens representam o uso da iluminação, sendo que 100% representa a iluminação ligada e 0% desligada (Tabela 3). Caso haja mais de uma sala ou outros ambientes de permanência prolongada o padrão de uso da iluminação descrito anteriormente também deve ser utilizado para esses ambientes.

Os ambientes de permanência prolongada devem ser modelados com densidades de potência instalada de iluminação de acordo com os dados da Tabela 4 que segue.

Tabela 4 - Densidade de potência instalada de iluminação

<b>Ambiente</b>	<b>DPI (W/m<sup>2</sup>)</b>
Dormitórios	5,0
Sala	6,0

Fonte: (BRASIL, 2012)

#### 3.2.4.4 Atividade e vestimenta

A atividade realizada e a vestimenta utilizada pelos ocupantes dos espaços são os fatores humanos necessários para a obtenção dos níveis de conforto térmico.

Para cada atividade desempenhada nos diferentes ambientes deve-se adotar uma respectiva taxa metabólica. Os valores indicados para as taxas foram extraídos da ASHRAE (2017) e multiplicados por 1,80m<sup>2</sup> que equivale à área de pele de uma pessoa média. A Tabela 5 apresenta esses valores. Quando a cozinha for ocupada por mais de uma pessoa, apenas uma estará desempenhando atividade de cocção, os demais ocupantes desempenharão atividade sentado ou assistindo TV (sala).

Tabela 5 - Taxas metabólicas para cada atividade

<b>Ambiente</b>	<b>Atividade Realizada</b>	<b>Calor Produzido (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Calor Produzido para área de pele = 1,80m<sup>2</sup> (W)</b>
Sala	Sentado ou assistindo TV	60	108
Dormitórios	Dormindo ou descansando	40	72
Cozinha	Cozinhando	95	171

Fonte: adaptado de BRASIL (2012)

A vestimenta utilizada por uma pessoa tem significativo impacto na sua sensação de conforto térmico e é mensurada através do seu índice de resistência térmica,  $I_{cl}$ . Essa variável é medida em “clo” (do inglês *clothing*) sendo que 1 clo equivale a uma resistência térmica de  $0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$ . A NBR 16401 em sua parte 2 (ABNT, 2008) estabelece valores de 0,9 clo para roupa típica de inverno e de 0,5 clo para roupa típica de verão, valores próximos dos padrões internacionais que sugerem valores de  $I_{cl}$  de 1,0 clo para inverno e 0,5 clo para verão. Essa simplificação é criticada por alguns pesquisadores como no trabalho que propõe dois modelos dinâmicos para o estabelecimento dos índices de isolamento de roupas. O primeiro baseado em temperaturas médias do ar externo às 6h00 e o segundo em temperaturas operativas médias internas, chegando a valores de  $I_{cl}$  0,5 clo para verão e 0,69 clo para inverno, esses últimos valores bem abaixo dos padrões anteriormente citados (SCHIAVON; LEE, 2013). Outra opção seria a utilização de valores tabelados para o  $I_{cl}$  da vestimenta dos ocupantes, na tentativa de configurar uma situação o mais real possível. O programa de simulação Energy Plus aceita as duas opções e ainda propõe uma terceira que pode utilizar um ou outro método dependendo de um padrão que determina qual deles usar em diferentes períodos do dia (ENERGYPLUS, 2020a). Analisando os cenários, propõe-se para a presente pesquisa a opção de estipular a vestimenta dos ocupantes dos espaços para três períodos do ano – verão (período quente), primavera e outono (período intermediário) e inverno (período frio) – de acordo com os dados fornecidos pelas principais normas internacionais (ASHRAE, 2017; ISO, 2005), o que mostra-se mais adequado à realidade. Além disso, na busca por uma maior aproximação com a realidade, os *schedules* dos índices de resistência térmica das vestimentas foram majorados em 25% no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e em 50% das 24h00 às 8h00, para todas as estações do ano. Essa proposição baseia-se no fato de que dificilmente os ocupantes usariam a mesma vestimenta em todos os períodos do dia. No período noturno, pode-se afirmar que a resistência térmica das vestimentas seria bem maior, impactando nos resultados dos índices de conforto calculados pela simulação.

### 3.2.5 Considerações sobre infiltração de ar

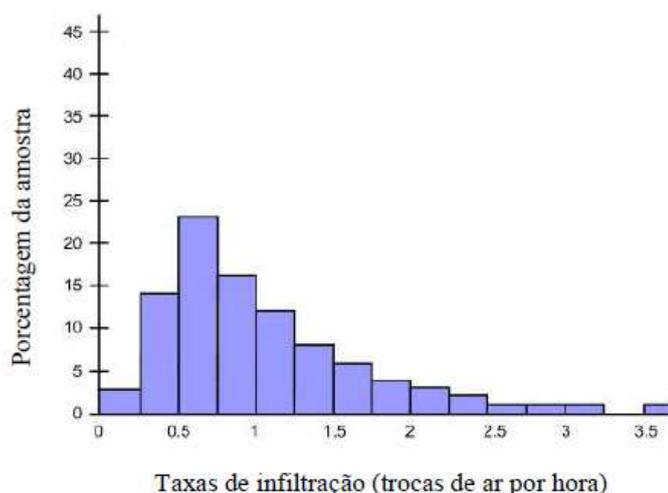
A complexidade da simulação da ventilação natural das edificações pelo programa escolhido foi determinante para que fossem assumidas as taxas de infiltração em sua substituição. Há a necessidade de um grande conhecimento da edificação para que sejam estabelecidas todas as programações de ventilação para todas as aberturas. Como é sabido que não há edificações estanques em nossa realidade, ainda mais tratando-se de edificações antigas,

pode-se fixar os padrões de infiltração para verão, considerando-se as esquadrias mais abertas, e para inverno, considerando-as mais fechadas

As normas (ABNT, 2008b) (ABNT, 2005b) definem infiltração como o fluxo de ar externo para dentro da edificação através de frestas e outras aberturas não intencionais e através do uso normal de aberturas localizadas nas fachadas. No caso de aberturas em fachadas opostas, pode-se dar infiltração por uma fachada e exfiltração (saída não intencional de ar) pela outra, o que pode configurar-se em ventilação cruzada, mesmo sabendo-se que a infiltração não deva ser confundida com ventilação, já que não é controlada. É normalmente provocada pelos efeitos da pressão dos ventos e de diferenças entre pressões internas e externas, bem como diferenças na densidade do ar, como efeito chaminé, e, quando não mantida sob controle, implica taxa adicional de ar exterior e conseqüentemente da carga térmica para a edificação. Ou seja, essa troca descontrolada de ar entre o interior e o exterior, seja por infiltração ou exfiltração, pode até mesmo causar desconforto térmico (ASHRAE, 2017). Em trabalho que avalia a estanqueidade de três edifícios residenciais representativos, datados das décadas de 1970, 1980 e 2000, na cidade de São Paulo, foram obtidos resultados das medições que variaram amplamente de 1 a 5,7 trocas por hora (RODRIGUES *et al.*, 2021). Para compreender a contribuição dessa variável no conforto térmico, simulações dinâmicas foram realizadas usando valores de estanqueidade medidos e representativos (convertidos à infiltração). Os resultados sugeriram que a melhoria de até 9% nos níveis de conforto térmico poderia ser alcançada com a adoção de 1 troca por hora como infiltração máxima, e de até 14% com a adoção de 0,5 trocas por hora.

Na análise do desempenho termo energético do Instituto de Química Industrial da UFRGS, Carotenuto (2009) considera nas simulações, durante o período de inverno, uma taxa de infiltração de ar de 0,5 troca por hora; no verão uma taxa de infiltração de ar de 1,0 troca por hora, tendo em vista que nesse período as portas e janelas não ficam bem fechadas; e nas estações do ano intermediárias uma taxa de infiltração de 0,75 troca de ar por hora. Esses valores foram estabelecidos a partir da média sazonal dos valores de infiltrações para construções novas de uma amostragem de 312 casas analisadas na América do Norte pela norma ASHRAE cujo valor médio ficou em 0,5 trocas por hora. A norma apresenta também valores de infiltrações para edificações mais velhas, numa amostragem de 266 residências localizadas em 16 cidades dos EUA. A taxa média de infiltração ficou em 0,9 trocas por hora, com uma frequência de ocorrência de taxas de infiltração de 0,75 trocas por hora em torno de 23% (Figura 23).

Figura 23 – Histograma dos valores de infiltração de ar para habitações antigas e de baixa renda



Fonte: (ASHRAE, 2017)

A partir da análise dos dados do gráfico e das referências citadas, pode-se estabelecer uma taxa de infiltração de 0,5 trocas por hora para o período de inverno, valor mínimo conforme o valor adotados por Carotenuto (2009) e por Grünewald; Will; Pohl (2010) com portas e janelas mais fechadas; uma taxa de infiltração para estações intermediarias do ano de 0,75 trocas por hora, valor igual ao adotado por Carotenuto (2009) e médio de acordo com a norma; e taxa de infiltração de 1,0 troca por hora para o verão, também a mesma taxa adotada por Carotenuto (2009), com portas e janelas mais abertas, sendo também um valor médio da amostra da norma. Observa-se que esses valores são menores do que taxas de infiltração de 5,7 trocas por hora encontradas em algumas edificações no Brasil (RODRIGUES et al., 2021).

Tabela 6 – Taxas de infiltração de ar acordo com estação do ano e horários do dia

Período	Horário		
	Das 0h00 até as 8h00 (redução de 50%)	Das 8h00 até as 18h00 (sem redução)	Das 18h00 até as 24h00 (redução de 25%)
Verão	0,5	1	0,75
Outono	0,38	0,75	0,56
Inverno	0,25	0,5	0,38
Primavera	0,38	0,75	0,56

Nota: as estações são as climáticas ou meteorológicas

Fonte: elaborada pelo autor

A taxa média de infiltração, em torno de 0,5, fica abaixo dos valores anuais adotados de 1,2 trocas por hora por Ascione; De Rossi; Vanoli (2011) e de 1,15 trocas por hora adotado por Treichel; Silva; Oliveira (2018). Além disso, na busca por uma maior aproximação com a realidade, considerando-se as esquadrias como um dos elementos responsáveis pela taxa de infiltração, os *schedules* dessas taxas foram reduzidos em 25% no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e em 50% das 24h00 às 8h00, para todas as estações do ano (Tabela 6).

### **3.2.6 Sistema de condicionamento do ar**

Para possibilitar a comparação da eficiência energética das diferentes estratégias a serem testadas nas edificações é necessário o dimensionamento de um sistema de climatização artificial. O dimensionamento desse sistema ocorre realizando-se as simulações do modelo no programa EnergyPlus em modo *autosize*. O objetivo dessa simulação é obter o consumo de energia para refrigeração e aquecimento do modelo. As temperaturas de *setpoint* do termostato são de 20°C para inverno e 24°C para verão.

Para este dimensionamento, utilizaram-se os dias de projeto de dimensionamento para aquecimento e refrigeração (Inverno e Verão). Os dados presentes nos dias de projeto são oriundos do arquivo climático. Para o dia de projeto de verão, considera-se que não há nebulosidade no céu e para o dia de projeto de inverno, considera-se o céu totalmente nublado.

### **3.2.7 Estratégias para conforto e eficiência energética em edificações de interesse cultural**

#### **3.2.7.1 Introdução**

Dentre as referências consideradas nesta pesquisa, algumas destacam-se pelo seu ineditismo e pela sua importância como referencial para as pesquisas subsequentes. Na continuação são abordadas aquelas, que na descrição dos seus métodos de trabalho, trazem uma série de estratégias para o aumento da eficiência energética e do consequente conforto térmico em edificações de interesse cultural. Essas estratégias podem estar relacionadas a vários quesitos nas edificações e são apresentadas na sequência, de acordo com suas características.

Nas primeiras discussões sobre conservação de energia em edificações antigas, Smith (1978) apresentava as primeiras medidas passivas a serem utilizadas como o controle do termostato dos equipamentos de calefação, diminuindo a temperatura no inverno e aumentando no verão; o controle da temperatura em ambientes realmente utilizados; a redução do nível de

iluminação e do número de luminárias, maximizando a luz natural; o uso de janelas operáveis, venezianas, toldos e aberturas como originalmente planejado para controlar o ambiente interno (maximizar o ar fresco); a manutenção de equipamentos mecânicos regularmente para garantir a máxima eficiência; a limpeza de radiadores e registros de ar forçado para garantir o funcionamento adequado. Conforme o autor, as medidas passivas descritas acima poderiam economizar até 30% da energia usada na edificação. Além disso, apresenta as estratégias de requalificação mais comuns, sendo algumas altamente recomendadas do ponto de vista de preservação, algumas menos benéficas ou mesmo prejudiciais ao edifício: redução da infiltração de ar; isolamento do ático (sótão); utilização de *storm windows*, que são planos adicionais de janelas; isolamento de porões; isolamento de dutos e tubulações; utilização de toldos e dispositivos de sombreamento; utilização de vestíbulos; substituição de janelas; recuperação de portas; isolamento de paredes instalado no interior e no exterior.

Grünewald, Will e Pohl, (2010) apresentam estratégias para a otimização energética da envoltória da edificação em relação aos diferentes componentes. Para o porão propõem isolamento do teto deste ou do piso do térreo; para a cobertura propõem isolamento do teto do andar superior, isolamento do telhado entre os caibros, no caso das terças aparentes, ou sobre esses quando houver forro; para as fachadas propõem sistemas de isolamento térmico exterior, isolamento com revestimento ventilado, isolamento interno das paredes, reboco para isolamento térmico e isolamento central no caso de fachadas multicamadas; em relação à estanqueidade propõem vedação das aberturas e dos elementos construtivos, substituição de aberturas, uso de vidros eficientes e plano adicional de janela; quanto ao sistema de ventilação, propõem como solução vedação somada à ventilação com trocador de ar com recuperador de calor. Estratégias para aumentar a eficiência dos sistemas e do uso do potencial de geração de energia (energias renováveis) são também apresentadas como o aumento da eficiência dos equipamentos de aquecimento; o uso da energia solar térmica na cobertura e nas fachadas; o uso da energia solar fotovoltaica nas coberturas e nas fachadas; o uso de sistemas de cogeração de energia; o uso da geotermia.

Ascione, De Rossi e Vanoli, (2011), na requalificação energética de edificação de interesse cultural na Itália, propõem como estratégias a modificação do ajuste das temperaturas (*set-point*) do interior dos espaços; redução da infiltração de ar, melhorando a estanqueidade das aberturas; aumento do isolamento térmico da envoltória do edifício; substituição da caldeira tradicional a gás por aquecedor a condensação de metano; substituição das aberturas, adotando sistemas mais eficientes; substituição dos dispositivos de iluminação artificial.

Em outro trabalho Broström *et al.*, (2014) propõem estratégias para requalificação de prédios antigos na Suécia relacionadas a equipamentos para aquecimento, como bomba de calor de fonte subterrânea e caldeira a “*pellets*”; estratégias relacionadas à estanqueidade de esquadrias como calafetagem e troca de aberturas; estratégias relacionadas à inércia térmica da edificação como adicionar um plano adicional às janelas, isolamento do piso do sótão, isolamento externo e interno de paredes.

Em outra pesquisa, aplicada a edificações no Brasil, (JAPIASSÚ, 2019) apresenta estratégias de requalificação energética para a envoltória das edificações, considerando variáveis como o fator solar e a transmissão luminosa dos vidros; o percentual de área de abertura nas fachadas; a proteção solar das aberturas; a transmitância térmica das fachadas; a absorvância térmica da cobertura; a transmitância térmica da cobertura. Esse trabalho utiliza como estudos de caso edificações brasileiras representativas da arquitetura moderna e do período colonial. Nas últimas são consideradas como variáveis apenas as propriedades do vidro e a transmitância térmica da cobertura.

### 3.2.7.2 Definição das estratégias

Quadro 2 – Tipos de estratégias conforme diferentes autores

Autores	Tipos de Estratégias					
	Equipamentos	Isolamento	Aberturas	Infiltração	Iluminação	Energias Renováveis
Smith (1978)	X	X	X	X	X	
Grünewald, Will, Pohl (2010)	X	X	X	X		X
Ascione, De Rossi, Vanoli (2011)	X	X	X	X	X	
Broström <i>et al.</i> (2014)	X	X	X	X		
Japiassú (2019)		X	X			

Fonte: elaborado pelo autor

Considerando-se as diferentes estratégias apresentadas pelos diferentes autores acima, pode-se agrupá-las conforme suas características naquelas relacionadas aos equipamentos, nas relacionadas às aberturas, nas relacionadas ao isolamento térmico, nas relacionadas à infiltração de ar e nas estratégias relacionadas à iluminação (Quadro 2).

Analisando-se as informações apresentadas acima, tem-se que as estratégias de isolamento térmico e aquelas relacionadas às aberturas são propostas com maior frequência pelos autores. Em segundo lugar têm-se as estratégias referentes à infiltração de ar nos ambientes e aquelas relacionadas aos equipamentos. Iluminação aparece na sequência com duas citações e a utilização de energias renováveis sendo citada por apenas um trabalho. A partir dessa interpretação, pode-se definir quais as estratégias a serem avaliadas nessa pesquisa. Propõe-se a avaliação de estratégias relacionadas ao isolamento térmico, as relacionadas às aberturas e à infiltração de ar, sendo que, indiretamente, essas duas últimas estão estritamente ligadas. Não foram avaliadas estratégias relacionadas aos equipamentos. Entretanto, para a avaliação da eficiência energética, foram dimensionados equipamentos de climatização para possibilitar a comparação da eficiência das demais estratégias. Também devido ao caráter residencial das edificações objetos de estudo, o que não implica em sistemas de iluminação complexos, decidiu-se por não avaliar este quesito. Na sequência são apresentadas as diferentes estratégias a serem analisadas na pesquisa.

### 3.2.7.3 Estratégias de isolamento térmico

Diretamente relacionadas com a envoltória da edificação, os materiais utilizados para isolamento térmico são aqueles disponíveis no mercado brasileiro. Os mais difundidos são aqueles cujas características são apresentadas na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a): lã de rocha, lã de vidro, poliestireno expandido moldado (*Expanded Polystyrene (EPS)*), poliestireno extrudado (*Extruded Polystyrene (XPS)*) e espuma rígida de poliuretano. Além desses, pode-se citar também lã cerâmica, lã de basalto, sílica diatomácea, silicato de cálcio, vermiculita, cortiça, vidro expandido, espuma celulósica, espuma de polietileno, espuma de polipropileno, espuma elastomérica e argila expandida. Essas estratégias estão subdivididas em sua aplicação em pisos e entrepisos, coberturas e paredes externas.

#### 3.2.7.3.1 Isolamento térmico de pisos e entrepisos.

- a) Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares (EST 01) assentados sobre contrapisos e/ou lajes de concreto. O isolamento pode ser aplicado entre o piso e uma

camada de argamassa de regularização, implicando na remoção e recolocação do piso original (Tabela 7).

Tabela 7 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>C<sub>p</sub> (J/kg.K)</b>
Piso Cerâmico ou Similar Poliestireno Extrudado	0,04	0,035	30	1420
Argamassa Regularização/Assentamento Laje de concreto/Contrapiso				

Fonte: elaborada pelo autor

- b) Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02). O isolamento pode ser aplicado abaixo do piso entre o barroteamento, no caso de pisos térreos, ou entre o piso do pavimento superior e o forro do pavimento inferior, no caso de estrutura de entrepisos de madeira (Tabela 8).

Tabela 8 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>C<sub>p</sub> (J/kg.K)</b>
Piso de Madeira Lã de Rocha	0,05	0,045	30	750
Forro de Madeira				

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.2.7.3.2 Isolamento térmico de coberturas

Dependendo do tipo e da configuração dos ambientes da edificação pode-se aplicar o isolamento nas duas situações que são apresentadas na sequência:

- a) Isolamento térmico do telhado (EST 03). O isolamento pode ser aplicado entre os caibros, no caso das terças aparentes ou, quando houver forro, entre este e a estrutura do telhado (Tabela 9).

Tabela 9 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>C<sub>p</sub> (J/kg.K)</b>
Telha Lã de Rocha	0,03	0,045	30	750
Forro de Madeira				

Fonte: elaborada pelo autor

- b) Isolamento térmico do forro ou laje de cobertura (EST 04). O isolamento pode ser aplicado acima da laje ou do forro (Tabela 10).

Tabela 10 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cp (J/kg.K)</b>
Lã de Rocha	0,05	0,045	30	750
Laje de Concreto				

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.2.7.3.3 Isolamento térmico de paredes externas

- a) Isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento térmico exterior (EST 05). Trata-se de *Exterior Insulation Finishing System* (EIFS), da sigla em inglês, *Wärmedämmverbundsystem* (WDVS), da sigla em alemão ou *Sistema de Aislamiento Térmico Exterior* (SATE), da sigla em espanhol. São sistemas compostos de isolamento que têm uma espessura que vai de 4cm a no máximo 20 cm. Essa estratégia também inclui rebocos de isolamento térmico (Tabela 11).

Tabela 11 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cp (J/kg.K)</b>
Sistema de Isolamento Térmico	0,04	0,05	260	1000
Reboco Original				
Parede				

Fonte: elaborada pelo autor

- b) Isolamento térmico interno das paredes externas de madeira (EST 06). O isolamento pode ser aplicado entre paredes duplas de madeira ou, no caso de revestimento de madeira aplicado sobre alvenaria, entre aquele e a alvenaria (Tabela 12).

Tabela 12 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cp (J/kg.K)</b>
Parede de Madeira Externa				
Reboco Original	0,05	0,045	30	750
Parede de Madeira Interna				

Fonte: elaborada pelo autor

- c) Isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07). Geralmente lã de vidro ou lã de rocha aplicada entre a parede e novo revestimento interno como, por

exemplo, camada de gesso acartonado. A espessura do conjunto fica em torno de 5 cm (Tabela 13).

Tabela 13 – Construção e propriedades termofísicas do material isolante

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b><math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Cp (J/kg.K)</b>
Parede				
Lã de Rocha	0,05	0,045	30	750
Gesso Acartonado	0,15	0,35	875	840

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.2.7.4 Estratégias relacionadas às esquadrias

Uma estratégia relacionada às janelas e portas externas inclui a melhoria da vedação e consequente estanqueidade da edificação, para a redução das trocas de ar através de infiltrações. Outras estratégias relacionadas às aberturas, dependendo do tipo e da configuração dos ambientes da edificação, estão relacionadas a sua substituição ou incorporação de materiais contemporâneos.

- a) Vedação e reparação de janelas e portas (EST 08) para redução das taxas de infiltração de ar em 85%. Este valor é uma média de valores de redução adotados em pesquisas similares (ASCIONE; DE ROSSI; VANOLI, 2011; GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010). Esquadrias em más condições aumentam as infiltrações que ocasionam problemas de perda de calor no inverno ou ganhos de calor no verão, implicando no conforto térmico dos usuários e na eficiência de equipamento de aquecimento ou refrigeração.
- b) Substituição de janelas (EST 09) utilizando-se a forma original e o mesmo tipo de material, com utilização de vidro duplo, quando for o caso. As novas esquadrias devem utilizar-se dos mesmos materiais das esquadrias originais, porém com melhor vedação (Tabela 14). Utilizando-se vidros de baixa emissividade tanto externa, quanto internamente, o Fator Solar do conjunto é igual a 0,131.

Tabela 14 – Construção e propriedades termofísicas do vidro duplo

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b>Fator Solar (FS)</b>
Vidro Externo Baixa Emissividade	0,006	1,00	0,220
Camada de ar	0,012		
Vidro Interno Baixa Emissividade	0,006	1,00	0,220

Fonte: elaborada pelo autor

- c) Instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10). Adequado a esquadrias com vitrais ou vidros decorativos que não permitam sua substituição, por exemplo, por esquadrias com vidro duplo. Geralmente em paredes com grande espessura que permitam a criação de um novo plano de esquadria, interno, instalado no mesmo vão da janela, com o uso de vidro para não prejudicar a iluminação natural. Deve ser móvel, para permitir ventilação, quando desejada (Tabela 15).

Tabela 15 – Construção e propriedades termofísicas do vidro

<b>Materiais</b>	<b>Espessura (m)</b>	<b>k (W/m.K)</b>	<b>Fator Solar (FS)</b>
Vitral (Vidro) Externo Existente			
Camada de ar Variável			
Vidro Interno Baixa Emissividade	0,006	1,00	0,220

Fonte: elaborada pelo autor

O Quadro 3 apresenta um resumo das estratégias a serem simuladas para os diferentes estudos de caso (cenários de simulação). Na sequência do trabalho foram utilizadas as abreviaturas e descrições para as diferentes estratégias. A estratégia de isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares (EST 01) não fará parte da avaliação quantitativa para os estudos de caso, já que ocorreria em apenas um deles (Casa Frasca), mas acaba não tendo uma área significativa que justificasse sua aplicação. Entretanto, fará parte da avaliação qualitativa (questionários).

Quadro 3 – Estratégias a serem simuladas nos estudos de caso (cenários de simulação)

<b>Estratégia</b>	<b>Descrição</b>
EST 01	Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares
EST 02	Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira
EST 03	Isolamento térmico do telhado
EST 04	Isolamento térmico do forro ou laje de cobertura
EST 05	Isolamento térmico de paredes externas com sistema de isolamento térmico exterior
EST 06	Isolamento térmico interno de paredes externas de madeira
EST 07	Isolamento térmico interno de paredes externas
EST 08	Redução da taxa de infiltração nas esquadrias
EST 09	Substituição de janelas com adoção de vidro duplo
EST 10	Instalação de plano adicional interno de vidro às janelas

Fonte: elaborado pelo autor

### 3.2.7.5 Combinação de estratégias

Para cada estudo de caso foram simuladas individualmente todas as estratégias onde será possível determinar a sua eficácia em relação ao conforto térmico dos usuários e a sua eficiência energética. A partir dos resultados da avaliação qualitativa, foram elencadas as estratégias mais compatíveis do ponto de vista do patrimônio, para cada edificação e, na sequência, foram simuladas combinações dessas estratégias com aquelas mais energeticamente eficientes.

### 3.2.8 Parâmetros para avaliação de desempenho térmico e eficiência energética

De maneira geral, a referência internacional quando se fala da avaliação de conforto térmico em espaços internos, a ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017) apresenta dois procedimentos de avaliação. O primeiro é o modelo analítico, baseado no clássico modelo analítico de Fanger (1970), por meio dos índices *Predicted Mean Vote* (PMV) ou Voto Médio Estimado e *Predicted Percentage of Dissatisfied* (PPD) ou Porcentagem Predita de Insatisfeitos, derivados de experimentos em câmaras climáticas, conforme descrito no Capítulo 2 deste trabalho.

O segundo procedimento é o modelo adaptativo, que se vale dos fundamentos da teoria de conforto térmico adaptativo da ASHRAE 55 (ASHRAE, 2017), baseada em estudos de campo em edificações, que relaciona a temperatura de conforto interna em função da temperatura do ar externo. Ainda de acordo com norma supracitada, o modelo analítico deve ser utilizado para avaliar o conforto térmico em qualquer tipo de ambiente (condicionado artificialmente ou não). O modelo adaptativo está restrito a edificações ventiladas naturalmente sem sistema de ar-condicionado instalado.

Para a avaliação de conforto térmico dos estudos de caso dessa pesquisa será utilizado o modelo analítico, independente de limitações apontadas por pesquisas realizadas na área (RUPP; GHISI, 2019). Como os estudos de caso representam protótipos das categorias escolhidas, permite-se simplificações. Desta forma, não será considerada a ventilação natural. Para efeito de ventilação, na avaliação de desempenho térmico, será adotada a taxa de infiltração em substituição à ventilação natural, já que edificações mais antigas têm baixa estanqueidade, conforme abordado no item 3.2.5.

Dito isto, o parâmetro a ser considerado para as análises é a faixa de conforto pelo índice PMV. A norma ISO 7730 (ISO, 2005) define três classes para o conforto térmico: classe A,

PPD<6%,  $-0,2 < PMV < +0,2$ ; classe B, PPD<10% e  $-0,5 < PMV < +0,5$ ; classe C, PPD<15% e  $-0,7 < PMV < +0,7$  (Quadro 4).

Quadro 4 – Faixa de conforto pelo índice PMV

Classe de Conforto	PPD	Faixa do PMV
A	< 6	$-0,2 < PMV < +0,2$
B	< 10	$-0,5 < PMV < +0,5$
C	< 15	$-0,7 < PMV < +0,7$

Fonte: adaptado da ISO 7730 (ISO, 2005)

A classe A é usada quando se quer altos padrões de conforto térmico no ambiente e a classe C quando se deseja relaxar estes padrões. As análises realizadas nesta pesquisa vão considerar como parâmetro a classe B. As horas que estiverem com um valor de PMV fora do estipulado para a classe B foram consideradas como horas de desconforto térmico. A partir dos resultados das análises, considerando esse parâmetro, pode-se estabelecer o desempenho térmico para as diferentes estratégias isoladamente.

Para as simulações de eficiência energética, será considerado um sistema de climatização auto dimensionado pelo programa de simulação, conforme estabelecido no item 2.2.8. Da mesma forma que na avaliação do desempenho térmico, para cada estratégia será simulado um novo modelo permitindo a comparação do seu consumo energético.

### 3.3 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Na avaliação qualitativa das estratégias para melhoria do desempenho térmico e aumento da eficiência energética de edificações de interesse cultural, determinadas questões devem ser levadas em consideração, como explorar o maior potencial de economia de energia possível, entendendo que a promoção da edificação de interesse cultural e as medidas de economia de energia devem ser complementares, não concorrentes. Nem tudo que é tecnicamente possível para o patrimônio arquitetônico é necessariamente conveniente, sendo que o valor do patrimônio determina o campo de ação. Por vezes é preferível mais etapas com maior compatibilidade a grandes intervenções com maior interferência, não negligenciando o valor intrínseco da edificação, mantendo abertas opções futuras através da reversibilidade (GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010). Esses autores, paralelamente às avaliações quantitativas, valem-se da aplicação de questionários a especialistas na área de preservação, buscando informações sobre a compatibilidade das diferentes estratégias em relação às questões

inerentes ao valor cultural das edificações em estudo. Outra pesquisa que aborda o assunto comenta que a intervenção no patrimônio arquitetônico, visando à eficiência energética, é controversa, na medida em que os elementos históricos podem ser alterados ou encobertos, mudando assim o caráter do edifício. O trabalho apresenta um novo método matemático para auxiliar na resolução dessa controvérsia, a partir das opiniões de 116 pessoas sobre a aceitabilidade de 15 estratégias comuns de requalificação. Na sequência, apresenta a classificação do público quanto à aceitabilidade das estratégias no que diz respeito ao impacto patrimonial. Esses resultados são comparados com a economia de energia proporcionada pelas estratégias, quando analisadas através de uma simulação térmica dinâmica do edifício (OKUTAN *et al.*, 2018).

Em outra pesquisa, comenta-se que as orientações sobre eficiência energética para edifícios de interesse cultural devem integrar valores patrimoniais às estratégias de eficiência energética. A maioria dessas orientações, no entanto, baseia-se em pressupostos não baseados em evidências de valores patrimoniais dos proprietários e moradores dessas edificações. Desta forma, a menos que se entenda como e porque esses atores lidam com as decisões entre eficiência energética, conforto térmico e conservação do patrimônio, tais orientações podem não ser aplicáveis. Preenchendo essa lacuna, a pesquisa apresenta o primeiro estudo internacional sobre o tema através de uma rigorosa análise temática por meio de entrevistas realizadas na Grécia, México e Reino Unido. A análise temática é combinada com a análise dinâmica do sistema, que permite desvendar quais parâmetros afetam os moradores entrevistados em decisões em longo prazo. Com base em teorias sobre a dinâmica das práticas sociais, pode-se concluir que o processo de tomada de decisão sobre eficiência energética, melhoria do conforto térmico e questões relacionadas à conservação, é uma prática sociocultural dinâmica, cuja mudança e continuidade depende de como são conectados ou desconectados, por exemplo, os materiais (recursos originais), competências (habilidades de restauração), recursos (custos), valores, espaço/ambiente (iluminação natural), sentidos (conforto térmico) e tempo (anos residindo na edificação). A conexão ou desconexão desses elementos dependerá da natureza do contexto (rural, urbano, área de conversação); do grau de proteção; da idade e materiais de construção do edifício; do clima local; e do status de propriedade (FOUSEKI *et al.*, 2020).

Como pode-se ver, a avaliação qualitativa de estratégias para requalificação necessita de uma apreciação dessas estratégias, sob diversos aspectos de compatibilidade patrimonial (compatibilidade das estratégias propostas em relação aos valores históricos e artísticos) e técnico-funcionais. Desta forma, para este tipo de avaliação, esta pesquisa opta pela aplicação

de questionários de preenchimento *on line* a pesquisadores da área de patrimônio histórico, para que avaliem as estratégias propostas para cada categoria, de acordo com cada aspecto e seus diferentes critérios. Foi solicitado o preenchimento dos questionários para aproximadamente uma centena de profissionais. O número de respondentes ficou entre 17 e 15 dependendo do estudo de caso, conforme pode-se verificar nos dados apresentados no Apêndice B. O modelo de questionário proposto é constituído somente de perguntas fechadas que utilizam escalas de cinco pontos, sendo que os critérios de avaliação vão do mais positivo ao mais negativo, havendo também a opção para quando a avaliação da estratégia não se aplicar àquela categoria. A escala de cinco pontos tende a ser uma das mais adequadas ao processo de análise estatística, principalmente quando a amostra é mínima. Os critérios e os aspectos que constituem a avaliação qualitativa das estratégias estão diretamente relacionados com as questões trazidas à tona na discussão das cartas patrimoniais na intervenção em edificações de interesse cultural: distinguibilidade, mínima intervenção; reversibilidade, retrabalhabilidade, compatibilidade de técnicas e materiais, bem como todos os quesitos relacionados à autenticidade dos bens de valor cultural (IPHAN, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e). As análises também foram fundamentadas nos conceitos de autenticidade apresentados no “Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural” desenvolvido pelo Instituto do Programa Monumenta (BRASIL, 2005). O modelo de questionário para cada categoria, com descrição das estratégias e das edificações, bem como dos aspectos e critérios a serem avaliados, é apresentado no Apêndice A. Na sequência são descritos os critérios para cada aspecto (GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010).

### **3.3.1 Aspectos de compatibilidade patrimonial**

#### **3.3.1.1 Autenticidade**

Identifica a história material do edifício que é transmitida pelo tempo, ultrapassando a aparência externa e o efeito artístico da edificação. São testemunhos de valor, onde estão presentes características históricas, incluindo todos os vestígios da idade e do uso. Esses testemunhos de valor satisfazem as condições de autenticidade estabelecidas pelas orientações para a convenção do patrimônio mundial da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), para o patrimônio edificado, na medida em que seus valores culturais estiverem expressos de modo verídico e credível, através dos atributos de forma e concepção, materiais e substancia, uso e função, tradições técnicas e sistemas de gestão, localização e ambiente, espírito e sentimento etc. (UNESCO, 2017). Este aspecto está

relacionado às modificações ou remoções na estrutura ou na envoltória do edifício. Avalia as estratégias a serem implementadas quanto ao grau relativo de perda da originalidade da edificação.

#### 3.3.1.2 Imagem

Relacionada ao testemunho de valor criativo e de proteção do edifício e seu efeito artístico, incluindo também a leitura e a legibilidade de sua proposição formal, que transmite, ao mesmo tempo, informações culturais e históricas. As intervenções são consideradas, por um lado, em relação ao edifício e, por outro lado, por tratar-se de proposições generalizáveis, com respeito aos possíveis impactos sobre o entorno e outras características urbanas. Avalia as estratégias a serem implementadas quanto à interferência na imagem, leitura e legibilidade da edificação.

#### 3.3.1.3 Reversibilidade

Aspecto que vai além da possibilidade de identificação da intervenção, já que para muitas das estratégias de intervenção propostas existem até aqui poucas experiências de médio e longo prazo. Avalia as estratégias a serem implementadas quanto ao caráter de recuperabilidade do estado original da edificação, ou seja, de voltar-se ao estado anterior à intervenção.

### **3.3.2 Aspectos técnico-funcionais**

#### 3.3.2.1 Risco de danos

Onde as estratégias são avaliadas com respeito ao seu risco potencial de danos aos componentes construtivos, que são esperados como efeito em longo prazo. Avalia a tendência e a previsibilidade de determinadas estratégias provocarem ou aumentarem o risco de danos à edificação.

#### 3.3.2.2 Funcionalidade

Onde as estratégias são avaliadas sob o aspecto onde estão reunidas a facilidade, o valor e a capacidade de utilização da edificação, sua operacionalidade bem como o conforto do usuário.

### 3.3.2.3 Viabilidade

Onde se avalia o grau de facilidade ou dificuldade de implementação de determinada estratégia, considerando-se disponibilidade de materiais e de mão-de-obra especializada, referindo-se também a custos.

## 3.4 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir da definição das edificações representativas das diferentes correntes migratórias no Rio Grande do Sul, que são objeto de estudo desta pesquisa, será analisado, para cada estudo de caso, o impacto das estratégias de requalificação nessas edificações, em relação ao desempenho térmico e eficiência energética, no escopo da avaliação quantitativa, e compatibilidade em relação aos valores patrimoniais, essa última dentro do escopo da avaliação qualitativa. Por fim, será proposto um mecanismo de ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa das diferentes estratégias.

### 3.4.1 Avaliação Quantitativa

A simulação inicia com a modelagem das edificações estudos de caso a partir da documentação disponibilizada pelos levantamentos anteriormente destacados. Essa modelagem procura representar de forma mais fidedigna possível as edificações, mas levando-se em conta que cada estudo de caso deva ser representativo, quase como um protótipo, que possibilite ampliar os resultados para as outras edificações de sua categoria. Concluída a etapa de modelagem, passa-se a uma avaliação preliminar para a escolha das estratégias a serem simuladas, considerando-se que nem todas as elencadas anteriormente seriam adequadas ao tipo de edificação em estudo. A particularidade de cada edificação vai definir aquelas que podem ser aplicadas. Definidas as estratégias, inicia-se o procedimento de simulação pelo modelo de referência e, após, para cada um dos modelos correspondentes às diferentes estratégias.

A consideração de todas as zonas térmicas das edificações, nas análises, ajuda no entendimento da eficácia das estratégias, o que possibilitará decisões futuras na escolha das suas combinações, juntamente com o resultado da avaliação qualitativa.

#### 3.4.1.1 Avaliação do desempenho térmico

#### *3.4.1.1.1 Comparação do percentual de horas de desconforto pelo índice PMV*

Conforme o que foi estabelecido anteriormente, de acordo com a ISO 7730 (ISO, 2005), será calculado, pelo programa de simulação, o percentual de horas de desconforto térmico segundo o índice de conforto PMV, para as condições de frio e calor, para as edificações. Inicialmente, para a edificação em seu estado atual, modelo de referência (MOD-REF) e, posteriormente, para cada estratégia individualmente (MOD-ESTn). Os resultados foram apresentados considerando as diferentes estratégias. A partir desses dados será estabelecida uma porcentagem geral para cada estratégia. Os resultados permitem estabelecer aquelas estratégias mais eficientes na comparação com o modelo de referência.

#### *3.4.1.1.2 Considerações sobre orientação solar*

Foram realizadas simulações do modelo de referência dos objetos de estudo para quatro orientações. Inicialmente nas suas orientações originais e depois girando o modelo 90°, 180° e 270°, através de uma parametrização das simulações. Nesta etapa, o objetivo é verificar se existem diferenças significativas considerando-se a porcentagem de horas de desconforto para frio e calor, já que as edificações, como dito anteriormente, devem funcionar como um protótipo que exemplifique a categoria que representa.

#### *3.4.1.1.3 Considerações sobre temperaturas nas zonas térmicas*

Na sequência, são apresentadas as temperaturas ao longo do ano para determinadas zonas térmicas de permanência prolongada das edificações, comparando-as com a temperatura de bulbo seco exterior. Este procedimento será feito para o modelo de referência e para os modelos das demais estratégias individualmente. Os resultados também permitem elencar quais estratégias têm melhor desempenho térmico em comparação com o modelo de referência.

#### *3.4.1.2 Avaliação da eficiência energética*

A avaliação quantitativa prossegue com o cálculo pelo programa de simulação, por meio de um sistema de ar-condicionado auto dimensionado, do consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento do modelo de referência (MOD-REF) e dos modelos propostos para cada estratégia a ser implementada (MOD-ESTn). A análise desses dados também possibilita o estabelecimento daquelas estratégias mais energeticamente eficientes em comparação com o consumo de energia do modelo de referência.

### 3.4.1.3 Considerações finais sobre desempenho térmico e eficiência energética

Após as análises anteriores pode-se estabelecer um resumo dos resultados encontrados, para cada estudo de caso, para o modelo de referência (MOD-REF) e para os modelos representativos das diferentes estratégias (MOD-ESTn) a serem implementadas em cada edificação. Esse resumo aponta as estratégias com melhor desempenho e com maior eficiência energética.

## 3.4.2 Avaliação Qualitativa

### 3.4.2.1 Aplicação dos questionários aos especialistas

A ideia inicial da pesquisa seria a aplicação dos questionários para o maior número possível de profissionais ligados à área de preservação do patrimônio edificado, sendo um questionário para cada categoria de edificação a ser analisada. Uma sistematização seria a aplicação para categorias, como profissionais atuantes em órgãos de patrimônio, escritórios de arquitetura especializados na área e para professores universitários das disciplinas da área de patrimônio (JAPIASSÚ, 2019). Outra possibilidade seria a aplicação para alunos das disciplinas de técnicas retrospectivas no maior número possível de cursos de arquitetura e urbanismo. Entretanto, devido ao tempo disponível, optou-se por um modelo único de questionário, mesmo que tenha ficado relativamente longo, o que demandaria um tempo razoável para seu preenchimento. A aplicação dos questionários se deu de forma *on line* através do Google Forms. O modelo de questionário proposto é constituído somente de perguntas fechadas que utilizam escalas de cinco pontos, sendo que os critérios de avaliação vão do mais positivo ao mais negativo, havendo também a opção para quando a avaliação da estratégia não se aplicar àquela categoria de edificação.

A introdução ao questionário, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), a descrição das diferentes estratégias, bem como os aspectos e os critérios a serem avaliados, são apresentados no Apêndice A. Na apresentação de cada categoria há uma breve descrição acompanhada de imagens. Essas descrições têm como objetivo auxiliar os especialistas com subsídios para a tomada de decisão.

Tabela 16 – Escala de pontuação de avaliação do impacto das estratégias na preservação do patrimônio edificado.

<b>Nível de impacto em relação ao patrimônio edificado</b>	<b>Pontuação</b>
Impacto muito baixo	5
Impacto médio baixo	4
Impacto médio	3
Impacto médio alto	2
Impacto muito alto	1
Não se aplica	0

Fonte: elaborada pelo autor

A escala numérica proposta tem uma pontuação variando de 0 a 5 para quantificação das respostas qualitativas dos especialistas, para cada critério, conforme apresentada na Tabela 16. Nessa escala de avaliação o menor valor corresponde a resposta “não se aplica” (0 ponto) não havendo impacto na edificação analisada. Pela ordem, tem-se o valor relativo ao impacto muito alto (1 ponto) e médio alto (2 pontos); ao impacto médio (3 pontos) e médio baixo (4 pontos); e ao impacto muito baixo (5 pontos).

Essa escala de pontuação é utilizada tanto para os critérios de análise dos aspectos de compatibilidade patrimonial, quanto para os técnico-funcionais. A pontuação maior indica maior compatibilidade e adequação da estratégia com os princípios de preservação considerados e a pontuação menor indica incompatibilidade e inadequação.

A partir da avaliação do nível de impacto das estratégias de intervenção, na preservação dos atributos históricos da edificação pelos especialistas, é obtida uma pontuação média variando de 0 a 5 para cada estratégia de intervenção, por critério analisado, para os diferentes aspectos. O somatório dos valores médios obtidos para cada estratégia de intervenção por aspecto analisado corresponde à Pontuação de Preservação (JAPIASSÚ, 2019), termo este cuja terminologia mostrou-se muito adequada ao estudo.

Seguindo com as análises dos resultados, tem-se um resumo da pontuação de cada estratégia em relação a cada critério avaliado. Para o total de cada estratégia os aspectos de compatibilidade patrimonial (autenticidade, imagem e reversibilidade) terão peso 2. Os aspectos técnico-funcionais (risco de danos, funcionalidade e viabilidade) terão peso 1, por estarem mais relacionados a questões técnicas. A Tabela 17 apresenta este resumo. As pontuações totais seguem a mesma escala estabelecida anteriormente.

Tabela 17 – Pontuação das estratégias para cada critério

Critérios	Estratégias									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autenticidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Imagem	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reversibilidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Risco de danos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Funcionalidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Viabilidade	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Total	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.4.3 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa

Nesta etapa é realizada uma avaliação integrada dos resultados obtidos da avaliação quantitativa – desempenho térmico e eficiência energética – e da avaliação qualitativa – impacto das estratégias de requalificação em relação aos atributos do patrimônio.

Tabela 18 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas

Estratégias de intervenção	Horas de desconforto (%)	Pontuação de preservação	Consumo energético anual (kWh/ano)	Diferença no consumo energético anual (kWh/ano)
MOD-REF	x	x	x	x
MOD-EST 01	x	x	x	x
MOD-EST 02	x	x	x	x
.	x	x	x	x
.	x	x	x	x
MOD-ESTn	x	x	x	x

Fonte: elaborada pelo autor

Desta forma pode-se estabelecer parâmetros, para a análise de resultados, para cada estudo de caso:

- a) Porcentagem de horas de desconforto anual;
- b) Pontuação de preservação;

- c) Consumo energético anual total para climatização (aquecimento e resfriamento);
- d) Diferença do consumo energético anual total para climatização (aquecimento e resfriamento).

Portanto, as escolhas das melhores estratégias de intervenção ocorrem a partir do balanceamento dos parâmetros a serem alcançados: redução do consumo energético, melhoria do desempenho térmico e máxima preservação dos atributos do bem tombado. A Tabela 18 apresenta o modelo de apresentação dos resultados para cada estratégia.

Na sequência tem-se um gráfico que apresenta os resultados das avaliações, considerando a pontuação de preservação e a eficiência energética. A partir disso, para a apresentação integrada dos resultados, utiliza-se uma matriz de avaliação onde são contabilizados e comparados os resultados das avaliações quantitativas e qualitativas, estabelecendo escalas de maior ou menor eficiência e maior ou menor compatibilidade patrimonial para cada estratégia avaliada. A elaboração dessa matriz tem como referência a apresentação dos resultados das pesquisas de Japiassú (2019) e Grünewald, Will e Pohl (2010). No eixo das ordenadas tem-se a eficiência energética; no eixo das abscissas a pontuação de preservação. Desta forma, as estratégias podem ser plotadas em forma de círculos na matriz em função desses dois valores. Além disso, como complementação das análises, a matriz estabelece zonas de eficiência energética e de compatibilidade em relação ao patrimônio (Quadro 5).

Quadro 5 – Desempenho térmico e compatibilidade patrimonial

<b>Compatibilidade Patrimonial</b>		<b>Eficiência Energética</b>	
+	Alta compatibilidade	III	Alta eficiência
~	Média compatibilidade	II	Média eficiência
-	Baixa compatibilidade	I	Baixa eficiência

Fonte: elaborado pelo autor

## 4. APLICAÇÃO DO MÉTODO E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

### 4.1 CASA DAS PESTANAS – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

#### 4.1.1 Caracterização geral da Edificação

Casa do senhor Tarso do Prado, também conhecida como “Casa das Pestanas” localiza-se no distrito de Santo Amaro do Sul, município de General Câmara/RS, Latitude 29,938421S e Longitude 51,899843W (Figura 24).

Figura 24 – Imagem de satélite da área central de Santo Amaro do Sul com localização da edificação



Fonte: adaptado de Google Earth Pro pelo autor

Com área aproximada de 220,00m<sup>2</sup> a casa do senhor Tarso do Prado é uma casa térrea sul-rio-grandense, derivada da casa térrea açoriana. Ambas são formadas por um corpo principal retangular, com lado maior paralelo ao alinhamento, telhado a duas ou quatro águas, em função da presença ou não de recuos. Pelo lado interno adicionava-se a “meia água” da cozinha e sala de jantar, ocupando toda a largura da casa ou parte dela. Em decorrência dessa configuração, a distribuição das funções era a seguinte: a primeira água para o âmbito social, em relação à rua, às vezes com mais de uma porta de acesso para separar o espaço de trabalho

ou comercial da moradia. A área intermediária, geralmente sem ventilação direta e preservada do contato com a rua, destinava-se aos dormitórios e a meia-água posterior era reservada ao âmbito familiar, ou seja, à cozinha e sala de jantar, em relação com o exterior privado ocupado por quintal, horta e os equipamentos de asseio pessoal (Figura 25).

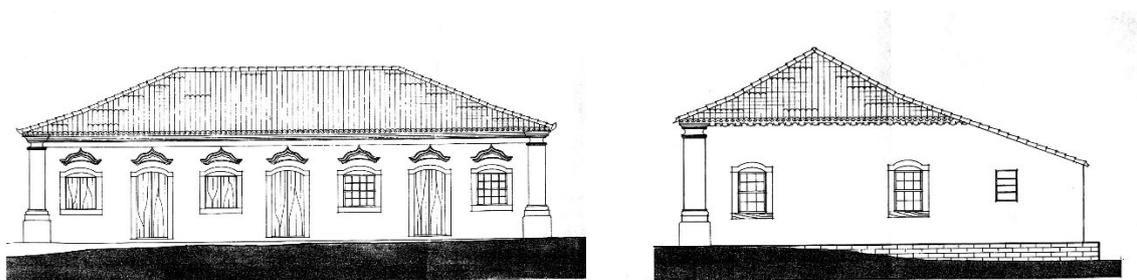
Figura 25 – Casa do senhor Tarso do Prado



Fonte: foto registrada pelo autor

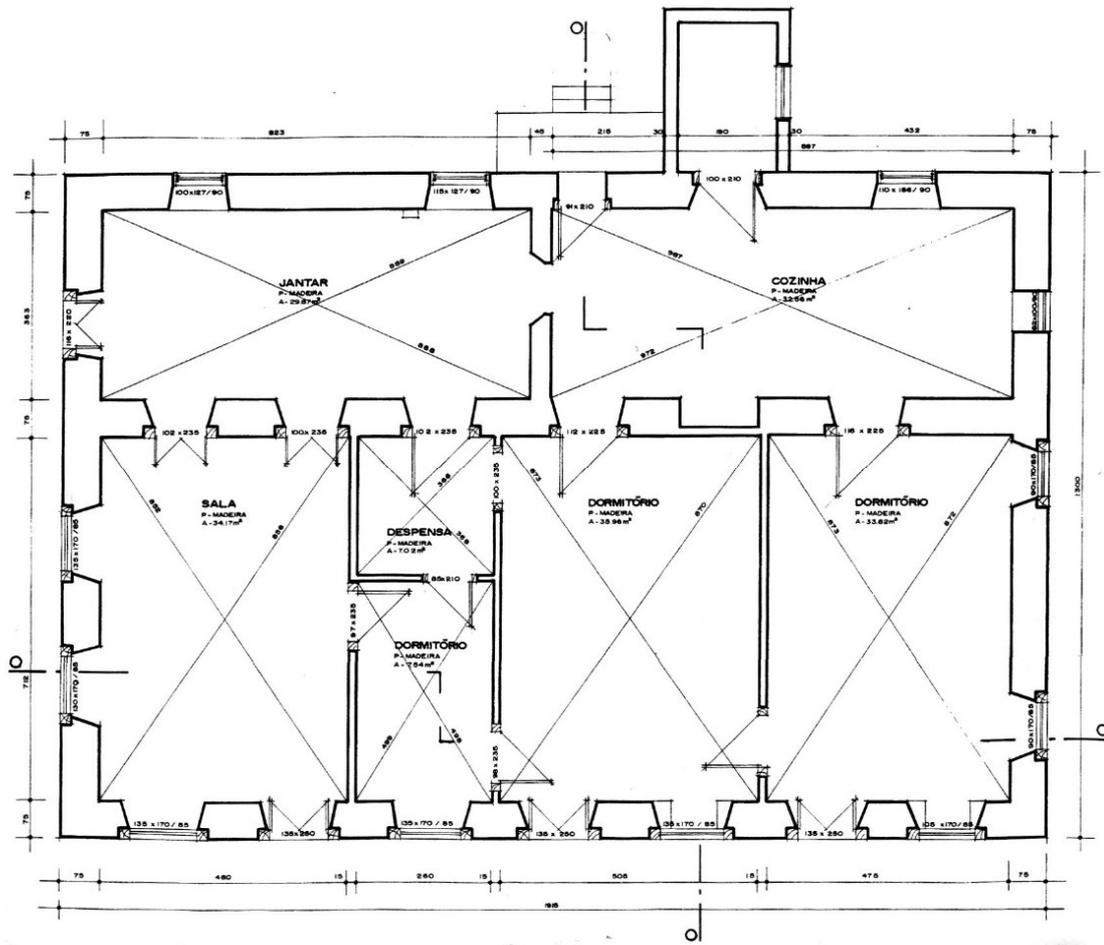
No Rio Grande do Sul, predominaram as mesmas técnicas construtivas que nos Açores: paredes externas de alvenaria de pedra ou tijolo, divisórias internas em estuque ou pau a pique, ambas rebocadas e caiadas, coberturas em telha de barro sobre estruturas de madeira e fachadas com beirados e vãos com esquadrias de madeira (DURAN ROCCA, 2009) (Figuras 26, 27 e 28).

Figura 26 – Fachadas principal e lateral



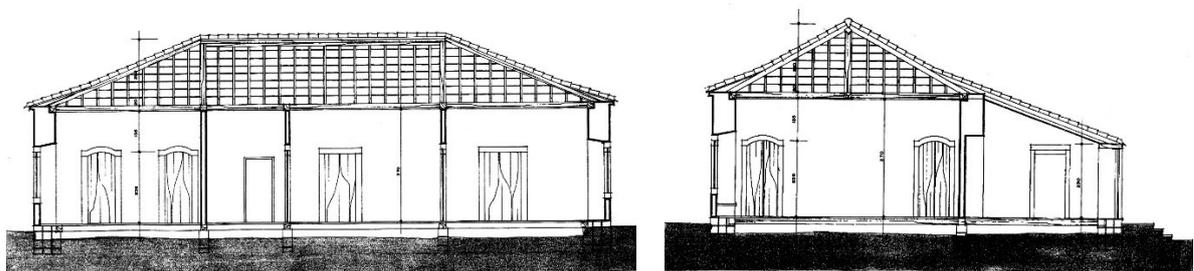
Fonte: arquivos da disciplina Técnicas Retrospectivas da FAUFRGS

Figura 27 - Planta baixa



Fonte: arquivos da disciplina Técnicas Retrospectivas da FAUFRGS

Figura 28 – Cortes Longitudinal e transversal

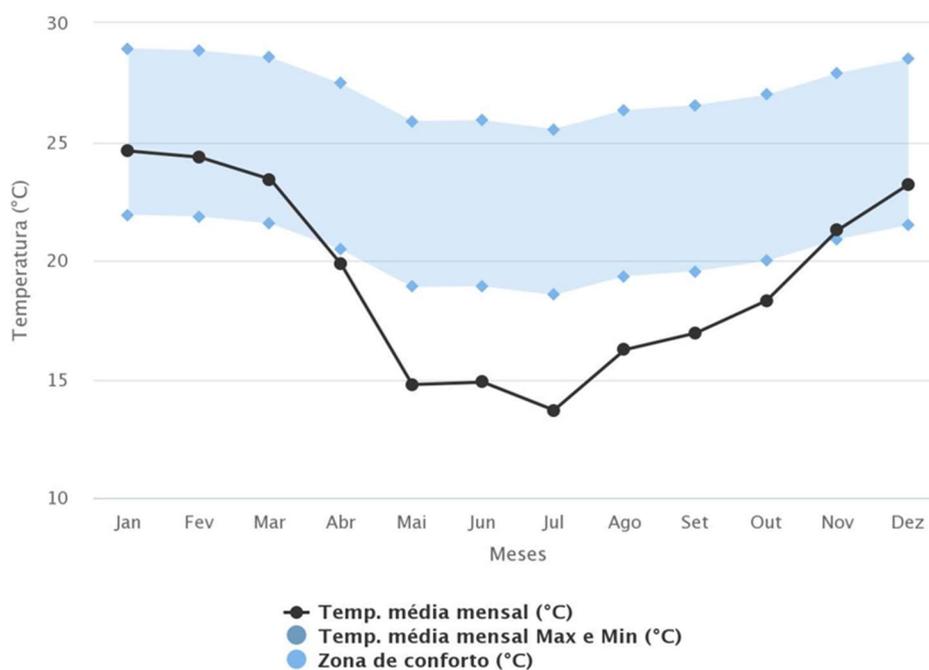


Fonte: arquivos da disciplina Técnicas Retrospectivas da FAUFRGS

#### 4.1.2 Aspectos geográficos e climáticos de Santo Amaro do Sul – General Câmara (RS)

O distrito de Santo Amaro do Sul pertence ao município de General Câmara e está situado na região central do estado do Rio Grande do Sul, no vale do Rio Jacuí, às margens do mesmo rio, em uma região relativamente plana. O clima da localidade é o Cfa – Clima subtropical úmido (mesotérmico), isento de estiagem nítida, úmido em todas as estações, com verão quente e menor frequência de geadas, conforme a classificação de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Pertence a Zona Bioclimática 3 de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005a). Conforme os dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Porto Alegre, já que o município não possui banco de dados climáticos, a temperatura média mensal é de 19,54°C, sendo que a temperatura de bulbo seco média mensal máxima é de 24,61°C em janeiro e a temperatura de bulbo seco média mensal mínima de 13,69°C em julho. A amplitude anual média é de 10,07°C (Figura 29).

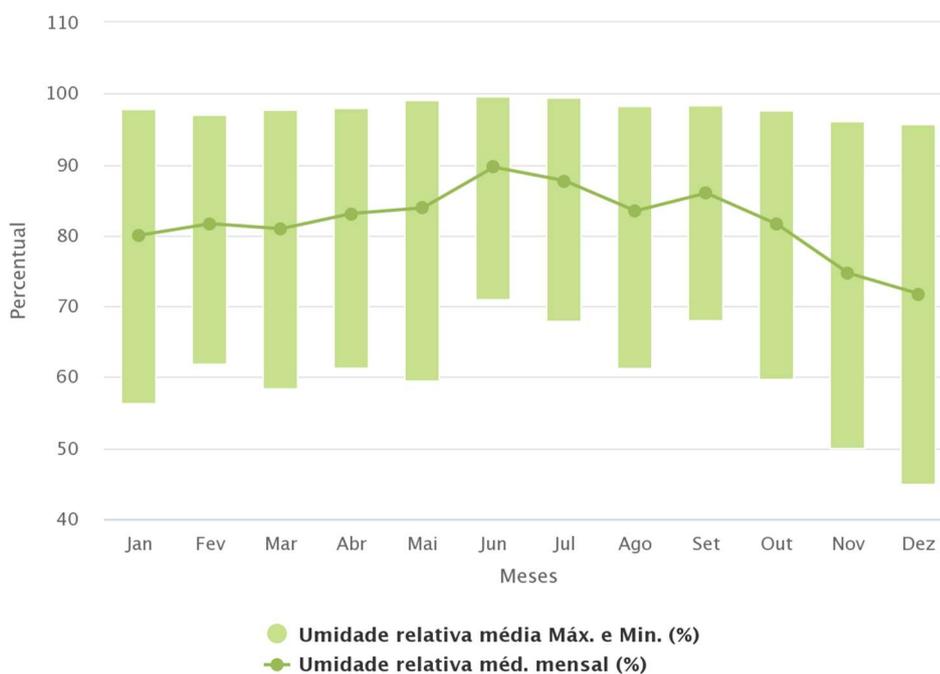
Figura 29 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico



Fonte: (PROJETEEEE, 2021)

A umidade relativa do ar média anual fica em 82,01% tendo a média mensal mais baixa em dezembro com 71,74% e a média mensal mais alta em junho com 89,61% (Figura 30).

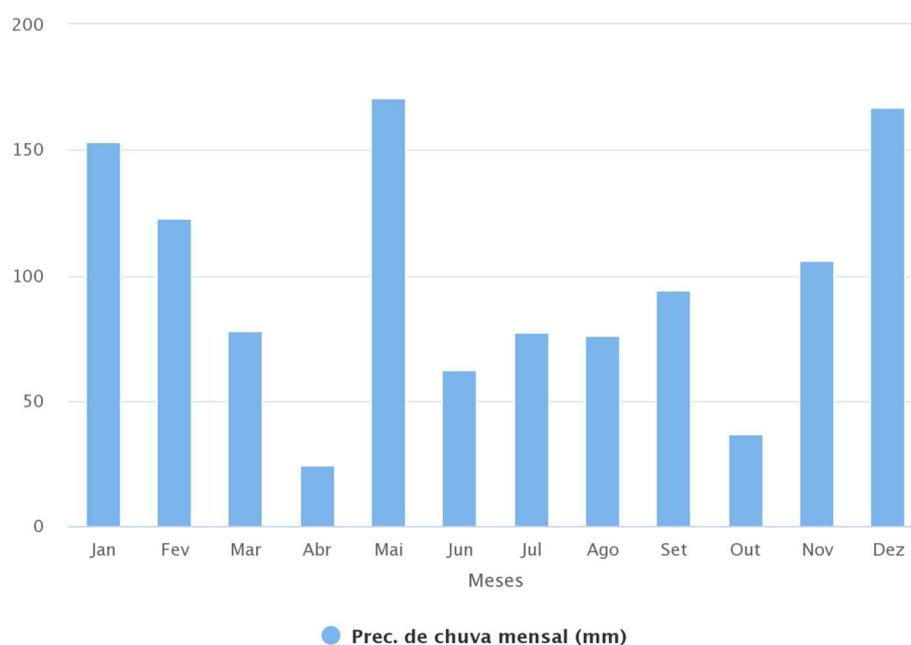
Figura 30 – Gráfico da umidade relativa do ar



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

Os meses mais chuvosos são maio com 171mm, dezembro com 167mm e janeiro com 153mm, e os menos chuvosos são abril com 24mm e outubro com 37mm. A precipitação anual é de 1168mm (Figura 31).

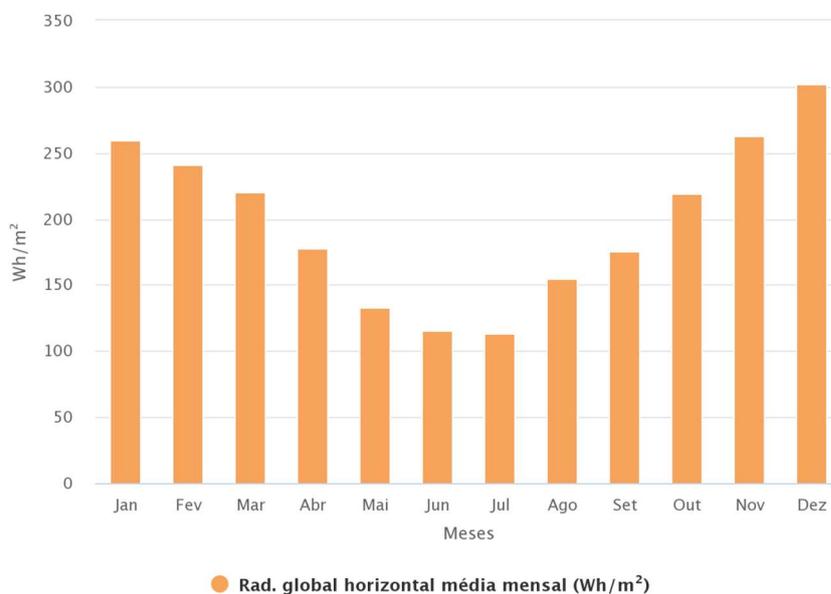
Figura 31 – Gráfico de precipitação



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

A radiação horizontal global média mensal varia de 301,56 Wh/m<sup>2</sup> em dezembro a 113,13 Wh/m<sup>2</sup> em julho (Figura 32).

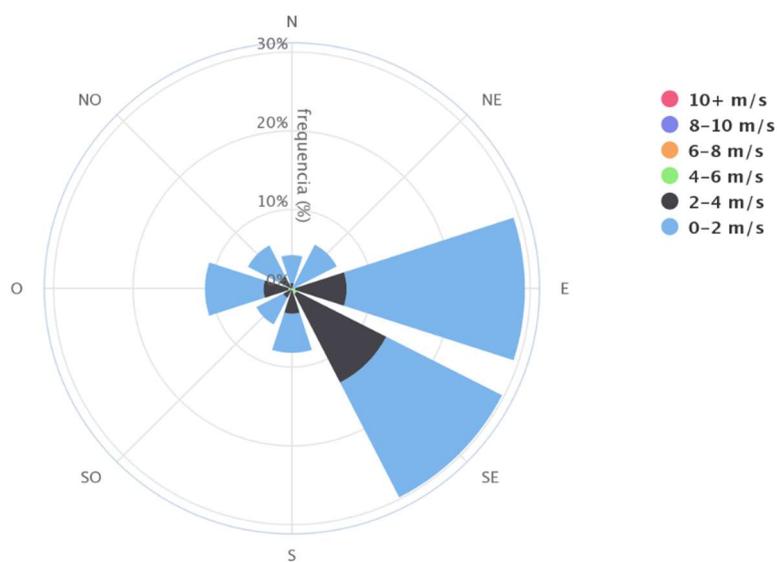
Figura 32 – Gráfico da radiação global média mensal



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

Os ventos predominantes são do quadrante leste-sudeste com velocidades médias de 2 m/s (Figura 33).

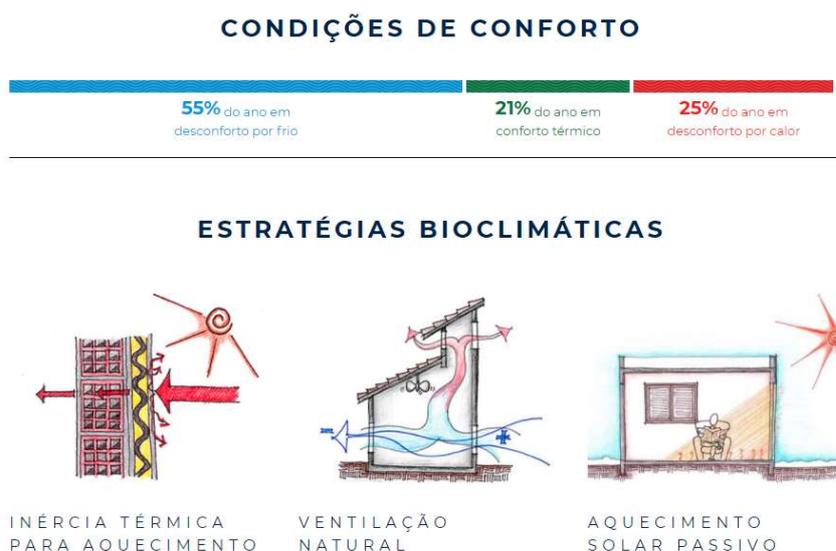
Figura 33 – Frequência e velocidade dos ventos



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

De acordo com os dados fornecidos pelo PROJETEEEE (2021) Santo Amaro do Sul apresenta por ano em média 55% das horas em desconforto por frio, 25% das horas em desconforto por calor e 21% das horas em conforto térmico, sendo que as principais estratégias bioclimáticas recomendadas, neste contexto, são a inércia térmica para aquecimento, a ventilação natural e o aquecimento solar passivo (Figura 34).

Figura 34 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas



Fonte: (PROJETEEEE, 2021)

O sombreamento, o resfriamento evaporativo e a inércia térmica para resfriamento, em menor escala, também são estratégias aplicáveis. A Tabela 19 mostra as principais estratégias bioclimáticas de acordo com as estações do ano, bem como os seus percentuais de aplicabilidade.

Tabela 19 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade

(continua)

Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Verão	13	25	62	Ventilação Natural	49
				Sombreamento	27
				Inércia térmica aquecimento	11
Primavera	54	29	17	Inércia térmica aquecimento	52
				Ventilação Natural	17
				Aquecimento solar passivo	10

(conclusão)					
Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Inverno	84	12	4	Inércia térmica aquecimento	56
				Aquecimento solar passivo	35
				Ventilação Natural	4
Outono	68	16	16	Inércia térmica aquecimento	53
				Aquecimento solar passivo	18
				Ventilação Natural	18

Fonte: adaptado de (PROJETEEE, 2021)

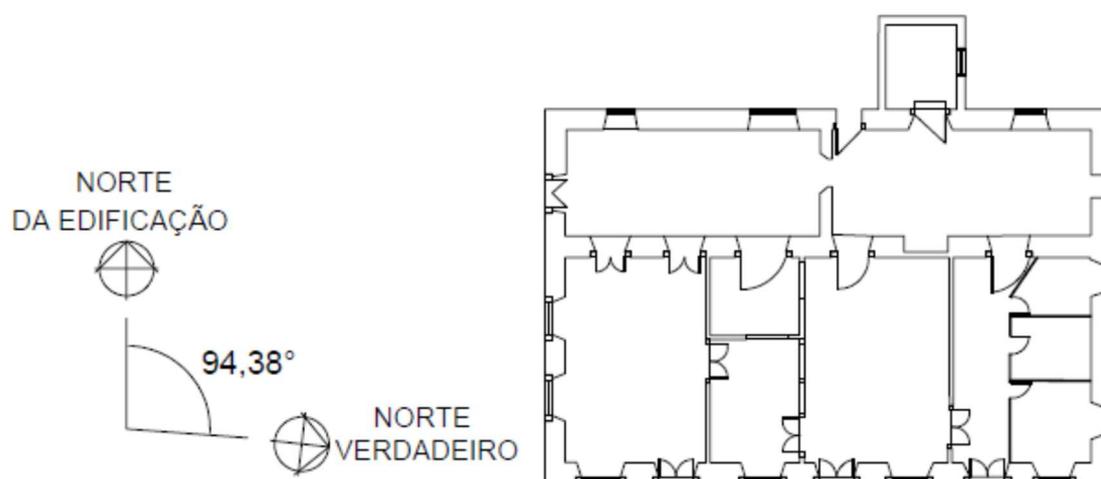
### 4.1.3 Modelagem da edificação

A partir do levantamento de todas as informações necessárias é possível realizar a modelagem da edificação que permitirá sua simulação e todas as análises pertinentes à pesquisa.

#### 4.1.3.1 Desvio Azimutal e Geolocalização

Em relação a sua orientação solar, é possível verificar que o desvio azimutal da edificação em relação ao norte é de  $94,38^\circ$ , usando como ponto de referência a fachada posterior, voltada para o fundo do lote (norte da edificação).

Figura 35 – Desvio Azimutal da edificação



Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 35 mostra a medição deste ângulo realizada a partir da planta baixa proveniente do levantamento de arquivo. No item 3.2.3.1 é descrito o procedimento para a determinação desse ângulo.

De posse das coordenadas do prédio, e do seu desvio azimutal, é possível georeferenciar o modelo da edificação, inserindo-se estes dados no aplicativo Google Earth. A Figura 36 mostra a posição do modelo que será considerada no programa de simulação. Através dessa figura, pode-se confirmar que as considerações de localização e desvio azimutal estão corretas, pois o modelo se encontra sobre a posição geográfica da edificação.

Figura 36 - Geolocalização do modelo



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.1.3.2 Arquivo Climático

O município de General Câmara localiza-se na Zona Bioclimática 3 e não possui arquivo climático próprio, como é o caso de muitas cidades. Nesse caso, como exposto anteriormente, na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se utilizar os dados climáticos de uma cidade com características climáticas semelhantes e na mesma zona bioclimática brasileira. A Tabela 20 apresenta as cidades da Zona Bioclimática 3, que têm arquivos climáticos, com informações de latitude, longitude, altitude, temperatura média anual e distância da cidade onde localiza-se a edificação em estudo (em destaque). Os dados de temperatura foram obtidos de sites de climatologia e meteorologia (AMANTES DO TEMPO, 2022; IRGA, 2022). A partir da observação desses dados, o arquivo climático a ser utilizado para a simulação será, portanto, o da cidade de Porto Alegre, RS (em destaque). Essa cidade,

devido à proximidade geográfica, possui características climáticas semelhantes e, além disso, se encontra em latitude e altitude similares a da cidade de General Câmara, tornando-se assim, adequado o uso do seu arquivo climático, o que é corroborado quando se insere a cidade de General Câmara na plataforma PROJETEER que recomenda o uso dos dados da cidade de Porto Alegre como referência (PROJETEER, 2021). Ressalta-se que ambos os municípios estão às margens de grandes cursos d'água como o rio Jacuí e o Lago Guaíba.

Tabela 20 – Comparação entre a cidade de General Câmara e as Cidades da Zona Bioclimática 3 que possuem Arquivo Climático

Cidade	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Temperatura Média (°C)	Distância para (km)
<b>General Câmara</b>	<b>35</b>	<b>-29,94</b>	<b>51,90</b>	<b>19,9</b>	-
Frederico				20,2	316
Westphalen	522	-27,36	53,39		
Iraí	235	-27,19	53,25	19,5	327
<b>Porto Alegre</b>	<b>10</b>	<b>-30,03</b>	<b>51,22</b>	<b>19,5</b>	<b>74</b>
Rio Grande	5	-32,03	52,09	18,2	253
Torres	16	-29,33	49,72	19,0	214

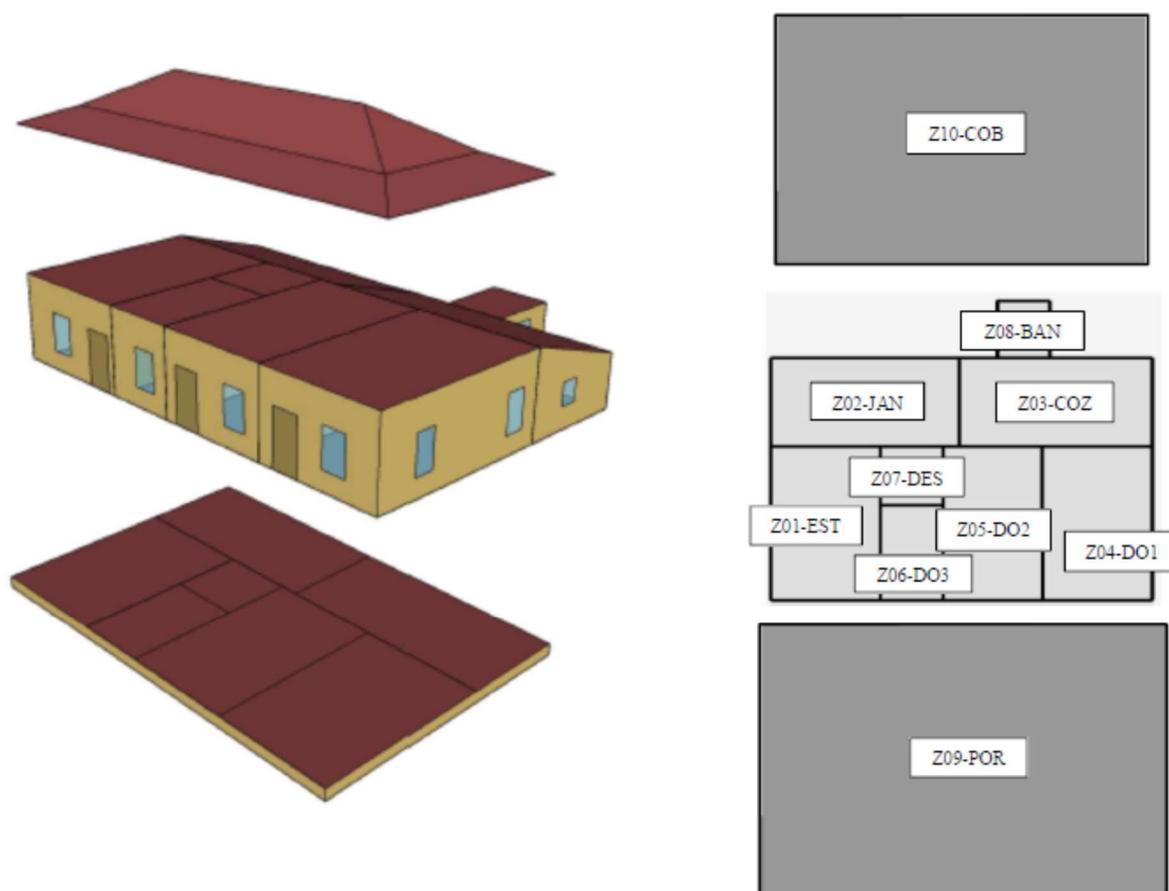
Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.1.3.3 Zoneamento Térmico

As zonas térmicas são definidas no programa de simulação – EnergyPlus – como um volume de ar a temperatura uniforme (ENERGYPLUS, 2020b), com a envoltória de cada zona constituída de superfícies de troca térmica, condições de contorno, como paredes, pisos, tetos, portas e janelas.

De posse da documentação é possível criar o modelo da edificação e a divisão das zonas térmicas, sendo que cada ambiente deve ser modelado como uma zona separada. A Figura 37 mostra as zonas térmicas em perspectiva e em planta baixa facilitando o entendimento da distribuição das zonas no modelo.

Figura 37 – Zoneamento Térmico e localização em planta das zonas



Fonte: elaborada pelo autor

A edificação foi então dividida em dez zonas térmicas, levando-se em consideração todos os ambientes do prédio e procurando-se manter todos os detalhes construtivos para que o modelo se aproximasse ao máximo da edificação construída (Tabela 21). O zoneamento foi criado por meio da interface do programa *Google SketchUp* através do *plug-in Euclid*.

Tabela 21 - Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas

(continua)

ZONA TÉRMICA	AMBIENTE	ÁREA APROXIMADA (m <sup>2</sup> )
Z01-EST	Sala de Estar	34,17
Z02-JAN	Sala de Jantar	29,87
Z03-COZ	Cozinha	32,56
Z04-DO1	Dormitório 1	33,62

(conclusão)

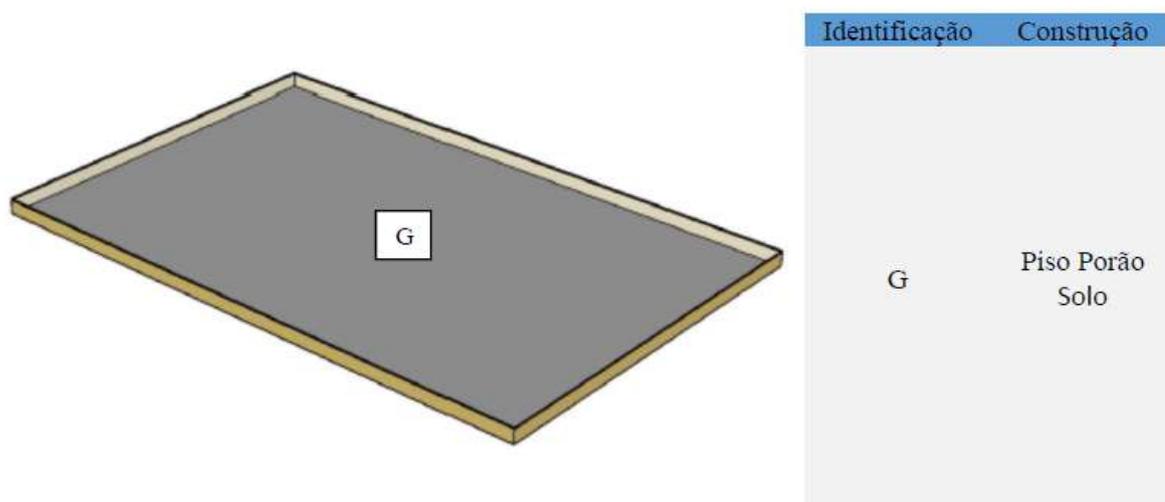
ZONA TÉRMICA	AMBIENTE	ÁREA APROXIMADA (m <sup>2</sup> )
Z05-DO2	Dormitório 2	35,96
Z06-DO3	Dormitório 3	7,54
Z07-DES	Despensa	7,02
Z08-BAN	Banheiro	7,56
Z09-POR	Porão	220,00
Z10-COB	Cobertura (ático)	220,00

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.1.3.4 Materiais e Elementos Construtivos

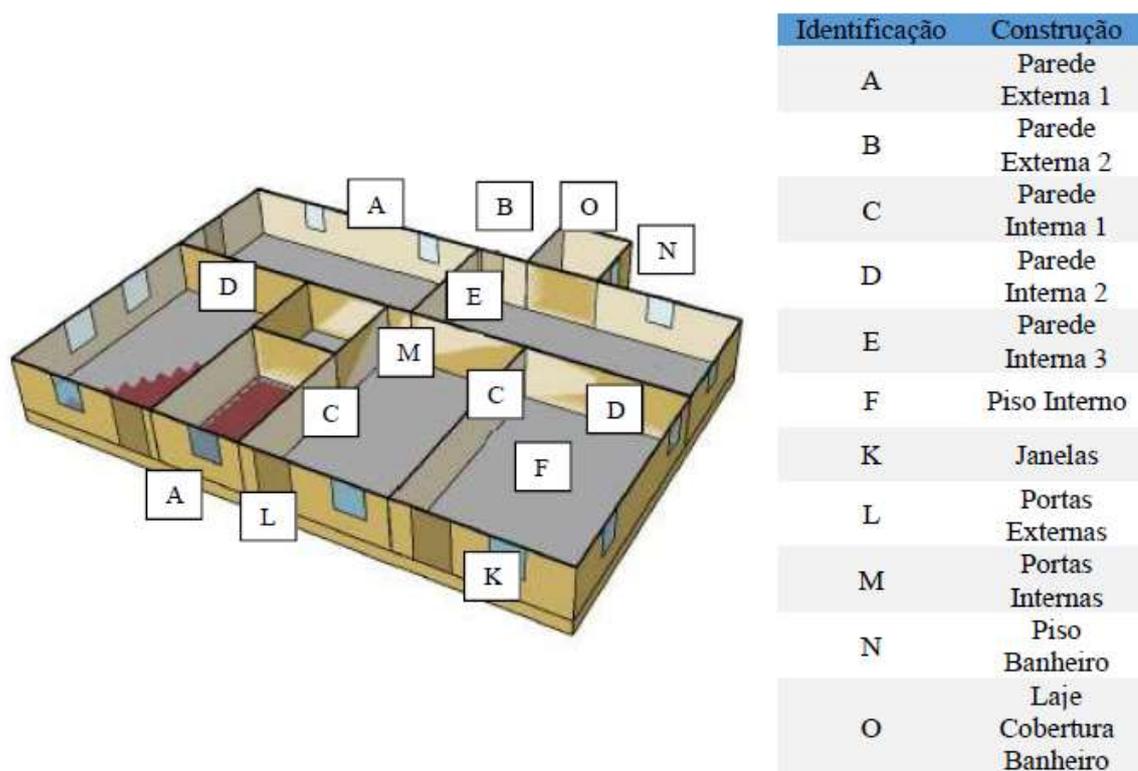
A partir do levantamento das características construtivas da edificação, é possível realizar a especificação dos seus elementos construtivos que foram inseridos no modelo. Objetivando facilitar o entendimento, as Figuras 38, 39 e 40 mostram a localização desses elementos.

Figura 38 – Localização dos elementos construtivos – porão



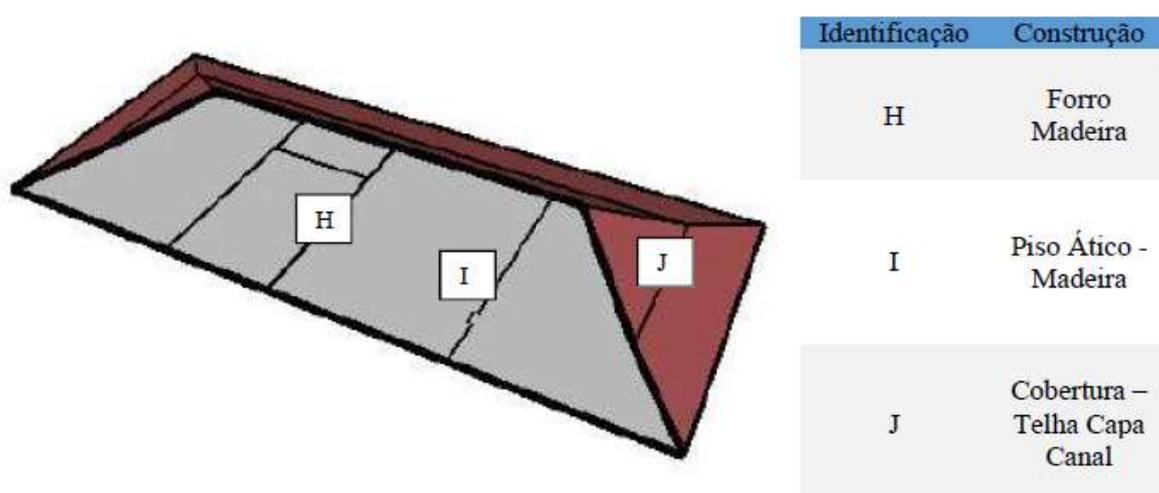
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 39 – Localização dos elementos construtivos – térreo



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 40 – Localização dos elementos construtivos – sótão



Fonte: elaborada pelo autor

## 4.1.3.5 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

Tabela 22 - Construções e propriedades termofísicas dos materiais

Ident	Construção	Material	Esp (m)	k (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.K)	U W/m <sup>2</sup> .K
A	Parede Externa 1	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,724
		Pedra com Argamassa Barro	0,7	1,95	2300	840	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
B	Parede Externa 2	Reboco Externo	0,025	1,15	2000	1000	2,129
		Alvenaria de Tijolo Maciço	0,24	0,9	1800	920	
		Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1000	
		Revestimento Cerâmico	0,015	1,05	2000	920	
C	Parede Interna 1	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,987
		Estuque	0,1	0,52	1700	840	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
D	Parede Interna 2	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,493
		Pedra com Argamassa Barro	0,7	1,95	2300	840	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
E	Parede Interna 3	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,493
		Pedra com Argamassa Barro	0,45	1,95	2300	840	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
F	Piso Interno	Madeira do Piso	0,035	0,29	900	1340	2,563
G	Piso Porão	Solo	0,475	0,87	1360	840	1,412
H	Forro	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	2,988
I	Piso Ático	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	2,988
J	Cobertura	Telha Capa e Canal	0,013	0,9	920	1600	6,587
K	Janelas	Vidro 3mm	0,003	1,00	2500	840	5,894
		Tampo Madeira	0,025	0,29	900	1340	4,239
L	Portas Externas	Madeira da Porta Externa	0,025	0,29	900	1340	4,239
M	Portas Internas	Madeira da Porta Interna	0,025	0,29	900	1340	
N	Piso Banheiro	Solo	0,475	0,87	1360	840	1,259
		Contrapiso de Concreto	0,07	1,28	2200	1005	
		Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1000	
		Revestimento Cerâmico	0,015	1,05	2000	920	
O	Laje Cobertura Banheiro	Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1000	4,144
		Imperm. Betume Asfáltico	0,005	0,17	1000	1460	
		Laje de Concreto	0,1	1,75	2200	1000	

Fonte: elaborada pelo autor

A propriedade térmica do material é a resposta ou reação do mesmo à aplicação de calor. O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais que constituem a edificação é necessário para a análise do desempenho térmico, pois são os elementos construtivos que formam o envelope da construção, que é o separador físico entre o exterior e o interior dela, além de separador físico das diferentes zonas térmicas. As propriedades térmicas mais relevantes são: absorvância à radiação solar, refletância à radiação solar, transmitância à radiação solar, emissividade, condutividade térmica, resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica total, e o atraso térmico. As definições de tais propriedades e suas unidades encontram-se na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Na Tabela 22 são apresentadas as construções da edificação, bem com as principais propriedades termofísicas dos materiais. Resistência térmica e transmitância térmica são calculadas automaticamente pelo programa de simulação.

Sabe-se que existem poucas informações sobre as características termofísicas dos materiais históricos. Desta forma, foi necessário aproximar as características desses materiais tanto com as características de materiais presentes nas normas técnicas, quanto com referências de onde pudessem ser obtidos os valores a serem utilizados nas simulações.

As propriedades termofísicas da pedra grés (arenito), material constituinte da maior parte das paredes da edificação, misturado ao barro em uma proporção aproximada de 60% pedra e 40% barro, foram obtidas através do trabalho de Mendonça (2005) comparando com as informações presentes na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Dessa norma, foram obtidas as propriedades termofísicas de todos os elementos construtivos da edificação e os valores de absorvância e emissividade dos elementos construtivos externos. Informações de absorvância e emissividade das telhas cerâmicas capa e canal foram obtidas da publicação de Muniz-Gäal *et al.* (2018).

Tabela 23 - Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas

<b>Tipo de Superfície</b>	<b>Absorvância (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Emissividade (<math>\varepsilon</math>)</b>
Reboco Argamassa de Cal	0,2	0,9
Reboco Externo	0,7	0,9
Madeira da Porta Externa	0,8	0,9
Tampo Madeira	0,8	0,9
Telha Capa e Canal	0,7	0,9

Fonte: elaborada pelo autor

Informações sobre dimensionamento e características dessa telha também foram encontradas na NBR 15310 (ABNT, 2005c), bem como do estuque, material constituinte das paredes internas. Os valores de absorvância e emissividade dos elementos externos da edificação são apresentados na Tabela 23.

#### 4.1.3.6 Cargas Internas – Ocupação, Equipamento e Iluminação

A distribuição dos ocupantes nos ambientes segue o que foi abordado no item 3.2.4.1, distribuindo-se os ocupantes dos dormitórios uniformemente pelos demais compartimentos de permanência prolongada. A Tabela 24 apresenta essa distribuição. Ainda de acordo com o que foi abordado no item 3.2.4.1, a modelagem deve considerar um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, sendo a ocupação do ambiente representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Tabela 24 - Número de ocupantes por ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Nº de ocupantes</b>
Dormitório 1	2
Dormitório 2	2
Dormitório 3	2
Sala de Estar	2
Sala de Jantar	2
Cozinha	2

Fonte: elaborada pelo autor

As cargas internas de equipamentos e iluminação seguem o que foi estabelecido nos itens 3.2.4.2 e 3.2.4.3.

#### 4.1.3.7 Cargas Internas – Atividade e Vestimenta

Tabela 25 - Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes

<b>Ambiente</b>	<b>Taxa Metabólica (W/m<sup>2</sup>)</b>
Dormitório 1	45/ocupante
Dormitório 2	45/ocupante
Dormitório 3	45/ocupante
Sala de Estar	60/ocupante
Sala de Jantar	60/ocupante
Cozinha	95/ocupante 1 60/ocupante 2

Fonte: elaborada pelo autor

A carga interna referente às atividades desempenhadas pelos ocupantes dos espaços segue as premissas estabelecidas na seção 3.2.4.4. A Tabela 25 apresenta as taxas metabólicas para os ambientes ocupados na edificação.

A vestimenta utilizada pelos ocupantes dos ambientes da edificação pode ser mensurada através do seu índice de resistência térmica, Icl. Para definir o Icl foi criado um perfil de vestimenta para cada estação do ano, considerando-se os valores estabelecidos pelas normas internacionais (ASHRAE, 2017; ISO, 2005) e o que foi abordado no item 3.2.4.4. A Tabela 26 apresenta o Icl para cada estação.

Tabela 26 - Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação

<b>Estação do Ano</b>	<b>Conjunto de Vestimenta</b>	<b>Icl (clo)</b>
Verão	Roupa de baixo; bermuda ou vestido; camiseta; sandália	0,37
Outono e Primavera	Roupa de baixo; abrigo; camiseta; calçado	0,61
Inverno	Roupa de baixo; camiseta; abrigo e moletom; meia; calçado	0,85

Fonte: elaborada pelo autor

Buscando-se uma maior aproximação com a realidade, os *schedules* dos índices de resistência térmica das vestimentas foram majorados em 25% no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e em 50% das 24h00 às 8h00, para todas as estações do ano.

#### 4.1.3.8 Infiltração de Ar

Os valores de infiltração são os anteriormente estabelecidos de 0,5 troca por hora para o período de inverno, com portas e janelas mais fechadas, um valor médio de infiltração de 0,75 troca por hora para estações intermediárias do ano e taxa de infiltração de 1,0 troca por hora para o verão, com portas e janelas mais abertas. Entretanto, sabendo-se que no período noturno as pessoas tendem a fechar as aberturas, propõe-se uma redução de 25% na taxa de infiltração no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e de 50% no período compreendido entre 24h00 e 8h00. Essa redução é proposta para todas as estações do ano.

#### 4.1.3.9 Sistema de Condicionamento do Ar

As informações do arquivo climático consideram que o dia de projeto de inverno é o dia 21 de julho, e o dia de projeto de verão é o dia 21 de dezembro.

A Tabela 27 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 3,9 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência cumulativa anual de 99,6% das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Porto Alegre (localidade cujo arquivo climático será utilizado para as simulações). Isso significa dizer que, acima da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 27 - Dia de projeto de inverno

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Inverno	3,9	3,9	0	1	300

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

A Tabela 28 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de verão para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 34,9 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Porto Alegre. Isso significa dizer que, abaixo da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 28 - Dia de projeto de verão

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Verão	34,9	24,7	9,7	3,6	290

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

Os dias típicos foram utilizados pelo programa de simulação para o auto dimensionamento dos equipamentos de ar-condicionado de janela, para as zonas de permanência prolongada, inclusive a cozinha.

#### **4.1.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética**

##### 4.1.4.1 Avaliação do desempenho térmico

###### *4.1.4.1.1 Comparação do percentual de horas de desconforto pelo índice PMV*

Inicialmente foram determinadas as estratégias a serem avaliadas para a edificação em estudo, de acordo com uma análise preliminar de sua aplicabilidade, em função das características da edificação. As estratégias são as seguintes:

EST02 – isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira

EST03 – isolamento térmico do telhado

EST04 – isolamento térmico do forro

EST05 – isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior

EST07 – isolamento térmico interno das paredes externas

EST08 – vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração

EST09 – substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade

EST10 – instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas

A Tabela 29 apresenta, a partir dos valores do PMV calculado pelo programa de simulação para o modelo de referência (MOD-REF) e para os modelos representativos das estratégias a serem implementadas, a porcentagem de horas de desconforto anuais por frio, calor e totais anuais. A partir desses resultados são calculadas as diferenças apontando se houve aumento ou redução das porcentagens das horas de desconforto para frio e calor. Os valores de PMV calculados levaram em conta uma ponderação dos valores individuais obtidos considerando-se a atividade dos dois ocupantes da cozinha, cuja taxa metabólica é diferente, conforme estabelecido anteriormente no item 4.1.3.7. Também é feita uma comparação com as condições de conforto apresentadas pelo PROJETEEE (2021) para a cidade onde se localiza a edificação, com os valores obtidos pela simulação.

Inicialmente, a análise dos resultados apresentados permite observar que os valores calculados para o modelo de referência apresentaram-se muito aproximados dos valores de referência para a cidade (PROJETEEE, 2021) reforçando a confiabilidade do modelo.

Tabela 29 – Porcentagem de horas de desconforto em função dos valores do PMV simulados

Modelo	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)	Frio	Calor	Horas de Desconforto Anual (%)
				Diferença (%)		
MOD-REF	55,6	16,9	27,4			83
MOD-EST02	57,1	15,9	26,9	+2,7	-1,8	84
MOD-EST03	62,3	17,6	20,1	+12,1	-26,6	82,4
MOD-EST04	49,1	18,9	31,9	-11,7	+16,4	81
MOD-EST05	58,8	16,2	25,0	+5,8	-8,8	83,8
MOD-EST07	58,4	16,0	25,6	+5,0	-6,6	84
MOD-EST08	55,6	17,0	27,4	0,0	0,0	83
MOD-EST09	61,9	15,5	22,6	+11,3	-17,5	84,5
MOD-EST10	61,3	15,5	23,2	+10,3	-15,3	84,5
PROJETEEE	55,0	20,0	25,0	-1,1	-8,8	80

Favorável
  Intermediário
  Desfavorável

Fonte: elaborada pelo autor

Considerando-se separadamente as horas de desconforto para frio e calor, a estratégia do isolamento térmico do telhado (EST 03) diminui em 26,6% as horas de desconforto por calor, mas em contrapartida, aumenta as horas de desconforto por frio em 12,1% o que justifica a pequena redução nas horas de desconforto anuais totais. Já a estratégia de isolamento do forro (EST 04) apresenta um comportamento inverso com um aumento de 16,4% nas horas de desconforto por calor e uma diminuição de 11,7% nas horas de desconforto por frio o que também resulta em uma pequena redução nas horas anuais totais de desconforto. A estratégia de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09) reduz o percentual das horas de desconforto por calor em 17,5%, mas aumenta o percentual de desconforto por frio em 11,3%. Comportamento similar tem a estratégia de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) que reduz o desconforto por calor em 15,3%, mas aumenta o desconforto por frio em 10,3%. Em resumo, o isolamento térmico do telhado (EST 03) e o isolamento térmico do forro (EST 04) são as estratégias que apresentam alguma diminuição na porcentagem das horas de desconforto anuais em relação ao modelo de referência. Já as demais estratégias em sua maioria aumentam a porcentagem anual total de horas de desconforto sendo que as que apresentam maior aumento nesse quesito são a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e a instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10). Há que se considerar que a geometria da edificação pode estar influenciando alguns

resultados, já que na sua parte posterior não tem forro. Ou seja, quando não há isolamento no telhado, há grande perda de calor. O que pode justificar o aumento das horas de desconforto por frio para determinadas estratégias onde se esperaria o inverso.

Considerando-se as principais estratégias bioclimáticas, recomendadas para a cidade onde está localizada a edificação em estudo (PROJETEEE, 2021), a inércia térmica para aquecimento aparece como a principal recomendação, sendo sua maior aplicabilidade no inverno, outono e primavera, em mais de 50% das horas. A estratégia de isolamento do forro (EST 04) enquadra-se nesse perfil, sendo a estratégia que produz maior redução na porcentagem de horas de desconforto por frio e conseqüentemente na redução de horas de desconforto anuais totais.

#### 4.1.4.1.2 Considerações sobre orientação solar

Na comparação dos resultados obtidos na simulação do PMV para as condições de conforto do modelo de referência, considerando-se a edificação e depois girando o modelo 90°, 180° e 270°, através de uma parametrização das simulações, observa-se que não há alteração significativa nos valores, ou seja, não há variação significativa no PMV para as quatro orientações. A parametrização permite a otimização da escolha da orientação para a simulação da edificação. A Tabela 30 apresenta, para cada orientação, as porcentagens de horas de desconforto por frio e calor e a porcentagem das horas de conforto da edificação.

Tabela 30 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações

<b>Condição de Conforto</b>	<b>Desvio 0° (%)</b>	<b>Desvio 90° (%)</b>	<b>Desvio 180° (%)</b>	<b>Desvio 270° (%)</b>
Frio	55,4	55,0	55,4	56,3
Conforto	17,2	17,0	17,5	17,6
Calor	27,4	28,0	27,1	26,1

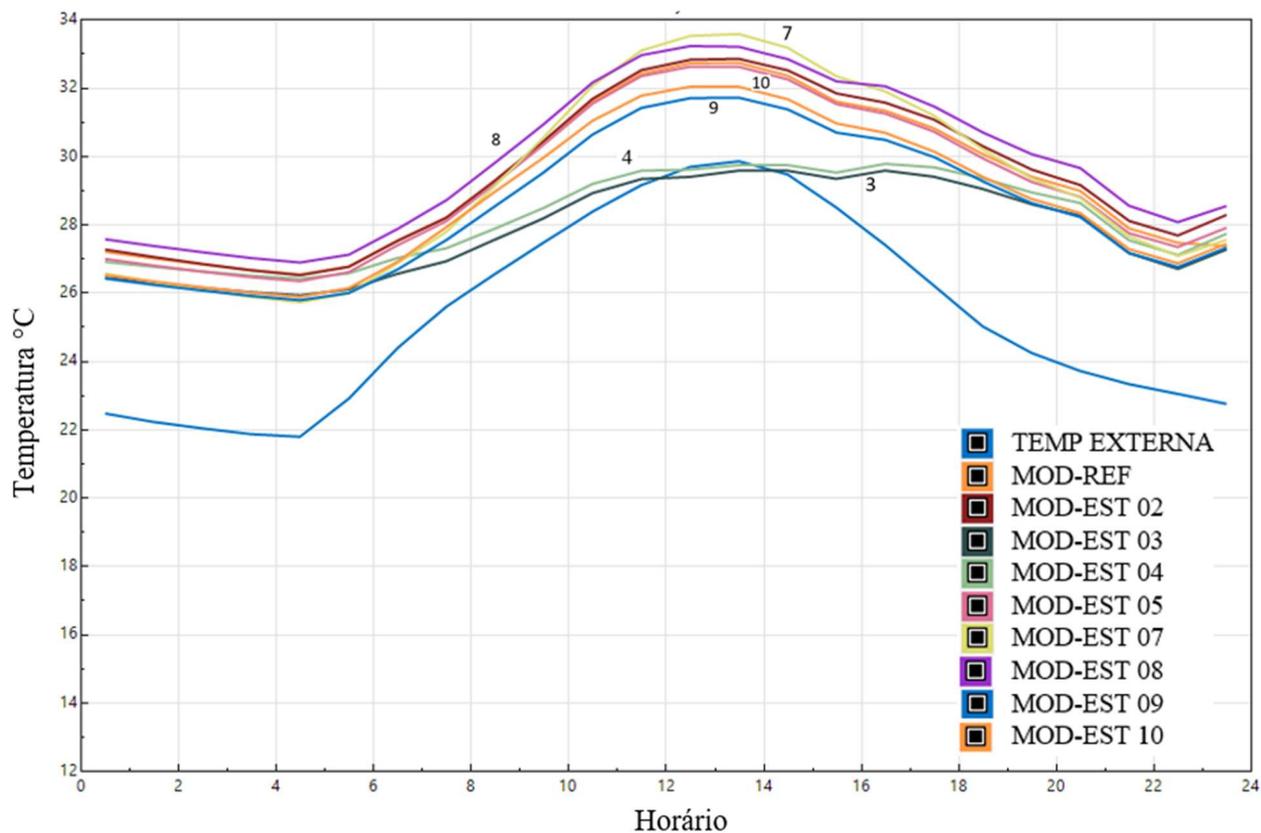
Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.1.4.1.3 Considerações sobre temperaturas nas zonas térmicas

Buscando-se melhor avaliar o desempenho térmico da edificação, outra análise a ser realizada é das temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna, no caso a sala de estar, e outra de permanência prolongada noturna, no caso um dos dormitórios. São apresentadas as temperaturas médias diárias, para janeiro (período quente) e depois junho (período frio). Essa análise comparativa é feita para o modelo de referência e para os modelos das demais estratégias a serem implementadas na edificação.

A Figura 41, apresenta as temperaturas para a zona Z01-EST (zona de permanência prolongada diurna) para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 41 – Temperatura média diária para janeiro na sala de estar

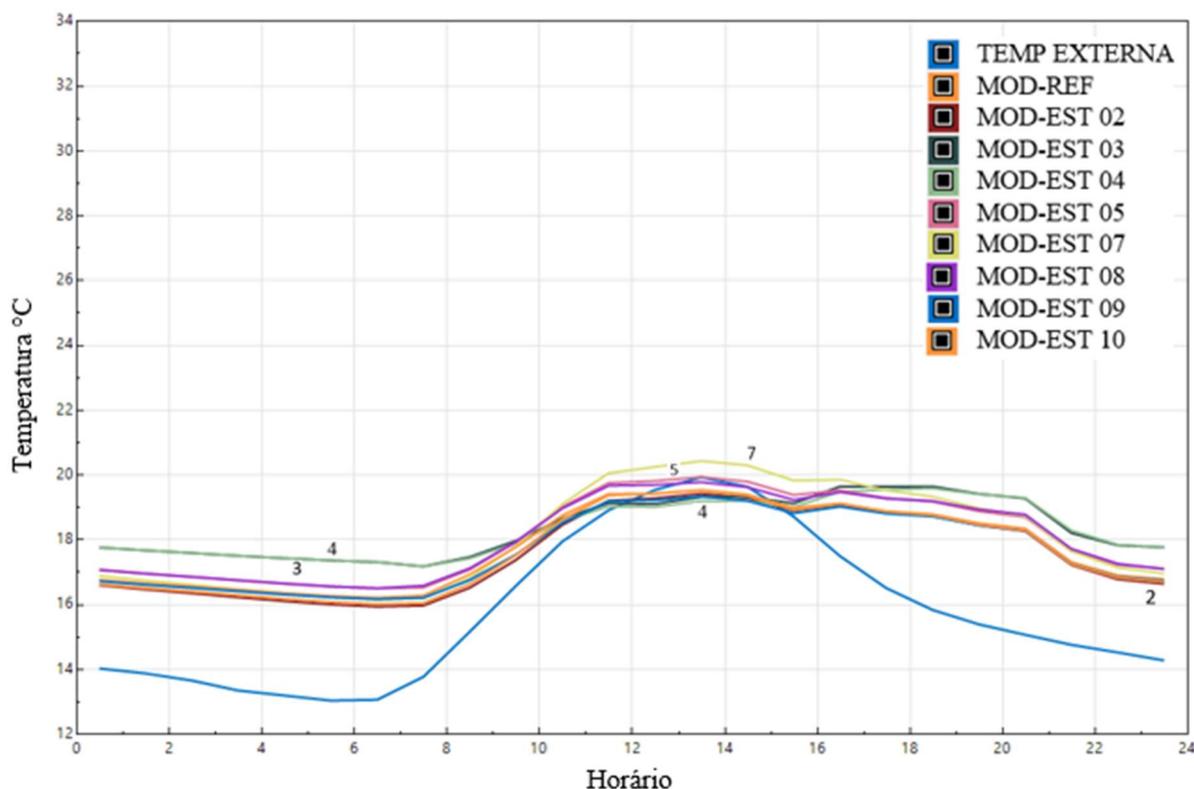


Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro na sala de estar, as estratégias de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) aumentam as temperaturas internas em relação à temperatura externa e em relação à temperatura do modelo de referência. Isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) e substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) apresentam temperaturas abaixo do modelo de referência, ainda assim acima da temperatura externa. Já as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) mostram temperaturas bem abaixo do modelo de referência e abaixo da temperatura externa no período diurno, principalmente entre 12h00 e 15h00, coincidindo com período de ocupação do ambiente.

A Figura 42 apresenta as temperaturas para a zona Z01-EST para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 42 – Temperatura média diária para junho na sala de estar



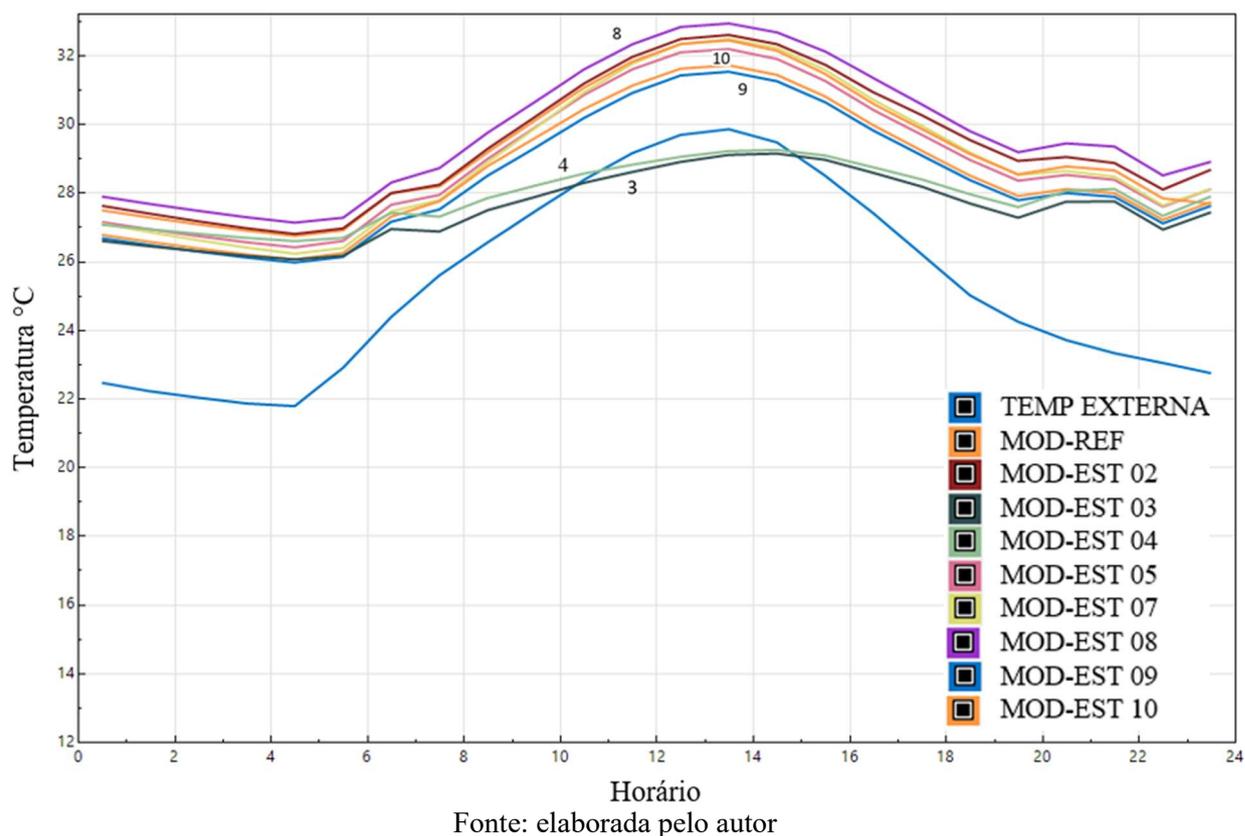
Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho na sala de estar, na maior parte do dia as temperaturas referentes aos modelos ficam acima da temperatura externa, sobremaneira no período noturno, o que não tem grande relevância, já que se trata de uma zona de permanência prolongada diurna. À noite, as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) mantêm as temperaturas mais altas, em comparação com o modelo de referência, tendo comportamento oposto no período mais quente do dia, entre 12h00 e 16h00 desfavorecendo o período de ocupação da zona. Nesse período a estratégia de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) é a que mantém a temperatura mais alta seguida da estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05). A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) mantém as temperaturas mais altas em comparação com o modelo de referência. As estratégias de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e instalação

de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) têm comportamento similar ao do modelo de referência.

A Figura 43 apresenta as temperaturas para a zona Z05-DO2 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 43 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 2

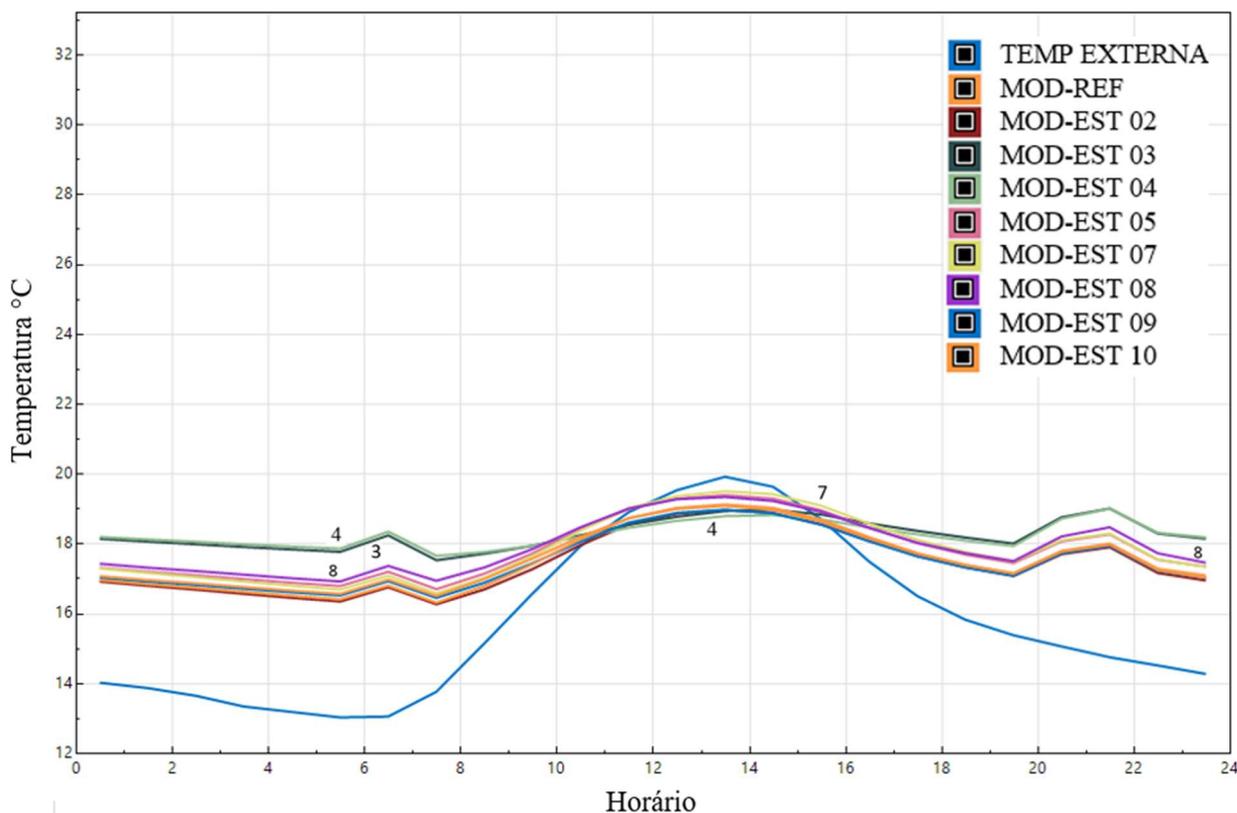


Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro no dormitório 2, na maior parte do dia as temperaturas referentes aos modelos ficam bem acima da temperatura externa. No período entre 10h00 e 14h00 isolamento térmico do telhado (EST 03) e o isolamento térmico do forro (EST 04) mantêm a temperatura abaixo da temperatura externa, o que não tem grande relevância, já que se trata de uma zona de permanência prolongada noturna. À noite, a estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) é a mais eficiente. As estratégias que mantêm a temperatura mais alta durante todo o dia são a vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08), o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), sendo que todas com temperaturas acima do modelo de referência. As estratégias que mantêm a temperatura abaixo, mesmo assim muito próximas do modelo de referência são o isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), a instalação de um

plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) e a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09).

A Figura 44 apresenta as temperaturas para a zona Z05-DO2 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 44 – Temperatura média diária para junho no dormitório 2



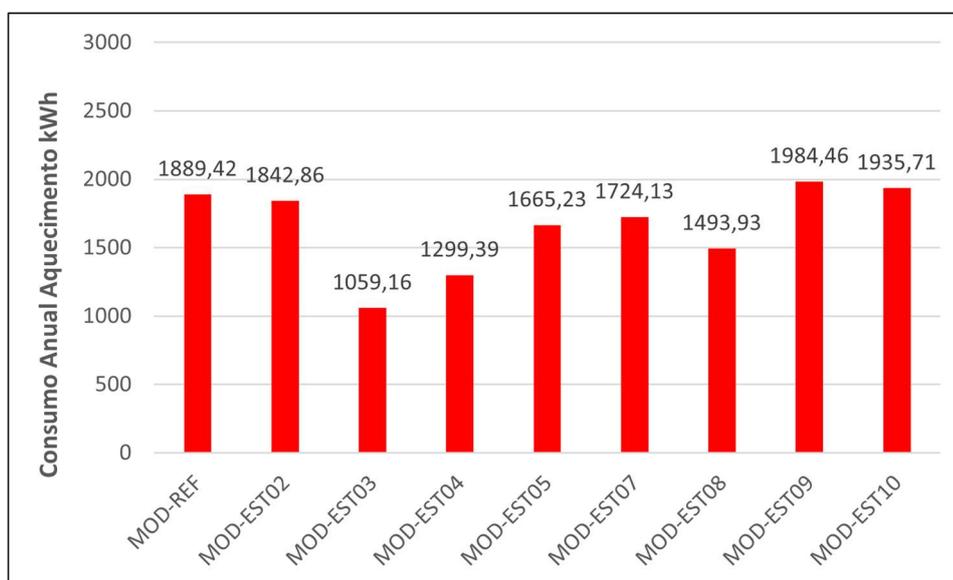
Fonte: elaborada pelo autor

No inverno, por outro lado, comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho no dormitório 2, vê-se que no período noturno todas as estratégias mantêm a temperatura acima da temperatura externa. No período entre 10h30min e 14h30min as estratégias mantêm a temperatura abaixo da temperatura externa, o que não é significativo, já que não é o período de utilização do ambiente. As estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) são as que mantêm a temperatura mais alta à noite. As demais estratégias não têm diferença significativa em seus valores de temperatura, mesmo assim ficando acima da temperatura do modelo de referência, exceto a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) que apresenta o pior desempenho.

#### 4.1.4.2 Avaliação da eficiência energética

A avaliação da eficiência energética é feita através da comparação do consumo de energia elétrica anual de um sistema de ar-condicionado auto dimensionado pelo programa de simulação, para buscar o conforto térmico da edificação. Essa comparação é feita através da simulação do consumo de energia anual para resfriamento e aquecimento, do modelo de referência e dos modelos propostos para cada estratégia. As Figuras 45, 46 e 47, na sequência, apresentam três gráficos desse consumo de energia: o primeiro apresenta o consumo energético para o aquecimento dos ambientes, o segundo para o resfriamento e o terceiro o consumo total para condicionamento de ar da edificação.

Figura 45 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento

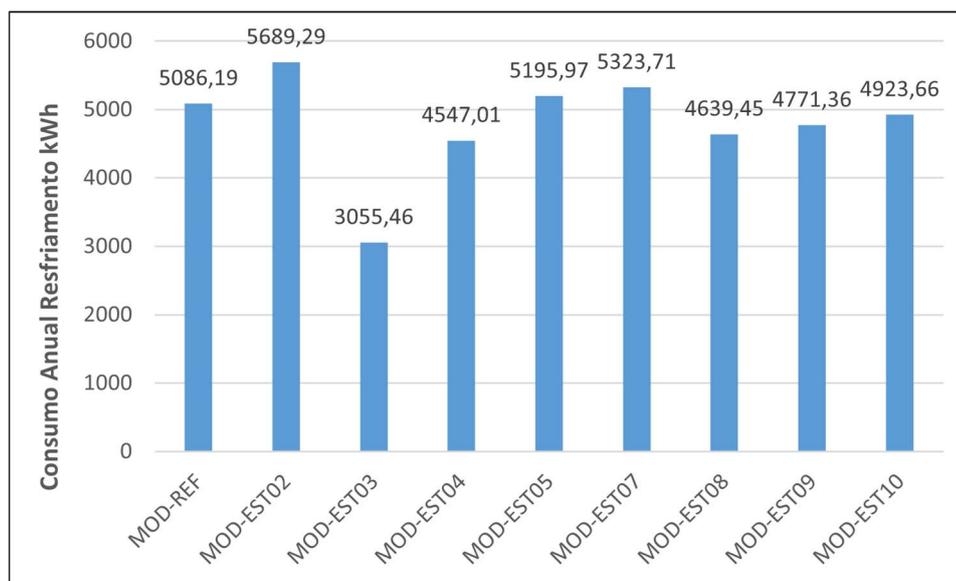


Fonte: elaborada pelo autor

Analisando-se o consumo de energia anual para aquecimento (Figura 45), para as diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência, vê-se que a estratégia mais eficiente é o isolamento térmico do telhado (EST 03) que traz uma redução de 43,94% no consumo. Na sequência aparece a estratégia de isolamento térmico do forro (EST 04) que reduz o consumo anual em 31,23%. Na comparação entre estas duas estratégias, tem-se que considerar que na parte posterior da edificação não há forro, o que aumenta as perdas de calor quando não há isolamento no telhado. Redução significativa também traz a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) com uma redução no consumo anual de 20,93% e a estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) com uma redução de 11,87%. As estratégias com

pior desempenho neste quesito são a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) que aumenta o consumo anual com aquecimento em 2,45% e a instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) com um aumento de 2,45% no consumo. Nesses dois casos, o uso de vidros com baixo fator solar diminui o aquecimento solar passivo pelas aberturas no inverno.

Figura 46 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento



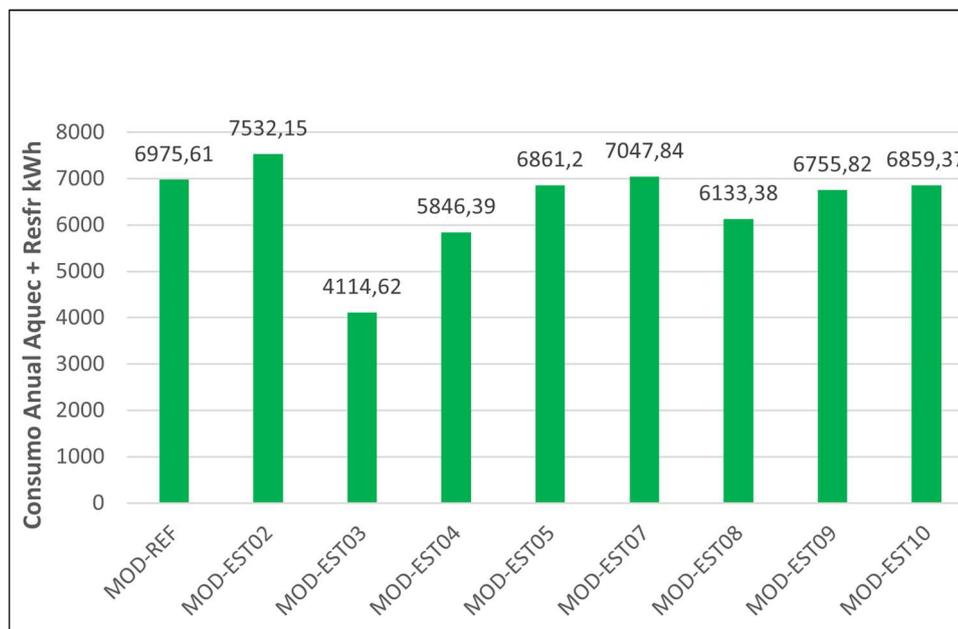
Fonte: elaborada pelo autor

Já analisando-se o consumo de energia anual para resfriamento (Figura 46), para as diferentes estratégias em comparação como modelo de referência, vê-se que as estratégias mais eficientes também são o isolamento térmico do telhado (EST 03) que traz uma redução no consumo anual de energia de 39,93% e a estratégia de isolamento térmico do forro (EST 04) com redução de 10,60% no consumo anual. As estratégias com pior desempenho para resfriamento são o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) com aumento de 11,86% no consumo anual e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) que aumenta o consumo anual em 4,67%.

Quando se compara o consumo anual de energia total (aquecimento e resfriamento) do modelo de referência com os modelos das diferentes estratégias (Figura 47), vê-se que novamente as estratégias mais eficientes são as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) que reduz o consumo anual total em 41,01% e de isolamento térmico do forro (EST 04) que reduz o consumo anual em 16,19%. Redução significativa também traz a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) com redução anual de 12,07%. A pior estratégia é o isolamento térmico de pisos e entrepisos de

madeira (EST 02) que aumenta o consumo anual total em 7,98%. Trazendo aumento no consumo total em 1,04% aparece também a estratégia de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07).

Figura 47 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.1.4.3 Considerações sobre desempenho térmico e eficiência energética

A partir dos resultados apresentados, é possível identificar quais as estratégias mais indicadas para a melhoria do desempenho térmico da edificação. Considerando-se os resultados obtidos para conforto, as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) são as que apresentaram melhor desempenho anual em comparação com o modelo de referência, mesmo que a redução de horas de desconforto tenha sido pequena. Neste quesito, as estratégias com menor desempenho são a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e a instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), além do isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), todas com um pequeno aumento nas horas anuais de desconforto.

Já quando são analisadas as temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna no verão (janeiro), novamente as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) se mostram as mais eficientes, com redução da

temperatura em torno de 4°C. Nesse período a estratégia que apresenta temperatura mais alta é o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02). As estratégias de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) e de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) são as que tiveram melhor desempenho no período de inverno (junho) para esse ambiente, mesmo que as diferenças de temperatura em relação ao modelo de referência sejam pequenas.

Ao se analisar a temperatura em uma zona de permanência prolongada noturna, novamente as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) são as que apresentaram melhor desempenho no período de verão (janeiro), mesmo que sejam temperaturas relativamente altas, em torno de 26°C no período noturno. Nesse período as estratégias com menor desempenho são a vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08), o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e o isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07). Já no período de inverno (junho) novamente as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e isolamento térmico do forro (EST 04) são as mais eficientes, pois mantêm a temperatura mais alta à noite. A estratégia com pior desempenho é o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02).

Em relação à eficiência energética, a Tabela 31 apresenta o percentual de redução (ou aumento) do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e total para cada estratégia em relação ao modelo de referência.

Tabela 31 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem

<b>Modelo</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Resfriamento</b>	<b>Total</b>
MOD-EST02	-2,46	+11,86	+7,98
MOD-EST03	-43,94	-39,93	-41,01
MOD-EST04	-31,23	-10,60	-16,19
MOD-EST05	-11,87	+2,16	-1,64
MOD-EST07	-8,75	+4,67	+1,04
MOD-EST08	-20,93	-8,78	-12,07
MOD-EST09	+5,03	-6,19	-3,15
MOD-EST10	+2,45	-3,20	-1,67

Fonte: elaborada pelo autor

As estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), isolamento térmico do forro (EST 04) e a vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) são as que apresentam melhor eficiência energética em todas as situações de consumo de energia anual, ou seja, para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização.

No Quadro 6 são apresentadas as estratégias com melhor desempenho térmico e eficiência energética.

Quadro 6 – Estratégias com melhor desempenho para a edificação representativa da arquitetura luso-brasileira

	<b>Conforto térmico</b>	<b>Temp. diurna verão</b>	<b>Temp. diurna inverno</b>	<b>Temp. noturna verão</b>	<b>Temp. noturna inverno</b>	<b>Eficiência energética</b>
Estratégia	EST 04	EST 03	EST 07	EST 03	EST 03	EST 03
	EST 03	EST 04	EST 05	EST 04	EST 04	EST 04
		EST 09		EST 05		EST 08

Fonte: elaborado pelo autor

Observando-se os resultados há uma grande concordância ao serem elencadas as melhores estratégias para os quesitos analisados. As estratégias EST 03 e EST 04 aparecem com melhor desempenho ou eficiência na maioria das situações avaliadas. As avaliações que consideraram as horas de desconforto pelo cálculo do índice PMV e as temperaturas em zonas de permanência prolongada diurna e noturna serviram para demonstrar aquelas estratégias com melhor desempenho, além de contribuir para a validação e calibragem dos modelos. Entretanto, em função da sensibilidade dos modelos de simulação, as diferenças foram muito pequenas tanto nas horas de desconforto, quanto nas temperaturas. Desta forma, para a posterior ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, foram considerados apenas os resultados advindos da avaliação de eficiência energética, cujos valores são mais significativos.

#### 4.1.5 Avaliação Qualitativa

Conforme estabelecido anteriormente no item 3.4.2.1 a avaliação qualitativa é realizada a partir do resultado da aplicação de questionários a profissionais com atuação na área de patrimônio e afins. As pontuações referentes aos aspectos e critérios, para cada estudo de caso,

estão no Apêndice B. A Tabela 32 apresenta as pontuações e as médias ponderadas para cada critério avaliado.

Analisando-se os resultados vê-se que os aspectos técnico-funcionais, na maioria das estratégias, recebem maior pontuação do que os aspectos de compatibilidade patrimonial, com exceção das estratégias de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e de isolamento térmico do telhado (EST 03), mesmo assim com uma diferença muito pequena. De acordo com as respostas, questões técnico-funcionais têm, em sua maioria, menos impacto do que questões de compatibilidade em relação ao patrimônio.

Tabela 32 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério

Critérios	Estratégias									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autenticidade	2,53	3,76	3,53	3,59	1,88	2,94	2,12	3,76	2,94	3,65
Imagem	3,41	4,35	4,29	3,76	2,06	3,53	2,53	4,29	4,24	3,76
Reversibilidade	2,00	4,29	4,41	3,59	1,71	2,94	3,00	3,76	3,06	4,06
Média Compatibilidade	<b>2,65</b>	<b>4,14</b>	<b>4,08</b>	<b>3,65</b>	<b>1,88</b>	<b>3,14</b>	<b>2,55</b>	<b>3,94</b>	<b>3,41</b>	<b>3,82</b>
Risco de danos	2,41	3,47	3,18	3,18	2,24	2,71	3,12	4,00	3,88	3,71
Funcionalidade	3,88	4,35	4,47	4,18	3,53	3,47	3,76	4,76	4,82	4,47
Viabilidade	3,29	4,47	4,41	4,00	2,88	3,29	3,65	4,53	4,18	4,35
Média Técnico Funcionais	<b>3,20</b>	<b>4,10</b>	<b>4,02</b>	<b>3,78</b>	<b>2,88</b>	<b>3,16</b>	<b>3,51</b>	<b>4,43</b>	<b>4,29</b>	<b>4,18</b>
<b>Média Ponderada</b>	<b>2,83</b>	<b>4,12</b>	<b>4,06</b>	<b>3,69</b>	<b>2,22</b>	<b>3,14</b>	<b>2,87</b>	<b>4,10</b>	<b>3,71</b>	<b>3,94</b>

Fonte: elaborada pelo autor

Considerando-se a média ponderada, as estratégias mais adequadas de acordo com as respostas são o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), a vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e o isolamento térmico do telhado (EST 03). Todas com pontuação com impacto entre médio baixo e muito baixo conforme a Tabela 16 do item 3.4.2.1. A estratégia de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) vem na sequência, com pontuação praticamente de impacto médio baixo. As demais estratégias ficam em uma faixa de impacto de médio baixo a médio alto. Os valores da média ponderada foram considerados como a pontuação de preservação de cada estratégia.

#### 4.1.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa

Realizando-se uma avaliação integrada dos resultados obtidos a partir das avaliações quantitativa, referente a desempenho térmico e eficiência energética, e qualitativa, relativa ao impacto das estratégias de requalificação em relação aos atributos do patrimônio, pode-se estabelecer alguns parâmetros para o estudo de caso: porcentagem de horas de desconforto; pontuação de preservação; consumo energético anual para climatização (aquecimento e resfriamento); diferença do consumo energético anual total para climatização.

Desta forma, a escolha das melhores estratégias de intervenção ocorre a partir do balanceamento desses parâmetros: redução do consumo energético, melhoria do desempenho térmico e compatibilidade em relação aos atributos de preservação. A Tabela 33 apresenta os parâmetros para as estratégias aplicáveis ao estudo de caso em tela.

Tabela 33 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas

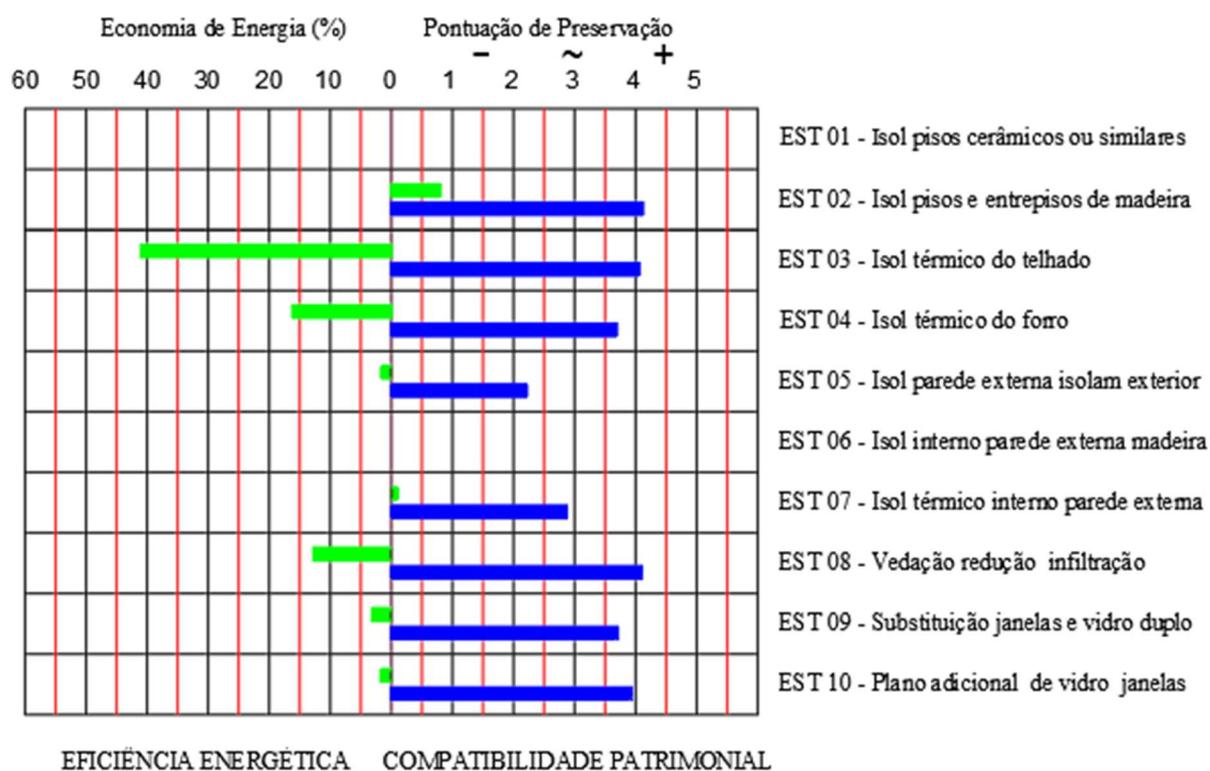
<b>Estratégias de intervenção</b>	<b>Horas de desconforto (%)</b>	<b>Pontuação de preservação</b>	<b>Consumo energético anual (KWh/ano)</b>	<b>Consumo energético diferença anual (%)</b>
MOD-REF	83	-	6975,61	-
MOD-EST 02	84	4,12	7532,15	+7,98
MOD-EST 03	82,4	4,06	4114,62	-41,01
MOD-EST 04	81	3,69	5846,39	-16,19
MOD-EST 05	83,8	2,22	6861,20	-1,64
MOD-EST 07	84	2,87	7047,84	+1,04
MOD-EST 08	83	4,10	6133,38	-12,07
MOD-EST 09	84,5	3,71	6755,82	-3,15
MOD-EST 10	84,5	3,94	6859,37	-1,67

Fonte: elaborada pelo autor

A partir dessa compilação, em função da pequena variação das horas de desconforto, conforme abordado anteriormente, opta-se como parâmetros, para a ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, os valores referentes à economia de energia das diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência e a pontuação de preservação, respectivamente.

Na Figura 48 tem-se a apresentação gráfica dos resultados da economia de energia, referente à avaliação quantitativa, e da pontuação de preservação, referente à avaliação qualitativa, das diferentes estratégias, numa análise similar a estabelecida por Grünewald, Will e Pohl (2010). Destaca-se que são apresentadas apenas as estratégias que foram avaliadas para o estudo de caso.

Figura 48 – Economia de energia e pontuação de preservação

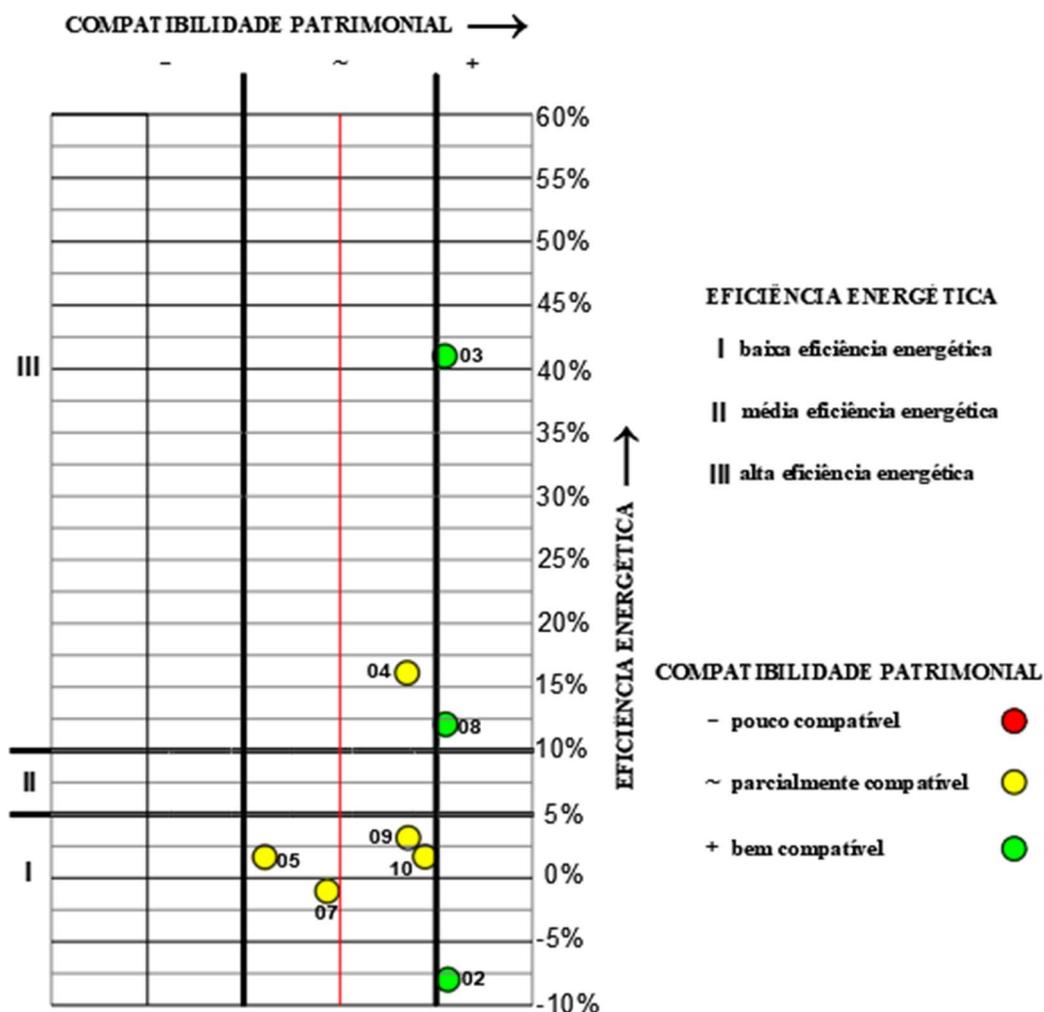


Fonte: elaborada pelo autor

A apresentação integrada dos parâmetros é realizada a partir de uma matriz de avaliação onde são contabilizados e comparados os resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, estabelecendo escalas de maior ou menor eficiência e maior ou menor compatibilidade patrimonial para cada estratégia avaliada. Essa matriz tem como referência a apresentação dos resultados das pesquisas de Japiassú (2019) e Grünewald, Will e Pohl (2010). No eixo das ordenadas tem-se a eficiência energética em porcentagem de economia de energia e no eixo das abscissas a pontuação de preservação. Desta forma, as estratégias podem ser plotadas em forma de círculos na matriz em função desses dois valores. Para representar o grau de compatibilidade das diferentes estratégias em relação às questões patrimoniais são aplicadas cores aos círculos conforme legenda. A matriz também estabelece zonas com o grau de compatibilidade em

relação ao patrimônio e o nível de eficiência energética. A Figura 49 mostra a apresentação dos resultados na matriz.

Figura 49 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa



Fonte: elaborada pelo autor

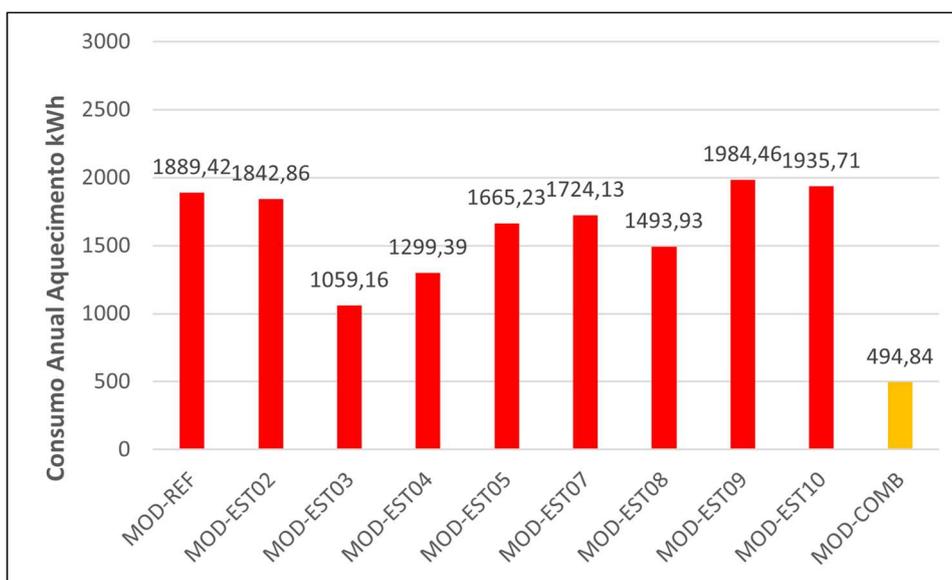
A partir da visualização desses resultados pode-se constatar que para a edificação estudo de caso, representativa da arquitetura luso-brasileira, as estratégias mais recomendáveis, ou seja, aquelas que têm maior eficiência energética e maior compatibilidade patrimonial, são o isolamento térmico do telhado (EST 03) e a vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08). A estratégia de isolamento térmico do forro (EST 04) tem uma eficiência energética razoável, mas é considerada uma estratégia com compatibilidade parcial. A estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) tem alta compatibilidade em relação ao patrimônio, entretanto tem baixíssima eficiência energética.

#### 4.1.7 Combinação de estratégias

Finalizando as avaliações para o estudo de caso, foi simulado um modelo combinando as medidas mais recomendáveis, ou seja, as que melhor atendem aos critérios de eficiência energética e de compatibilidade patrimonial. Desta forma, será simulado um modelo que combine as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e isolamento térmico do forro (EST 04). Apenas a eficiência energética do modelo será avaliada nessa combinação de medidas. A estratégia que combina as medidas supracitadas será chamada de EST-COMB.

As Figuras 50, 51 e 52 apresentam os gráficos comparativos do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização, do modelo de referência, do modelo das estratégias e do modelo da combinação das estratégias mais eficientes e mais compatíveis com o patrimônio.

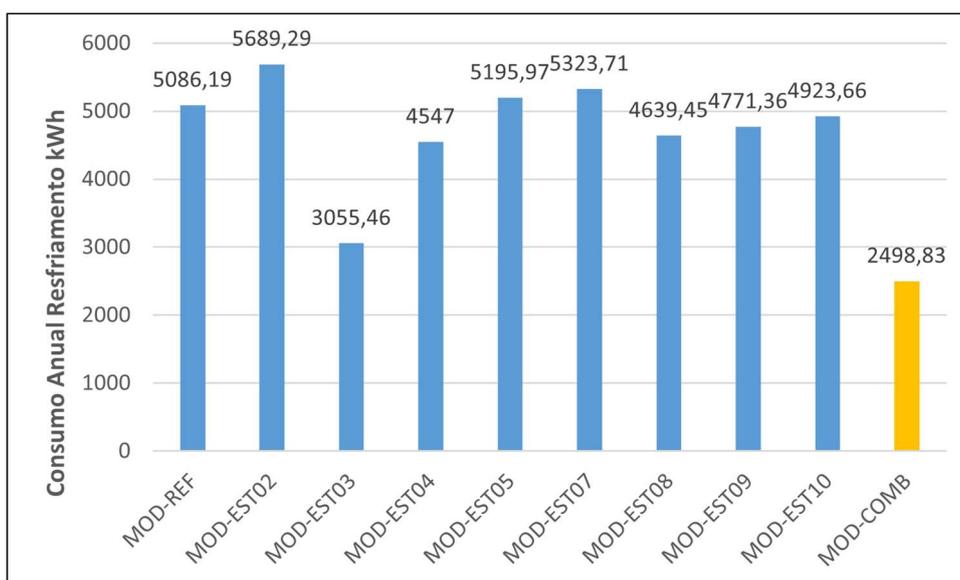
Figura 50 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

No comparativo, o modelo combinando as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e isolamento térmico do forro (EST 04) reduz o consumo de energia anual para aquecimento em 73,81%, em relação ao modelo de referência, uma grande redução, mesmo considerando-se que o consumo anual seja muito baixo

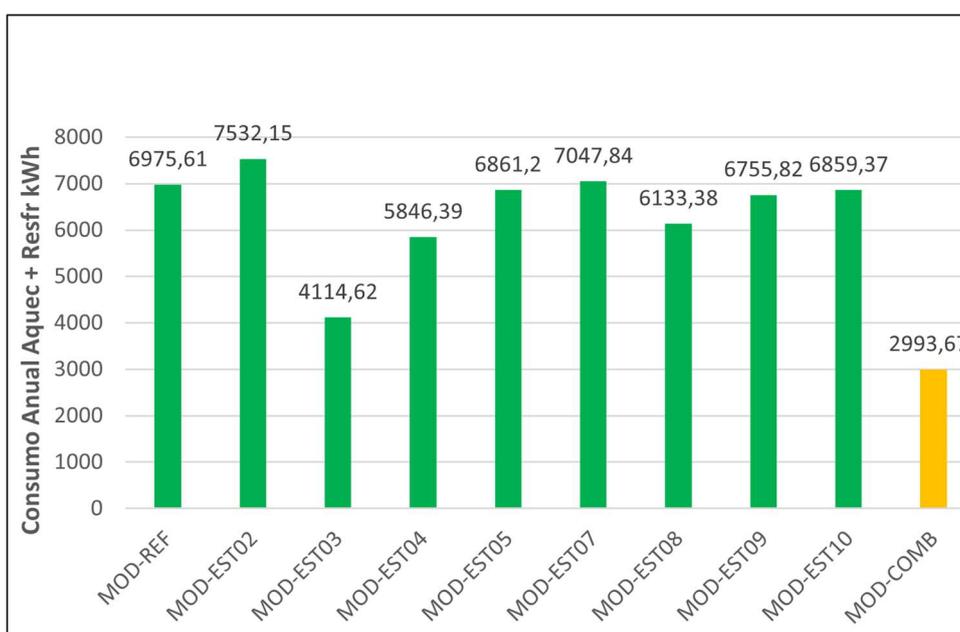
Figura 51 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento



Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se os resultados, o modelo combinando as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e isolamento térmico do forro (EST 04) reduz o consumo de energia anual para resfriamento em 50,87%, em relação ao modelo de referência, uma redução muito significativa.

Figura 52 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

Quando se comparam os resultados, o modelo combinando as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e isolamento térmico do forro (EST 04) reduz o consumo de energia anual total para climatização 57,08%, em relação ao modelo de referência.

Finalizando, pode-se observar a significativa eficiência energética dessa combinação de estratégias, ressaltando-se que são aquelas mais compatíveis com relação ao patrimônio, para o estudo de caso em tela.

## 4.2 CASA WITHÖLDER – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

### 4.2.1 Caracterização geral da Edificação

A Casa Withölder localiza-se na Linha Frank, município de Westfália/RS, Latitude 29,44625S e Longitude 51,75985W (Figura 53).

Figura 53 – Imagem de satélite da Linha Frank, Município de Westfália, com localização da edificação



Fonte: adaptado de Google Earth Pro pelo autor

A edificação possui área aproximada de 100,80m<sup>2</sup>. A divisão interna do térreo da casa reflete seu aspecto externo com duas paredes transversais em enxaimel que dividem o retângulo em três faixas, as duas externas ocupadas pelos dormitórios, dois de cada lado, e a faixa central ocupada pela grande sala de convivência. As fundações são em pedra grés pintadas em vermelho escuro e têm alturas variadas em função do declive do terreno, o que conforma um espaço de porão com acesso externo por uma porta na fachada que dá para a estrada. Em um dos quartos há uma escada íngreme em dois lances que leva ao sótão. A estrutura enxaimel é pintada de preto e os tramos de alvenaria de tijolos são caiados. Nas fachadas maiores há três janelas e uma porta de cada lado, sendo uma janela para cada quarto e uma porta e uma janela para a sala. Nas fachadas menores há duas janelas de cada lado no térreo. O frontão, do lado da estrada, tem duas janelas no sótão e na fachada oposta apenas uma janela (Figura 54).

Figura 54 – Casa Withölder

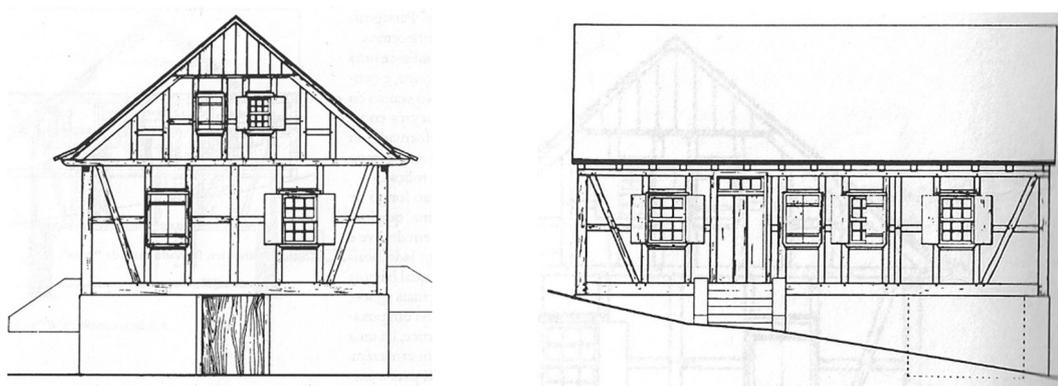


Fonte: Plano Diretor de Westfália (disponível em <https://www.westfalia.rs.gov.br/>)

Toda as janelas possuem tampos externos de tábuas de duas folhas e vidraças de guilhotina, exceto as janelas dos frontões que possuem tampos de uma folha. As duas portas externas são constituídas por duas folhas de larguras desiguais (50 e 75cm) com bandeiras superiores com enfeite floral. A estrutura do telhado é de elementos de madeira e a cobertura de telha de zinco (chapa de ferro galvanizada) (Figuras 55, 56 e 57).

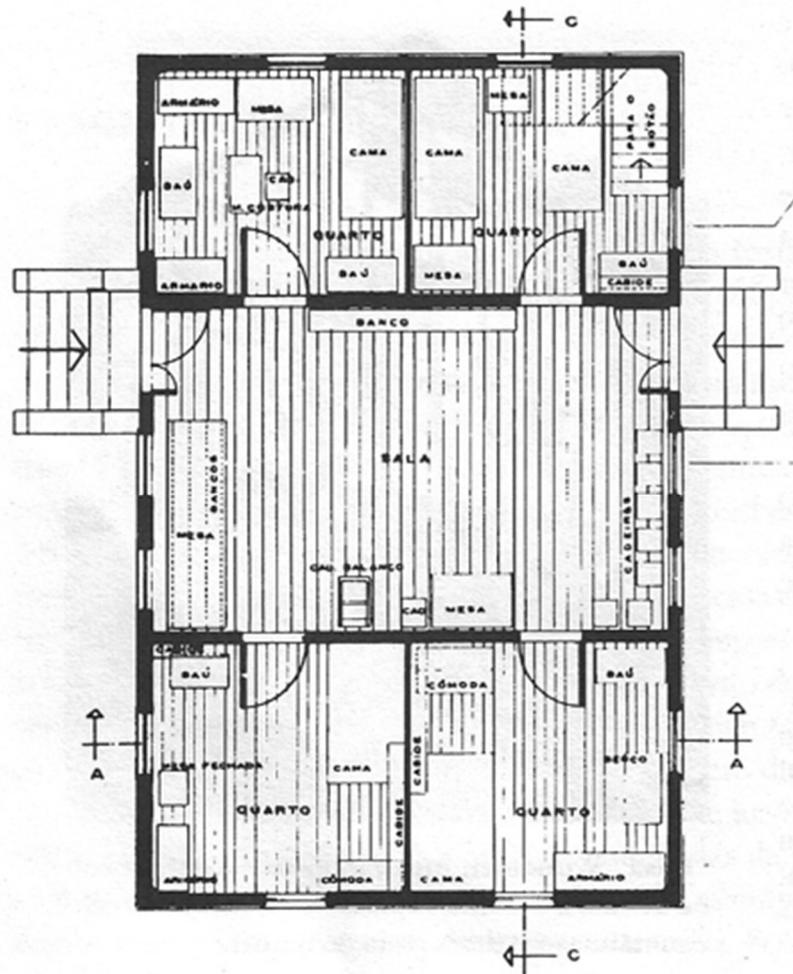
Cabe ressaltar que a estrutura enxaimel é relativamente complexa para as condições brasileiras, mas bem mais simples do que as da região alemã de onde vieram os imigrantes.

Figura 55 – Fachadas nordeste e sudoeste



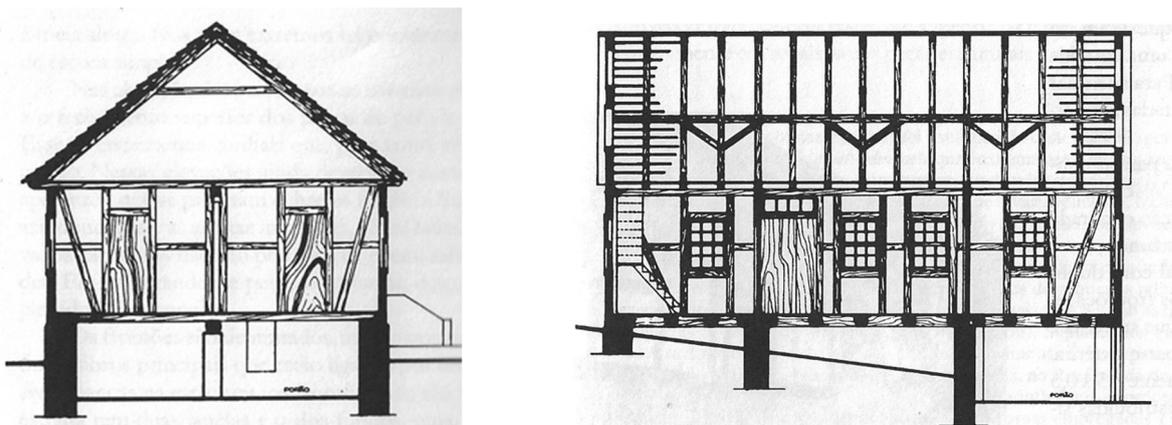
Fonte: (WEIMER, 2005)

Figura 56 – Planta baixa térreo



Fonte: (WEIMER, 2005)

Figura 57 – Cortes transversal e longitudinal

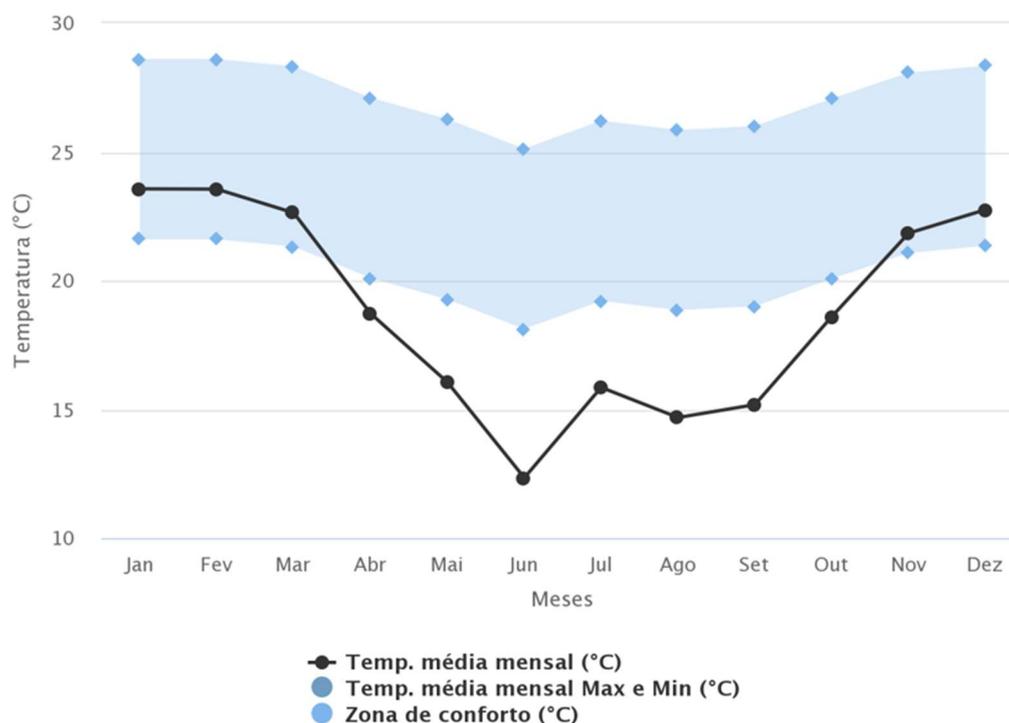


Fonte: (WEIMER, 2005)

#### 4.2.2 Aspectos geográficos e climáticos de Westfália (RS)

A localidade de Linha Frank pertence ao município de Westfália que está situado na região central do estado do Rio Grande do Sul, no vale do Taquari, em uma região com relevo relativamente acidentado. O clima da localidade é o Cfa – Clima subtropical úmido (mesotérmico), isento de estiagem nítida, úmido em todas as estações, com verão quente e menor frequência de geadas, conforme a classificação de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Pertence a Zona Bioclimática 2 de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005a). Considerando os dados climáticos do INMET de Rio Pardo, já que o município não possui banco de dados climáticos, a temperatura média mensal é de 18,81°C, sendo que a temperatura de bulbo seco média mensal máxima é de 23,56°C em janeiro e a temperatura de bulbo seco média mensal mínima de 12,34°C em junho (Figura 58).

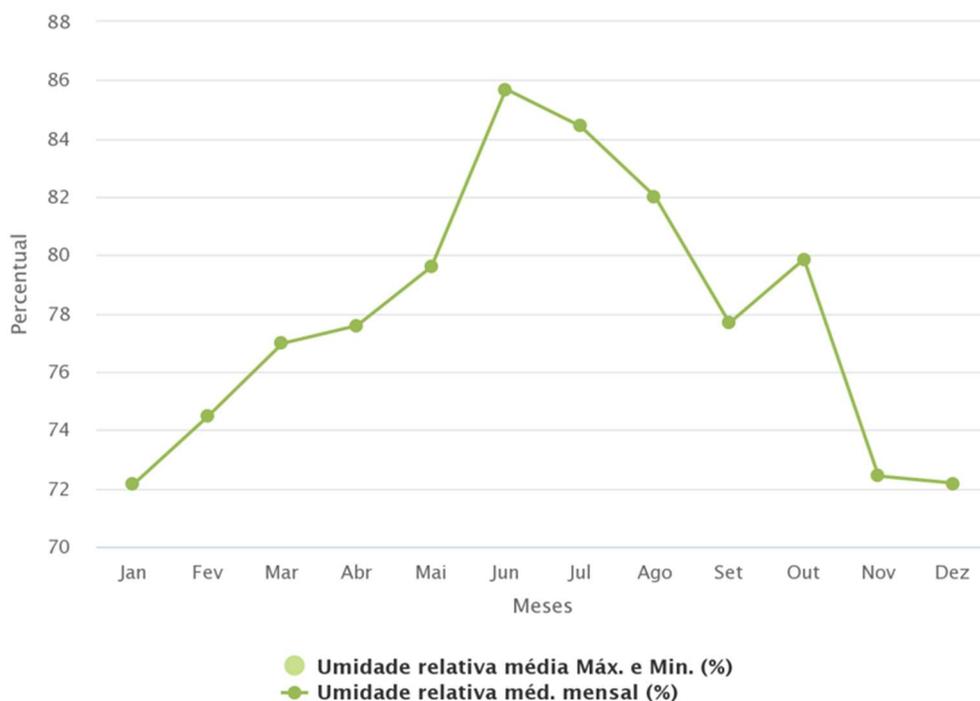
Figura 58 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico



Fonte: (PROJETEEEE, 2021)

A umidade relativa do ar média anual fica em 77,92% tendo a média mensal mais baixa em dezembro com 72,14% e a média mensal mais alta em junho com 85,69% (Figura 59).

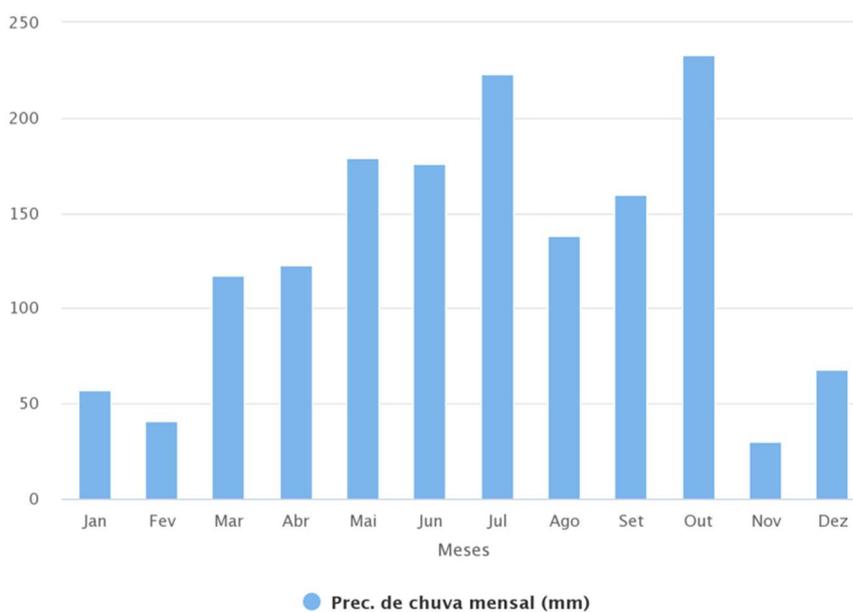
Figura 59 – Gráfico da umidade relativa do ar



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

Os meses mais chuvosos são outubro com 233mm, julho com 223mm e maio com 179mm, e os menos chuvosos são novembro com 30mm e fevereiro com 41mm. A precipitação anual é de 1545mm (Figura 60).

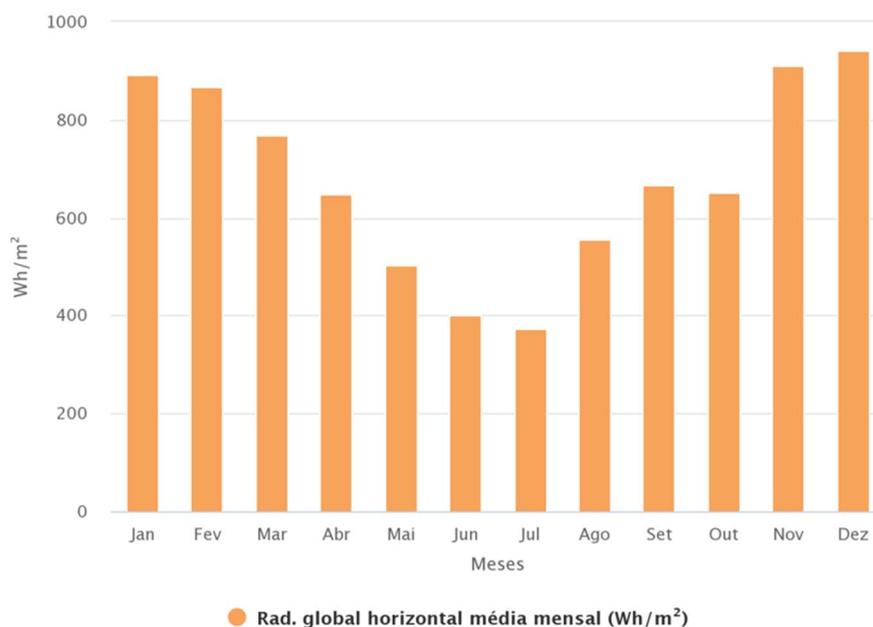
Figura 60 – Gráfico de precipitação



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

A radiação horizontal global média mensal varia de 940,81 Wh/m<sup>2</sup> em dezembro a 373,48 Wh/m<sup>2</sup> em julho (Figura 61).

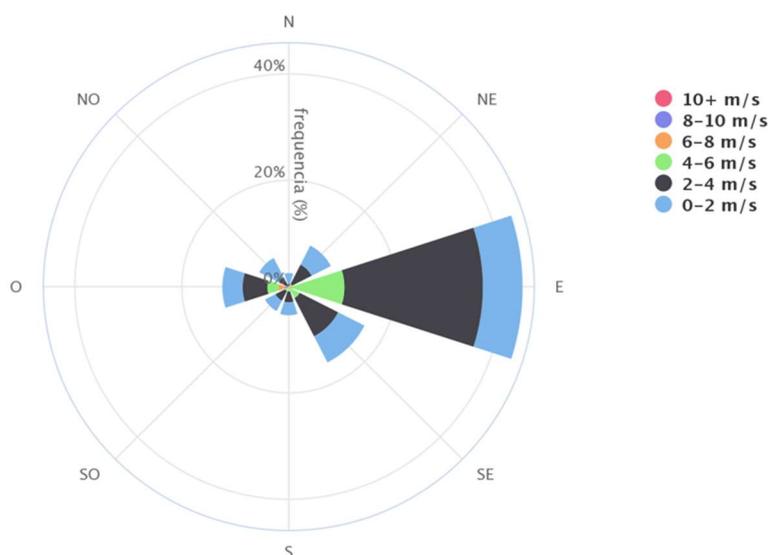
Figura 61 – Gráfico da radiação global média mensal



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

Os ventos predominantes são do quadrante leste com velocidades médias de 2 a 4 m/s (Figura 62).

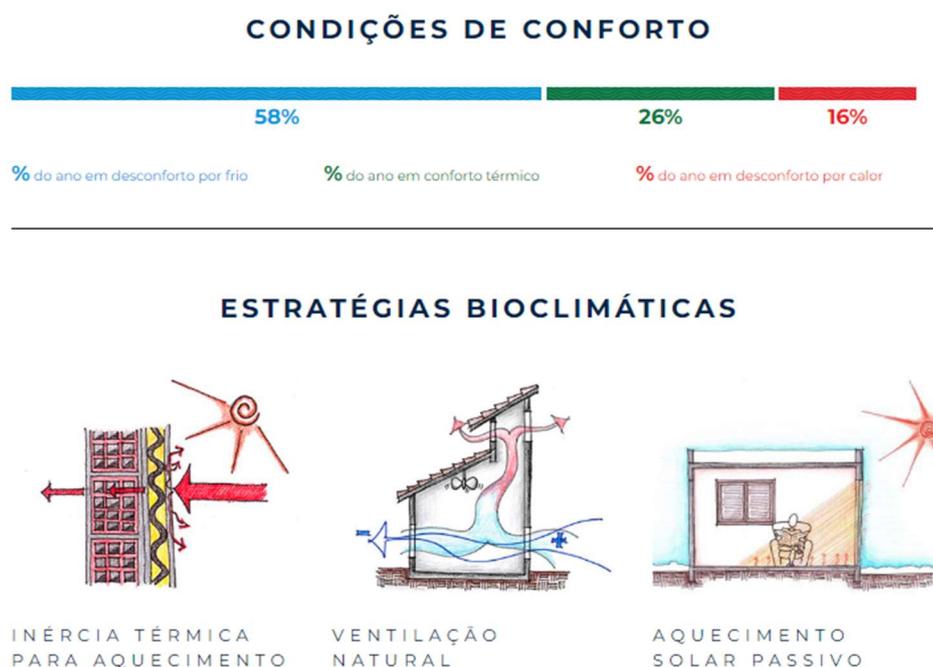
Figura 62 – Frequência e velocidade dos ventos



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

De acordo com os dados fornecidos pelo PROJETEEE (2021) Westfália apresenta por ano em média 58% das horas em desconforto por frio, 16% das horas em desconforto por calor e 26% das horas em conforto térmico, sendo que as principais estratégias bioclimáticas recomendadas, neste contexto, são a inércia térmica para aquecimento, a ventilação natural e o aquecimento solar passivo (Figura 63).

Figura 63 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

O sombreamento, o resfriamento evaporativo e a inércia térmica para resfriamento, em menor escala, também são estratégias aplicáveis. A Tabela 34 mostra as principais estratégias bioclimáticas de acordo com as estações do ano, bem como os seus percentuais de aplicabilidade.

Tabela 34 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade

(continua)

Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Verão	20	44	36	Ventilação Natural	39
				Inércia térmica aquecimento	24
				Sombreamento	14

					(conclusão)
Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Primavera	52	32	16	Inércia térmica aquecimento	51
				Ventilação Natural	17
				Sombreamento	9
Inverno	88	8	4	Inércia térmica aquecimento	56
				Aquecimento solar passivo	37
				Ventilação Natural	3
Outono	72	20	8	Inércia térmica aquecimento	55
				Aquecimento solar passivo	22
				Ventilação Natural	11

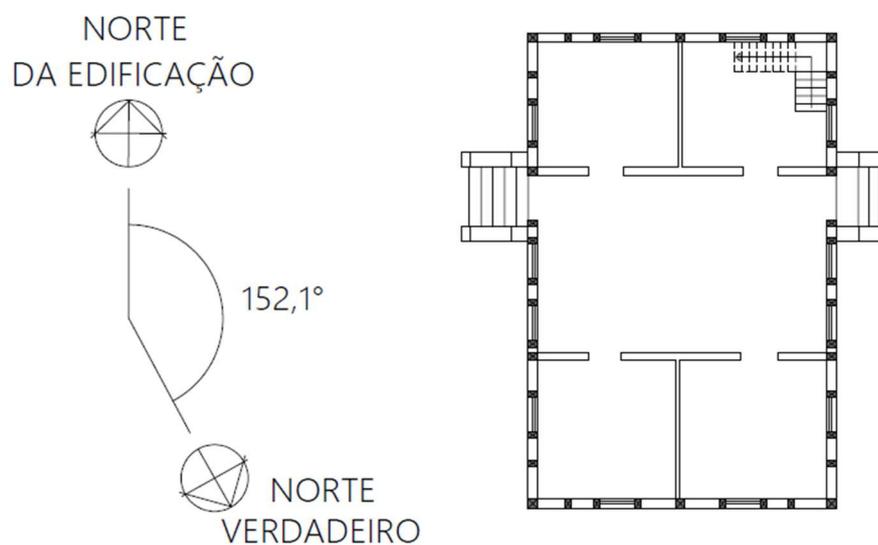
Fonte: adaptado de (PROJETEEE, 2021)

### 4.2.3 Modelagem da edificação

#### 4.2.3.1 Desvio Azimutal e Geolocalização

Em relação a sua orientação solar, é possível verificar que o desvio azimutal da edificação em relação ao norte é de  $152,1^\circ$ , usando como ponto de referência a fachada posterior em relação à estrada (norte da edificação).

Figura 64 – Desvio Azimutal da edificação



Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 64 mostra a medição desse ângulo realizada a partir da planta baixa proveniente do levantamento de arquivo. No item 3.2.3.1 é descrito o procedimento para a determinação desse ângulo.

De posse das coordenadas do prédio, e do seu desvio azimutal, é possível georeferenciar o modelo da edificação, inserindo-se estes dados no aplicativo Google Earth. A Figura 65 mostra a posição do modelo que será considerada no programa de simulação. Através dessa figura, pode-se confirmar que as considerações de localização e desvio azimutal estão corretas, pois o modelo se encontra sobre a posição geográfica da edificação.

Figura 65 – Geolocalização do modelo



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.2.3.2 Arquivo Climático

O município de Westfália localiza-se na Zona Bioclimática 2 e não possui arquivo climático próprio, como é o caso de muitas cidades. Nesse caso, como exposto anteriormente, na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se utilizar os dados climáticos de uma cidade com características climáticas semelhantes e na mesma zona bioclimática brasileira. A Tabela 35 apresenta as cidades da Zona Bioclimática 2, que têm arquivos climáticos, com informações de latitude, longitude, altitude, temperatura média anual e distância da cidade onde localiza-se a edificação em estudo (em destaque). Os dados de temperatura foram obtidos de sites de climatologia e meteorologia (AMANTES DO TEMPO, 2022; IRGA, 2022).

Tabela 35 – Comparação entre a cidade de Westfália e as cidades da Zona Bioclimática 2 que possuem Arquivo Climático

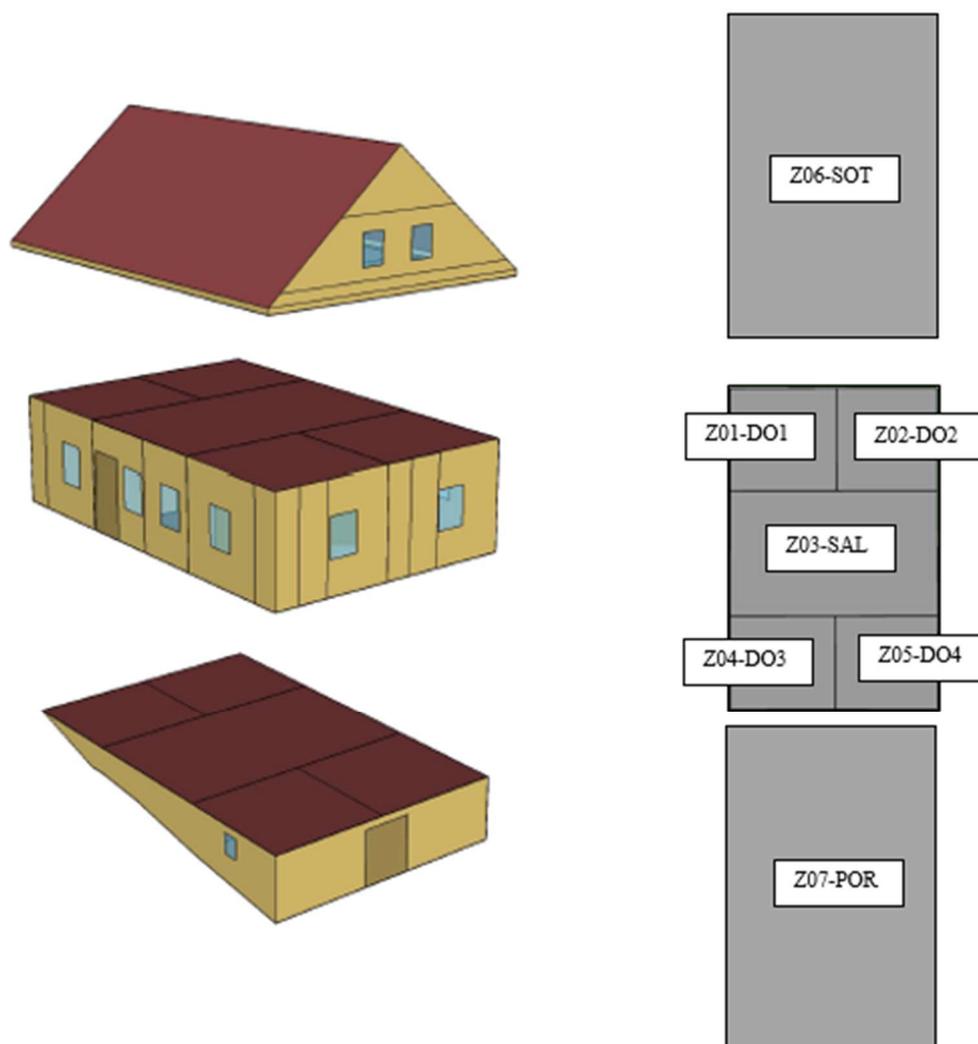
<b>Cidade</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Temperatura Média (°C)</b>	<b>Distância para (km)</b>
<b>Westfália</b>	<b>100</b>	<b>-29,45</b>	<b>51,76</b>	<b>18,7</b>	<b>-</b>
Alegrete	102	-29,78	55,79	19,1	394
Bagé	212	-31,33	54,10	17,9	313
Caçapava do Sul	444	-30,51	53,49	16,9	210
Camaquã	39	-30,85	51,81	18,7	163
Canguçu	386	-31,39	52,67	18,2	240
Chuí	22	-33,69	53,45	17,2	507
Cruz Alta	452	-28,64	53,60	18,5	199
Encruzilhada do Sul	432	-30,54	52,52	17,0	149
Erechim	783	-27,63	52,27	18,7	201
Jaguarão	26	-32,56	53,37	17,8	385
Lagoa Vermelha	801	-28,21	51,52	16,8	133
Mostardas	17	-31,10	50,92	21,6	206
Palmeira das Missões	639	-27,89	53,31	20,1	226
Passo Fundo	687	-28,26	52,40	17,7	142
Pelotas	17	-31,77	52,34	18,6	266
Quaraí	112	-30,39	56,45	18,8	467
<b>Rio Pardo</b>	<b>47</b>	<b>-29,99</b>	<b>52,37</b>	<b>19,1</b>	<b>89</b>
Santa Maria	151	-29,68	53,80	18,8	202
Santa Vitória do Palmar	23	-33,52	53,37	16,6	485
Santana do Livramento	208	-30,89	55,53	18,2	399
Santiago	409	-29,19	54,87	20,6	304
Santo Augusto	528	-27,85	53,77	20,4	262
São Borja	123	-28,66	56,00	21,5	422
São Gabriel	114	-30,34	54,32	18,2	270
São Luiz Gonzaga	231	-28,41	54,96	19,8	332
Soledade	726	-28,82	52,51	18,6	97
Tramandaí	8	-29,98	50,13	21,3	169
Uruguaiana	66	-29,75	57,09	19,7	517

Fonte: elaborada pelo autor

A partir da observação desses dados, o arquivo climático a ser utilizado para a simulação será, portanto, o da cidade de Rio Pardo, RS (em destaque). Essa cidade, devido à proximidade geográfica, possui características climáticas semelhantes e, além disso, se encontra em latitude e altitude similares a da cidade de Westfália, tornando-se assim, adequado o uso do seu arquivo climático, o que é corroborado quando se insere a cidade de Westfália na plataforma PROJETEEE que recomenda o uso dos dados da cidade de Rio Pardo como referência (PROJETEEE, 2021).

#### 4.2.3.3 Zoneamento Térmico

Figura 66 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas



Fonte: elaborada pelo autor

Como já abordado no estudo de caso anterior, as zonas térmicas são definidas no programa de simulação – EnergyPlus – como um volume de ar a temperatura uniforme (ENERGYPLUS, 2020b), com a envoltória de cada zona constituída de superfícies de troca térmica, condições de contorno, como paredes, pisos, tetos, portas e janelas.

A partir da documentação disponível é possível criar o modelo da edificação e a divisão das zonas térmicas, sendo que cada ambiente deve ser modelado como uma zona separada. A Figura 66 mostra as zonas térmicas em perspectiva e em planta baixa facilitando o entendimento da distribuição das zonas no modelo.

A edificação foi então dividida em 7 zonas térmicas, levando-se em consideração todos os ambientes do prédio e procurando-se manter todos os detalhes construtivos para que o modelo se aproximasse ao máximo da edificação construída (Tabela 36). O zoneamento foi criado por meio da interface do programa *Google SketchUp* através do *plug-in Euclid*.

Tabela 36 – Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas

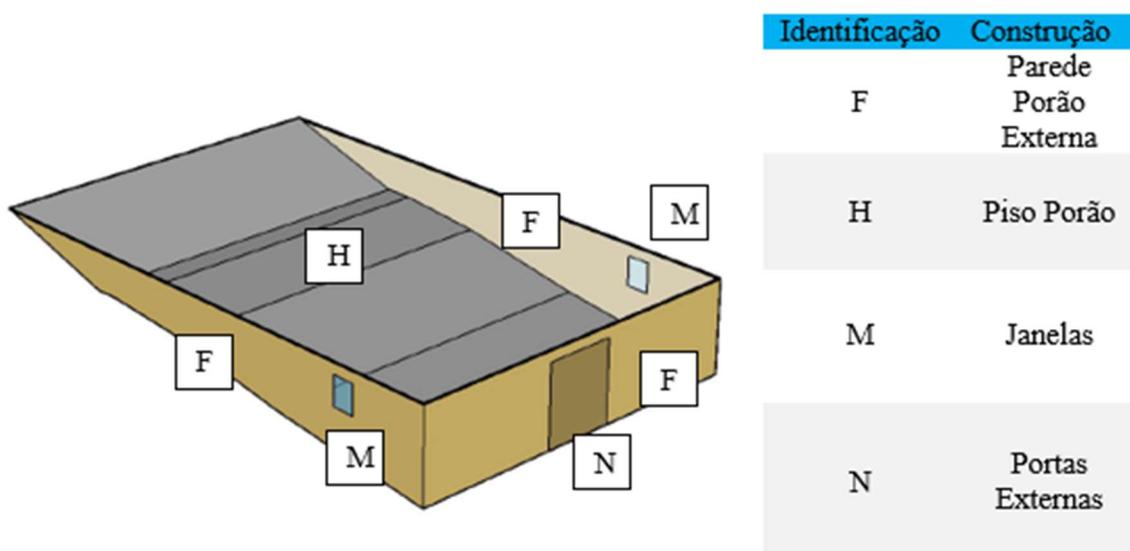
ZONA TÉRMICA	AMBIENTE	ÁREA APROXIMADA (m <sup>2</sup> )
Z01-DO1	Dormitório 1 (SE)	13,84
Z02-DO2	Dormitório 2 (SO)	14,19
Z03-SAL	Sala	37,56
Z04-DO3	Dormitório 3 (NE)	14,95
Z05-DO4	Dormitório 4 (NO)	15,85
Z06-SOT	Sótão	106,27
Z07-POR	Porão	98,04

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.2.3.4 Materiais e Elementos Construtivos

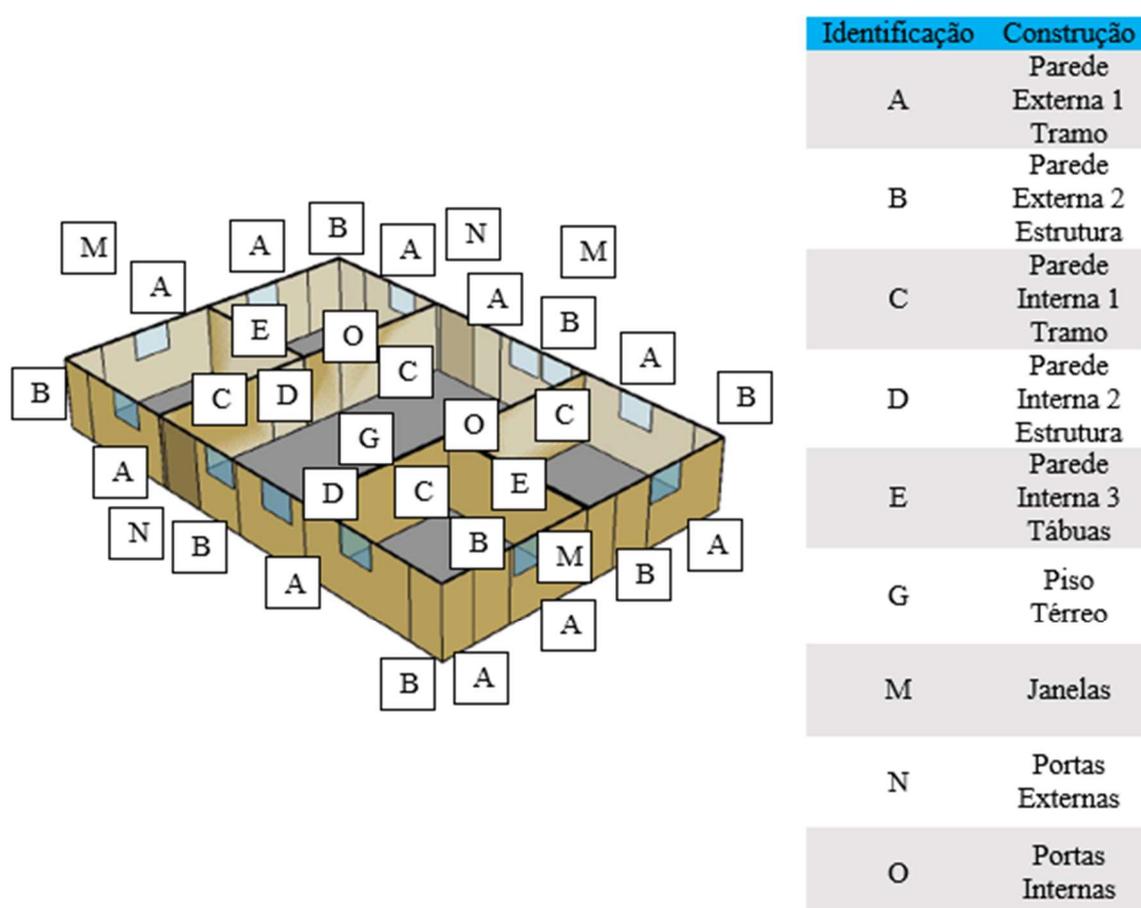
A partir do levantamento das características construtivas da edificação, é possível realizar a especificação dos seus elementos construtivos que foram inseridos no modelo. As Figuras 67, 68 e 69 mostram a localização desses elementos.

Figura 67 – Localização dos elementos construtivos – porão



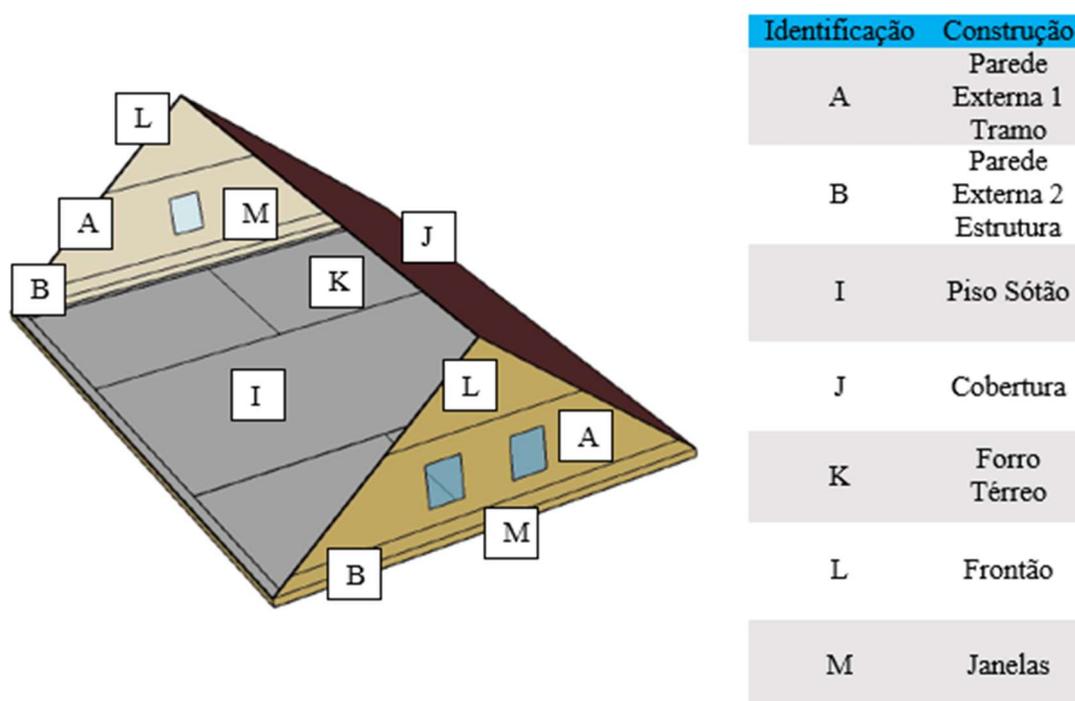
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 68 – Localização dos elementos construtivos – térreo



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 69 – Localização dos elementos construtivos – sótão



Fonte: elaborada pelo autor

Uma particularidade dessa edificação é a estrutura em enxaimel cujos tramos são preenchidos com alvenaria de tijolos. Para facilitar a modelagem considerou-se, para cada parede de cada zona onde ocorre este tipo de estrutura, uma área proporcional de parede que represente o madeiramento dessa estrutura.

#### 4.2.3.5 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

A propriedade térmica do material é a resposta ou reação do mesmo à aplicação de calor. O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais que constituem a edificação é necessário para a análise do desempenho térmico, pois são os elementos construtivos que formam o envelope da construção, que é o separador físico entre o exterior e o interior dela, além de separador físico das diferentes zonas térmicas. As propriedades térmicas mais relevantes são: absorvância à radiação solar, refletância à radiação solar, transmitância à radiação solar, emissividade, condutividade térmica, resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica total, e o atraso térmico. As definições de tais propriedades e suas unidades encontram-se na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Na Tabela 37 são apresentadas as construções da edificação, bem com as principais propriedades termofísicas dos materiais. Resistência térmica e transmitância térmica são calculadas automaticamente pelo programa de simulação.

Tabela 37 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais

Ident	Construção	Material	Esp (m)	k (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.K)	U W/m <sup>2</sup> .K
A	Parede Externa 1 Tramo	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	2,866
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,115	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
B	Parede Externa 2 Estrutura	Madeira Estrutura	0,165	0,29	800	1340	1,391
C	Parede Interna 1 Tramo	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	2,279
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,115	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
D	Parede Interna 2 Estrutura	Madeira Estrutura	0,165	0,29	800	1340	1,237
E	Parede Interna 3 Tábuas	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	1,923
		Camada de ar	0,060				
		Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	
F	Parede Porão Externa	Pedra Grés	0,63	1,9	2300	745	2,078
G	Piso Térreo	Madeira do Piso	0,035	0,29	900	1340	2,563
H	Piso Porão	Solo	0,475	0,87	1360	840	1,412
I	Piso Sótão	Madeira do Piso	0,035	0,29	900	1340	1,574
		Camada de ar	0,034				
		Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	
J	Cobertura	Telha Zinco	0,0006 5	55	7800	460	2,614
K	Forro Térreo	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	1,574
		Camada de ar	0,034				
		Madeira do Piso	0,035	0,29	900	1340	
L	Frontão	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	2,325
		Camada de ar	0,135				
		Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	
M	Janelas	Vidro 3mm	0,003	1,00	2500	840	5,894
		Tampo Madeira	0,025	0,29	900	1340	4,239
N	Portas Externas	Madeira da Porta Externa	0,025	0,29	900	1340	4,239
O	Portas Internas	Madeira da Porta Interna	0,025	0,29	900	1340	

Fonte: elaborada pelo autor

Sabe-se que existem poucas informações sobre as características termofísicas dos materiais históricos. Dessa forma, foi necessário aproximar as características desses materiais tanto com as características de materiais presentes nas normas técnicas, quanto com referências de onde pudessem ser obtidos os valores a serem utilizados nas simulações.

As propriedades termofísicas de todos os elementos construtivos da edificação, bem como os valores de absorvância e emissividade dos elementos construtivos externos, foram obtidos na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Para se determinar as propriedades térmicas das paredes do porão da edificação foi necessário o conhecimento das propriedades termofísicas da pedra grés (arenito), material constituinte dessas paredes. As informações da pedra grés foram obtidas através do trabalho de Mendonça (2005) comparando com as informações presentes na norma. Os valores de absorvância e emissividade dos elementos externos da edificação são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 – Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas

<b>Tipo de Superfície</b>	<b>Absorvância (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Emissividade (<math>\varepsilon</math>)</b>
Reboco Argamassa de Cal	0,2	0,9
Madeira Estrutura	0,97	0,9
Madeira da Porta Externa	0,8	0,9
Tampo Madeira	0,8	0,9
Telha Zinco	0,25	0,25
Parede Porão (pedra grés)	0,74	0,9

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.2.3.6 Cargas Internas – Ocupação, Equipamento e Iluminação

A distribuição dos ocupantes nos ambientes segue o que foi abordado no item 3.2.4.1, distribuindo-se os ocupantes dos dormitórios uniformemente pelos demais compartimentos de permanência prolongada.

Tabela 39 – Número de ocupantes por ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Nº de ocupantes</b>
Dormitório 1	2
Dormitório 2	2
Dormitório 3	2
Dormitório 4	2
Sala	4
Sótão	4

Fonte: elaborada pelo autor

A Tabela 39 apresenta essa distribuição. Ainda de acordo com o que foi abordado no item 3.2.4.1, a modelagem deve considerar um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, sendo a ocupação do ambiente representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

As cargas internas de equipamentos e iluminação seguem o que foi estabelecido nos itens 3.2.4.2 e 3.2.4.3.

#### 4.2.3.7 Cargas Internas – Atividade e Vestimenta

A carga interna referente às atividades desempenhadas pelos ocupantes dos espaços segue as premissas estabelecidas na seção 3.2.4.4. A Tabela 40 apresenta as taxas metabólicas para os ambientes ocupados na edificação.

Tabela 40 – Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes

<b>Ambiente</b>	<b>Taxa Metabólica (W/m<sup>2</sup>)</b>
Dormitório 1	45/ocupante
Dormitório 2	45/ocupante
Dormitório 3	45/ocupante
Dormitório 4	45/ocupante
Sala	60/ocupante
Sótão	60/ocupante

Fonte: elaborada pelo autor

A vestimenta utilizada pelos ocupantes dos ambientes da edificação pode ser mensurada através do seu índice de resistência térmica, Icl. Para definir o Icl foi criado um perfil de vestimenta para cada estação do ano, considerando-se os valores estabelecidos pelas normas internacionais (ASHRAE, 2017; ISO, 2005) e o que foi abordado no item 3.2.4.4. A Tabela 41 apresenta o Icl para cada estação.

Tabela 41 – Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação

<b>Estação do Ano</b>	<b>Conjunto de Vestimenta</b>	<b>Icl (clo)</b>
Verão	Roupa de baixo; bermuda ou vestido; camiseta; sandália	0,37
Outono e Primavera	Roupa de baixo; abrigo; camiseta; calçado	0,61
Inverno	Roupa de baixo; camiseta; abrigo e moletom; meia; calçado	0,85

Fonte: elaborada pelo autor

Buscando-se uma maior aproximação com a realidade, os *schedules* dos índices de resistência térmica das vestimentas foram majorados em 25% no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e em 50% das 24h00 às 8h00, para todas as estações do ano.

#### 4.2.3.8 Infiltração de Ar

Os valores de infiltração são os anteriormente estabelecidos de 0,5 troca por hora para o período de inverno, com portas e janelas mais fechadas, um valor médio de infiltração de 0,75 troca por hora para estações intermediárias do ano e taxa de infiltração de 1,0 troca por hora para o verão, com portas e janelas mais abertas. Entretanto, sabendo-se que no período noturno as pessoas tendem a fechar as aberturas, propõe-se uma redução de 25% na taxa de infiltração no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e de 50% no período compreendido entre 24h00 e 8h00. Essa redução é proposta para todas as estações do ano.

#### 4.2.3.9 Sistema de Condicionamento do Ar

As informações do arquivo climático consideram que o dia de projeto de inverno é o dia 21 de julho, e o dia de projeto de verão é o dia 21 de dezembro.

A Tabela 42 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 2,0 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência cumulativa anual de 99,6% das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Rio Pardo (localidade cujo arquivo climático será utilizado para as simulações). Isso significa dizer que, acima da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 42 – Dia de projeto de inverno

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Inverno	2,0	2,0	0	6,71	0

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

A Tabela 43 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de verão para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 35,3 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Rio Pardo. Isso significa dizer que, abaixo da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 43 – Dia de projeto de verão

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Verão	35,3	22,5	9,8	3,35	0

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

Os dias típicos foram utilizados pelo programa de simulação para o auto dimensionamento dos equipamentos de ar-condicionado de janela, para as zonas de permanência prolongada, inclusive a cozinha.

#### **4.2.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética**

##### **4.2.4.1 Avaliação do desempenho térmico**

###### *4.2.4.1.1 Comparação do percentual de horas de desconforto pelo índice PMV*

Inicialmente foram determinadas as estratégias a serem avaliadas para a edificação em estudo de acordo com uma análise preliminar de sua aplicabilidade em função das características da edificação. As estratégias são as seguintes:

EST02 – isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira

EST03 – isolamento térmico do telhado

EST07 – isolamento térmico interno das paredes externas

EST08 – vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração

EST09 – substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade

A Tabela 44 apresenta, a partir dos valores do PMV calculado pelo programa de simulação para o modelo de referência (MOD-REF) e para os modelos representativos das estratégias a serem implementadas, a porcentagem de horas de desconforto anuais por frio, calor e totais anuais. A partir desses resultados são calculadas as diferenças apontando se houve aumento ou redução das porcentagens das horas de desconforto para frio e calor. Também é feita uma comparação com as condições de conforto apresentadas pelo PROJETEEE (2021) para a cidade onde se localiza a edificação, com os valores obtidos pela simulação.

Tabela 44 – Porcentagem de horas de desconforto em função dos valores do PMV simulados

Modelo	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)	Frio	Calor	Horas de Desconforto Anual (%)
				Diferença (%)		
MOD-REF	60,5	15,8	23,7			84,2
MOD-EST02	54,5	16,9	28,6	-9,9	+20,7	83,1
MOD-EST03	57,9	16,8	25,3	-4,3	+6,8	83,2
MOD-EST07	61,5	16,7	21,8	1,7	-8,0	83,3
MOD-EST08	51,0	16,6	32,4	-15,7	+36,7	83,4
MOD-EST09	63,0	15,6	21,4	4,1	-9,7	84,4
PROJETEEE	58,0	26,0	16,0	-4,1	-32,5	74,0

Favorável
  Intermediário
  Desfavorável

Fonte: elaborada pelo autor

A análise dos resultados apresentados permite observar que os valores calculados para o modelo de referência aproximam-se dos valores de referência para a cidade fornecidos pelo PROJETEEE (2021) no que tange ao desconforto por frio. Já os valores de desconforto por calor e conforto térmico invertem-se quando se comparam os dados. Uma explicação para essa diferença pode estar na classe para o conforto térmico adotado para o PMV. Conforme a norma ISO 7730 (ISO, 2005) a classe adotada foi a B, com um percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) menor do que 10%. Se a classe adotada fosse a classe C, que permite um maior relaxamento dos padrões de conforto, os resultados poderiam ficar mais próximos daqueles estabelecidos para a cidade.

Considerando-se separadamente as horas de desconforto para frio e calor, a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) reduz em 15,7% as horas de desconforto por frio, mas em contrapartida aumenta em 36,7% as horas

de desconforto por calor o que justifica uma pequena redução nas horas de desconforto anuais totais. Comportamento similar tem a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) que diminui o desconforto por frio em 9,9%, mas aumenta o desconforto por calor em 20,7%. Dentre todas as estratégias é a que tem maior redução nas horas de desconforto anuais totais. As estratégias de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) diminuem o desconforto por calor em 9,7% e 8,0% respectivamente, mas aumentam o desconforto por frio, sendo que essa última é uma das estratégias com maior redução nas horas de desconforto anuais totais. No caso do vidro duplo, isto se explica pelo baixo fator solar que impede a entrada de radiação solar no inverno. Neste quesito, ainda pode-se destacar a estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) que tem a segunda maior redução.

Levando-se em consideração as principais estratégias bioclimáticas, recomendadas para a cidade onde está localizada a edificação em estudo (PROJETEEE, 2021), a inércia térmica para aquecimento aparece como a principal recomendação, sendo sua maior aplicabilidade para o desconforto por frio no inverno, outono e primavera, em mais de 50% das horas. A estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) é uma das que se enquadra nesse perfil, sendo a estratégia que produz maior redução na porcentagem de horas de desconforto por frio e conseqüentemente na redução de horas de desconforto anuais totais.

#### 4.2.4.1.2 Considerações sobre orientação solar

Na comparação dos resultados obtidos na simulação do PMV para as condições de conforto do modelo de referência, considerando-se a edificação e depois girando o modelo 90°, 180° e 270°, através de uma parametrização das simulações, observa-se que não há alteração significativa nos valores, ou seja, não há variação significativa no PMV para as quatro orientações. A parametrização permite a otimização da escolha da orientação para a simulação da edificação. A Tabela 45 apresenta, para cada orientação, as porcentagens de horas de desconforto por frio e calor e a porcentagem das horas de conforto da edificação.

Tabela 45 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações

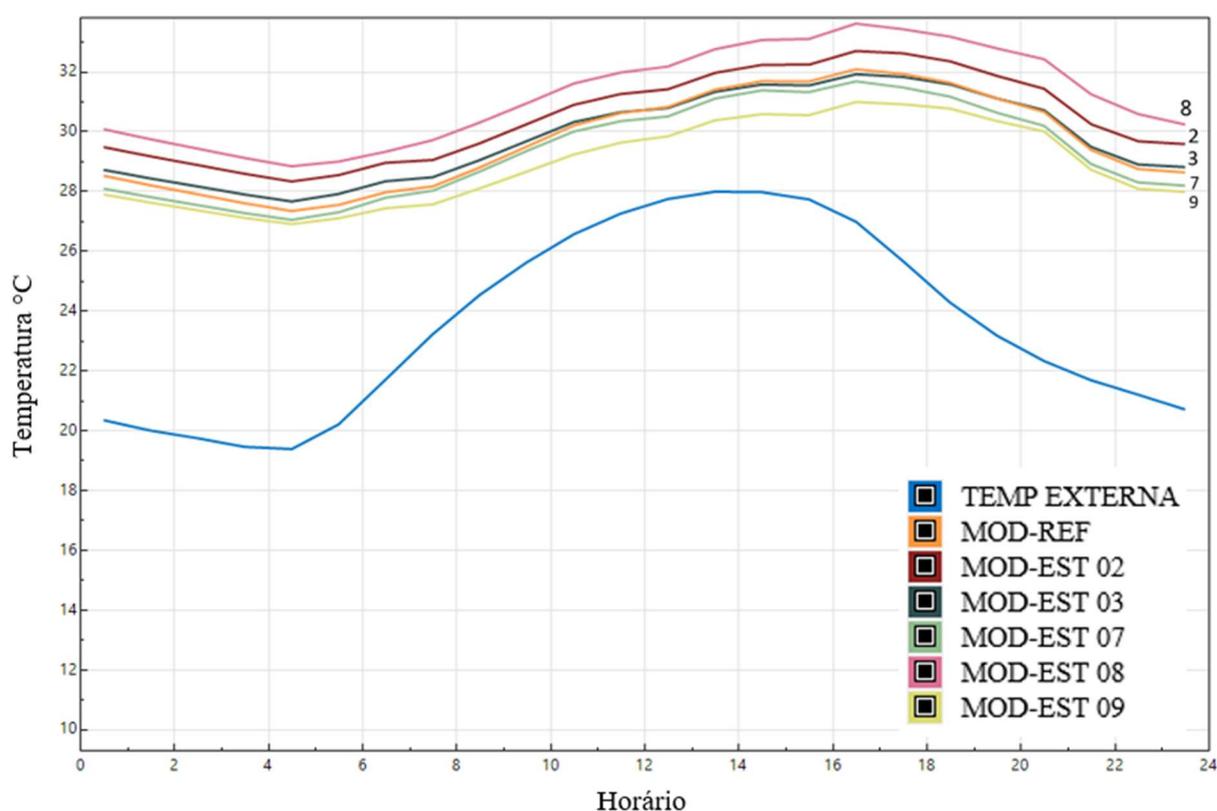
<b>Condição de Conforto</b>	<b>Desvio 0° (%)</b>	<b>Desvio 90° (%)</b>	<b>Desvio 180° (%)</b>	<b>Desvio 270° (%)</b>
Frio	60,5	61,2	61,1	61,0
Conforto	15,8	15,6	15,5	15,7
Calor	23,7	23,3	23,4	23,3

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.2.4.1.3 Considerações sobre temperaturas nas zonas térmicas

Para uma melhor avaliação do desempenho térmico da edificação, outra análise a ser realizada é das temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna, no caso a sala, e outra de permanência prolongada noturna, no caso um dos dormitórios. São apresentadas as temperaturas médias diárias, para janeiro (período quente) e depois junho (período frio). Essa análise comparativa é feita para o modelo de referência e para os modelos das demais estratégias a serem implementadas na edificação. A Figura 70 apresenta as temperaturas para a zona Z03-SAL (zona de permanência prolongada diurna) para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 70 – Temperatura média diária para janeiro na sala



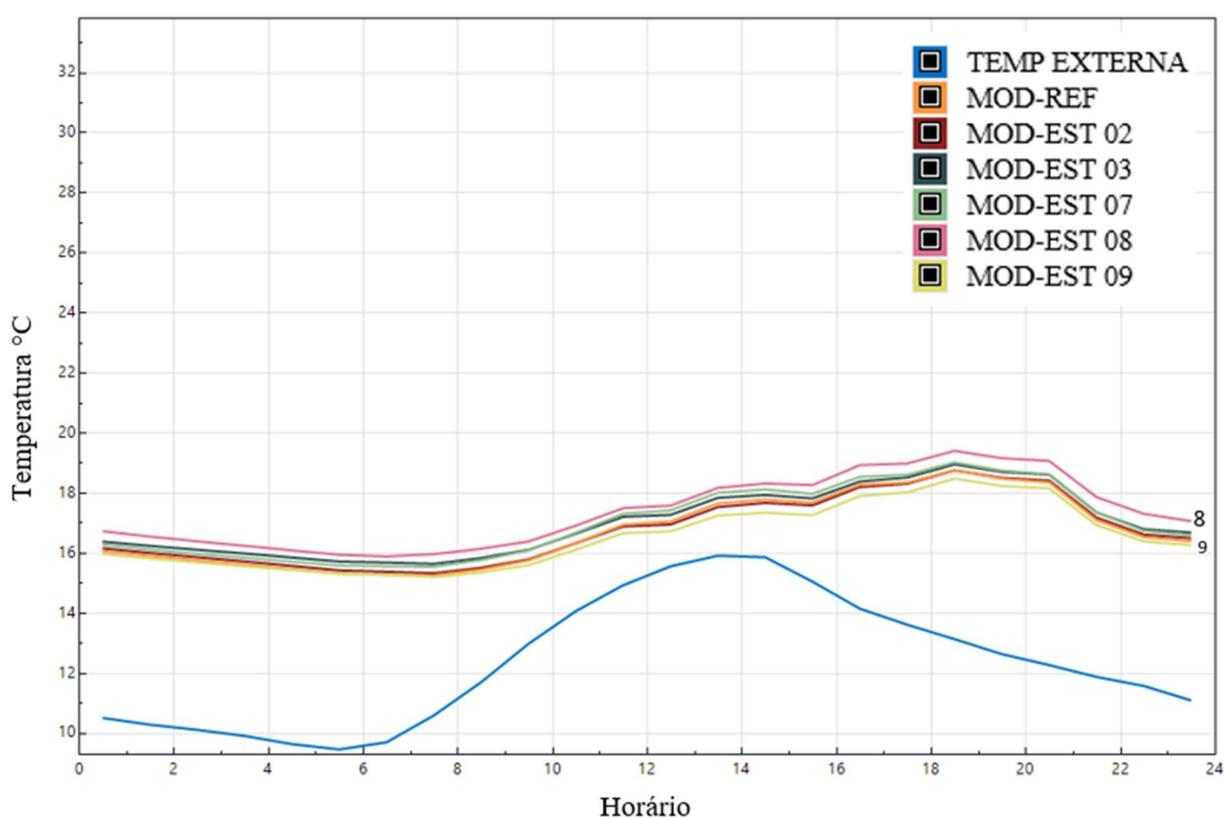
Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro na sala, constata-se que as temperaturas internas são muito elevadas tanto para o modelo de referência quanto para os modelos das estratégias. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que tem as temperaturas mais altas, seguida de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e isolamento térmico do telhado (EST 03). Essas três estratégias têm as temperaturas mais altas comparando-se com as

temperaturas do modelo de referência. A estratégia de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) tem as temperaturas um pouco abaixo do modelo de referência e a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) a que tem as temperaturas mais baixas, mesmo assim muito altas em comparação com as temperaturas externas, mesmo no período noturno.

A Figura 71 apresenta as temperaturas para a zona Z03-SAL para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 71 – Temperatura média diária para junho na sala

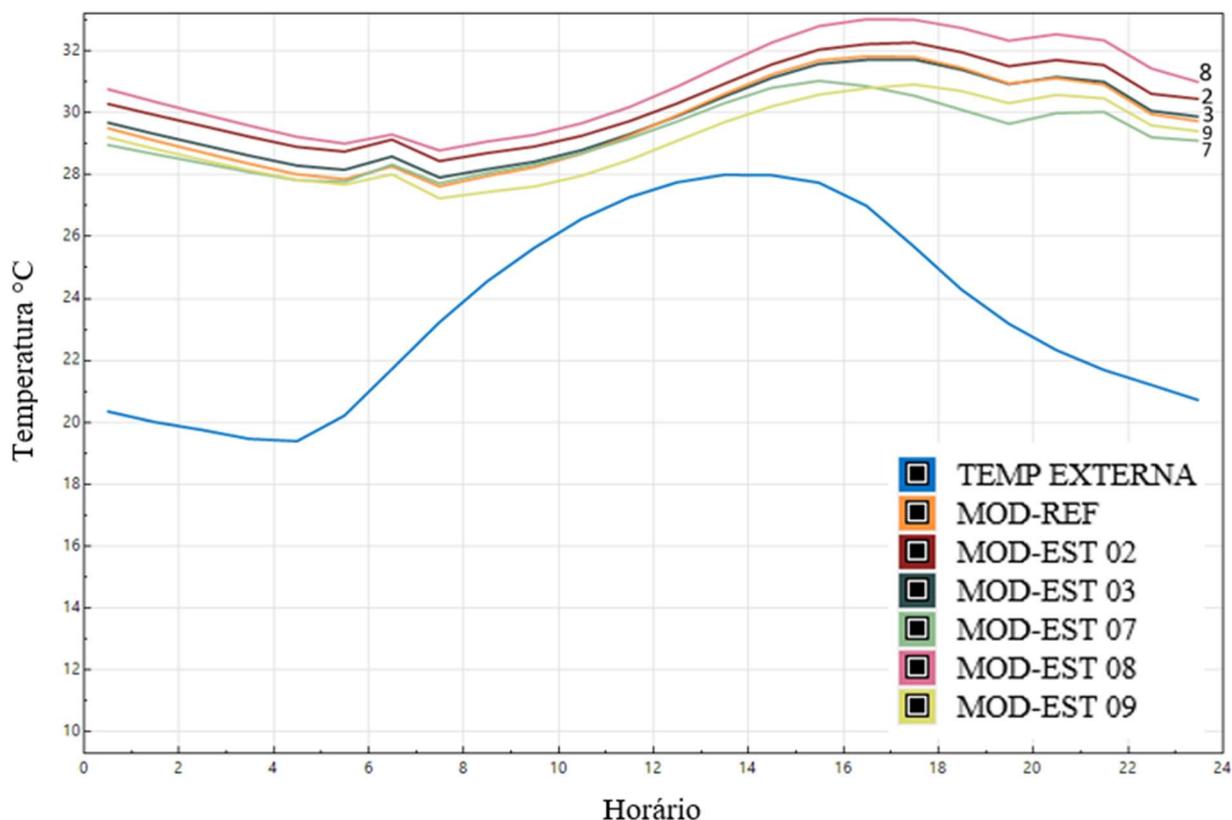


Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho na sala, vê-se que há um comportamento similar em relação às temperaturas do modelo de referência e das diferentes estratégias com uma variação em torno de 1°C. Neste período, a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que apresenta melhor comportamento, aumentando a temperatura durante todo o dia, sobremaneira no período noturno. Já a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) é a que apresenta pior desempenho, mantendo as temperaturas sempre mais baixas durante todo o dia, ainda assim mais altas que as temperaturas externas.

A Figura 72 apresenta as temperaturas para a zona Z02-DO2 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 72 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 2

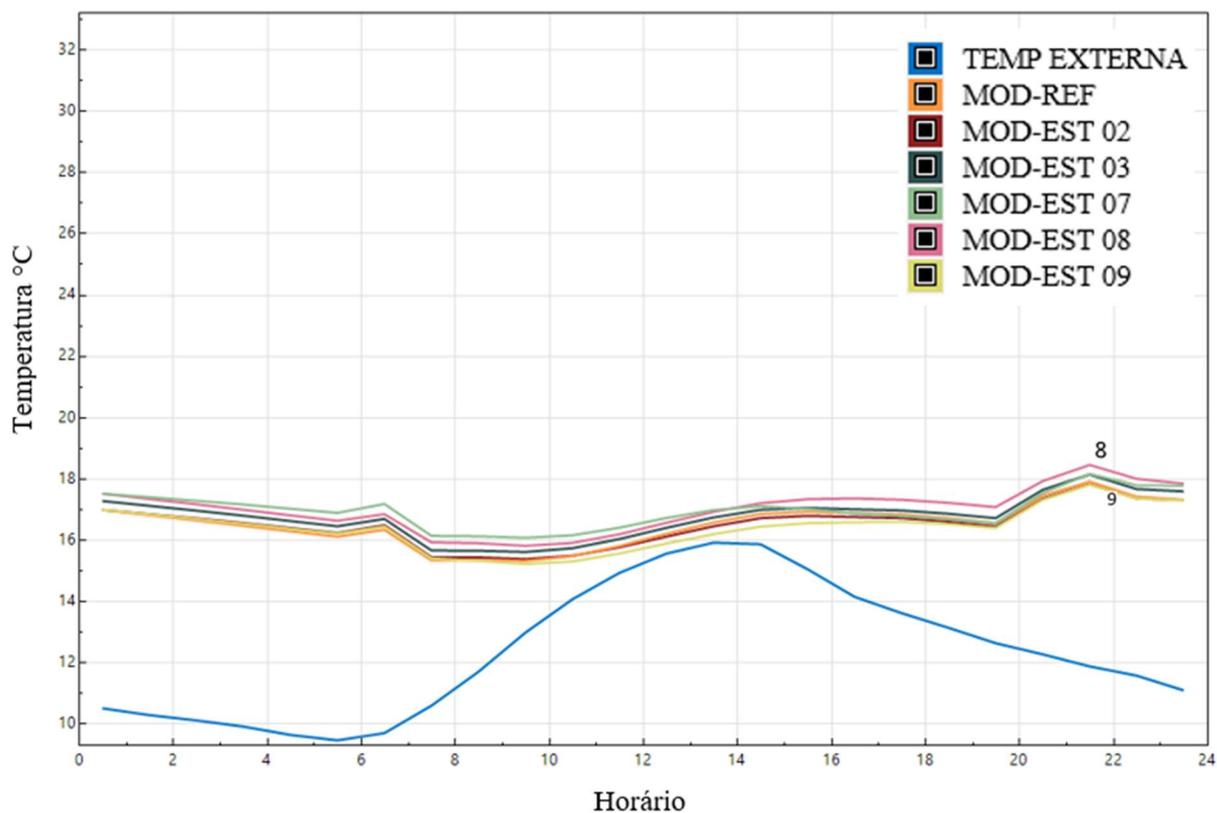


Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro no dormitório 2, observa-se que tanto as temperaturas do modelo de referência quanto das estratégias têm temperaturas internas muito altas, com uma variação de no máximo 3° C, mesmo no período noturno. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que tem as temperaturas mais altas, seguida de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e isolamento térmico do telhado (EST 03). Essas três estratégias têm as temperaturas mais altas comparando-se com as temperaturas do modelo de referência. A estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) fica com as temperaturas um pouco abaixo do modelo de referência e a de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) é a que tem as temperaturas mais baixas, mesmo assim muito altas em comparação com as temperaturas externas, mesmo no período noturno.

A Figura 73 apresenta as temperaturas para a zona Z02-DO2 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 73 – Temperatura média diária para junho no dormitório 2



Fonte: elaborada pelo autor

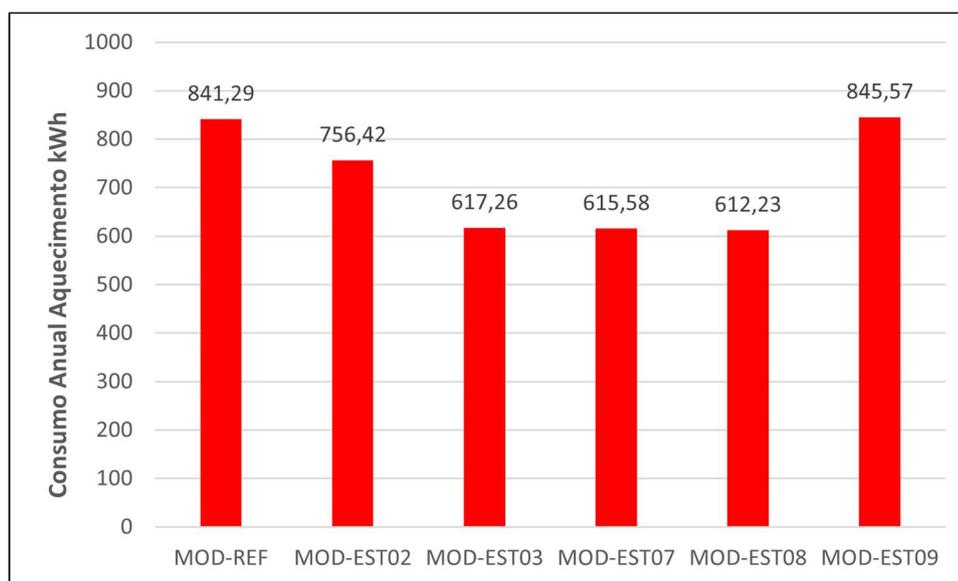
No período frio, comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho no dormitório 2, tem-se um comportamento similar em relação às temperaturas da sala, com uma variação em torno de 1°C. Nesta época do ano, a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que apresenta melhor comportamento, aumentando a temperatura durante todo o dia, sobremaneira no período noturno. Já a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) é a que apresenta pior desempenho, mantendo as temperaturas sempre mais baixas durante todo o dia, ainda assim mais altas que as temperaturas externas. Como já dito anteriormente, o baixo fator solar do vidro duplo explica isso, já que impede a entrada de radiação solar no inverno.

#### 4.2.4.2 Avaliação da eficiência energética

A avaliação da eficiência energética é feita através da comparação do consumo de energia elétrica anual de um sistema de ar-condicionado auto dimensionado pelo programa de simulação, para buscar o conforto térmico da edificação. Essa comparação é feita através da simulação do consumo de energia anual para resfriamento e aquecimento, do modelo de

referência e dos modelos propostos para cada estratégia. As Figuras 74, 75 e 76 apresentam três gráficos desse consumo de energia: o primeiro apresenta o consumo energético para o aquecimento dos ambientes, o segundo para o resfriamento e o terceiro o consumo total para condicionamento de ar da edificação.

Figura 74 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento



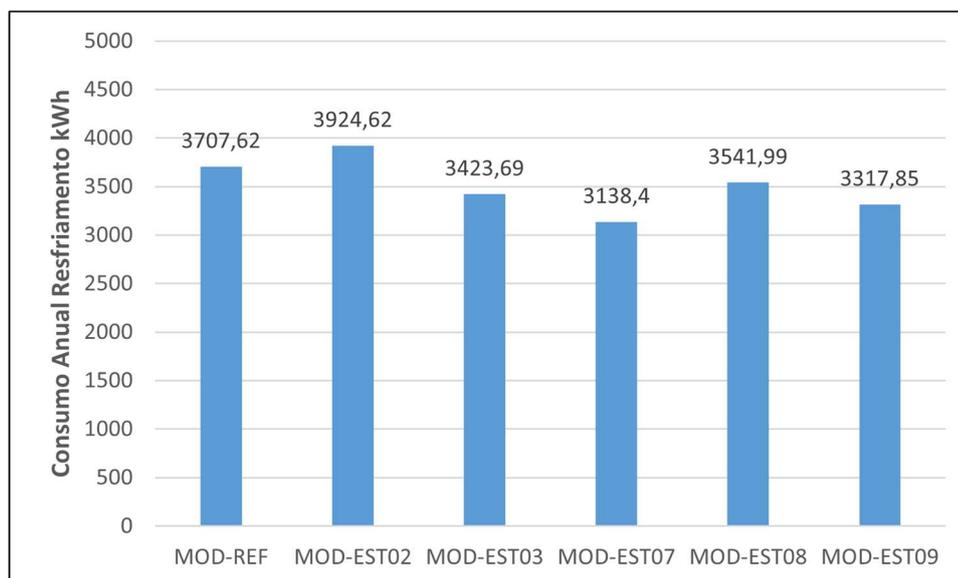
Fonte: elaborada pelo autor

Quando se analisa o consumo de energia anual para aquecimento (Figura 74) das diferentes estratégias em comparação como modelo de referência, vê-se que a estratégia mais eficiente é a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08), com valores muito próximos da estratégia de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) e da estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03), as três com uma redução anual em torno de 27%. Redução significativa também traz a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), com uma redução de 10,09% no consumo. A estratégia com pior desempenho nesse quesito é a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) que aumenta o consumo anual com aquecimento em 0,51%.

Quando se analisa o consumo de energia anual para resfriamento (Figura 75), para as diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência, vê-se que as estratégias mais eficientes são o isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), com uma redução anual no consumo de 15,35%, a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09), com redução de 10,51% no consumo e o isolamento térmico do telhado (EST 03), com uma redução de 7,66%. Ainda pode-se destacar a vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) que reduz o consumo anual para resfriamento em

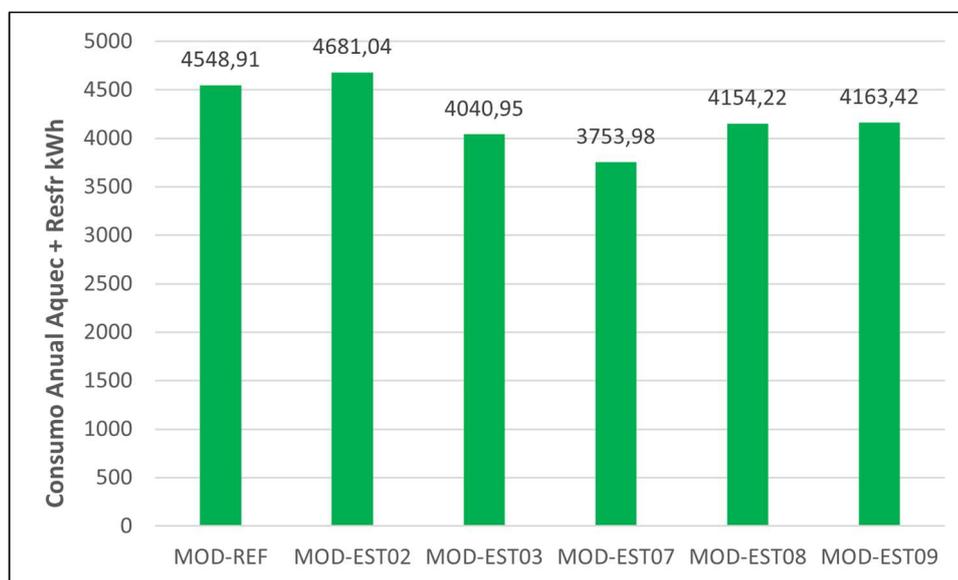
4,47%. A estratégia com pior desempenho é o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), que aumenta o consumo em 5,85%.

Figura 75 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 76 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

Quando se compara o consumo anual de energia total (aquecimento e resfriamento) do modelo de referência com os modelos das diferentes estratégias (Figura 76), as estratégias com maior eficiência são o isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), com redução no consumo anual de 17,48% e o isolamento térmico do telhado (EST 03), que reduz o consumo em 11,17%. As estratégias de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de

infiltração (EST 08) e substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) também reduzem o consumo de energia anual em torno de 8,50%. A estratégia com pior desempenho é o isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), que aumenta o consumo em 2,90%.

#### 4.2.4.3 Considerações sobre desempenho térmico e eficiência energética

A partir da análise dos resultados apresentados pode-se identificar quais as estratégias mais adequadas para a melhoria do desempenho térmico da edificação. Levando-se em consideração os resultados obtidos para conforto, as estratégias de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), de isolamento térmico do telhado (EST 03), de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) e de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) são as que apresentaram melhor desempenho anual em comparação com o modelo de referência, mesmo que a redução de horas de desconforto tenha sido pequena. A estratégia com menor desempenho é a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09), mesmo que o aumento em relação às horas anuais de desconforto tenha sido pequeno em relação ao modelo de referência.

Quando são analisadas as temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna no verão (janeiro), as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) são as que mantêm as temperaturas mais baixas, mesmo assim muito altas em comparação com as temperaturas externas. Nessa mesma zona, porém no período de inverno (junho), a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que apresenta melhor desempenho.

Ao se analisar a temperatura em uma zona de permanência prolongada noturna no período de verão (janeiro), vê-se que as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) são as que apresentam melhor desempenho, mesmo assim muito altas em comparação com as temperaturas externas. Nesse mesmo ambiente, no período de inverno (junho), a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que apresenta melhor desempenho, mesmo que as diferenças entre as temperaturas das diferentes estratégias seja muito pequena.

Em relação à eficiência energética, a Tabela 46, apresenta o percentual de redução (ou aumento) do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e total para cada estratégia em relação ao modelo de referência.

Tabela 46 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem

<b>Modelo</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Resfriamento</b>	<b>Total</b>
MOD-EST02	-10,09	+5,85	+2,90
MOD-EST03	-26,63	-7,66	-11,17
MOD-EST07	-26,83	-15,35	-17,48
MOD-EST08	-27,23	-4,47	-8,68
MOD-EST09	+0,51	-10,51	-8,47

Fonte: elaborada pelo autor

Neste quesito, as estratégias de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) e isolamento térmico do telhado (EST 03) são as que apresentam melhor eficiência energética em todas as situações de consumo de energia anual, ou seja, para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização.

No Quadro 7 são apresentadas as estratégias com melhor desempenho térmico e eficiência energética.

Quadro 7 – Estratégias com melhor desempenho para edificação representativa da arquitetura teuto-brasileira

	<b>Conforto térmico</b>	<b>Temp. diurna verão</b>	<b>Temp. diurna inverno</b>	<b>Temp. noturna verão</b>	<b>Temp. noturna inverno</b>	<b>Eficiência energética</b>
Estratégia	EST 02	EST 09	EST 08	EST 07	EST 08	EST 07
	EST 03	EST 07		EST 09		EST 03
	EST 07					EST 08

Fonte: elaborado pelo autor

A partir dos resultados apresentados vê-se que há uma predominância da estratégia EST 07 que aparece como umas das melhores na maioria dos quesitos analisados, com bom desempenho térmico, quando se analisa temperaturas nas zonas térmicas, e é a melhor em eficiência energética. Na sequência, vêm as estratégias EST 02, EST 03, EST 08 e EST 09 que também têm bom desempenho térmico ou eficiência. Como abordado anteriormente, as

avaliações que consideraram as horas de desconforto pelo cálculo do índice PMV e as temperaturas em zonas de permanência prolongada diurna e noturna serviram para demonstrar aquelas estratégias com melhor desempenho, além de contribuir para a validação e calibragem dos modelos. Entretanto, em função da sensibilidade dos modelos de simulação, as diferenças foram muito pequenas tanto nas horas de desconforto quanto nas temperaturas. Desta forma, para a ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa foram considerados apenas os resultados advindos da avaliação de eficiência energética, cujos valores são muito significativos.

#### 4.2.5 Avaliação Qualitativa

Tabela 47 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério

Critérios	Estratégias									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autenticidade	2,76	3,59	3,59	3,41	1,53	2,53	1,82	3,47	2,59	3,18
Imagem	3,65	4,41	4,18	3,71	1,71	2,82	1,94	3,71	3,59	3,24
Reversibilidade	2,12	4,06	4,00	3,29	1,71	2,82	2,59	3,35	2,94	3,71
Média	<b>2,84</b>	<b>4,02</b>	<b>3,92</b>	<b>3,47</b>	<b>1,65</b>	<b>2,73</b>	<b>2,12</b>	<b>3,51</b>	<b>3,04</b>	<b>3,37</b>
Compatibilidade										
Risco de danos	2,65	3,53	3,59	3,59	2,35	2,65	2,76	3,29	3,29	3,47
Funcionalidade	3,94	4,41	4,35	4,00	3,12	3,18	3,35	4,24	4,18	3,94
Viabilidade	3,12	4,29	4,29	3,76	2,35	2,94	2,65	3,76	3,71	3,76
Média Técnico	<b>3,24</b>	<b>4,08</b>	<b>4,08</b>	<b>3,78</b>	<b>2,61</b>	<b>2,92</b>	<b>2,92</b>	<b>3,76</b>	<b>3,73</b>	<b>3,73</b>
Funcionais										
<b>Média Ponderada</b>	<b>2,97</b>	<b>4,04</b>	<b>3,97</b>	<b>3,58</b>	<b>1,97</b>	<b>2,79</b>	<b>2,39</b>	<b>3,59</b>	<b>3,27</b>	<b>3,49</b>

Fonte: elaborada pelo autor

Conforme estabelecido anteriormente no item 3.4.2.1 a avaliação qualitativa é realizada a partir do resultado da aplicação de questionários a profissionais com atuação na área de patrimônio e afins. As pontuações referentes aos aspectos e critérios, para cada estudo de caso, estão no Apêndice B. A Tabela 47 apresenta as pontuações e as médias ponderadas para cada critério avaliado.

Analisando-se os resultados pode-se observar que todos os aspectos técnico-funcionais das estratégias recebem maior pontuação do que os aspectos de compatibilidade patrimonial. Ou seja, conforme as respostas, questões técnico-funcionais têm menos impacto do que

questões de compatibilidade em relação ao patrimônio. Considerando-se a média ponderada, as estratégias mais adequadas de acordo com as respostas são as de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), de isolamento térmico do telhado (EST 03), de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de isolamento térmico do forro (EST 04), apesar que essa última não foi avaliada quantitativamente para o estudo de caso em tela. Todas essas estratégias têm pontuação com impacto entre médio baixo e muito baixo conforme a Tabela 16 do item 3.4.2.1. As estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), essa última não aplicável ao estudo de caso, vêm na sequência com pontuação de impacto médio a médio baixo. As demais estratégias ficam em uma faixa de impacto médio alto. Os valores da média ponderada foram considerados como a pontuação de preservação de cada estratégia.

#### 4.2.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa

Ao se realizar uma avaliação integrada dos resultados obtidos a partir das avaliações quantitativa, referente a desempenho térmico e eficiência energética, e qualitativa, relativa ao impacto das estratégias de requalificação em relação aos atributos do patrimônio, pode-se estabelecer alguns parâmetros para o estudo de caso: porcentagem de horas de desconforto; pontuação de preservação; consumo energético anual para climatização (aquecimento e resfriamento); diferença do consumo energético anual total para climatização.

Tabela 48 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas

<b>Estratégias de intervenção</b>	<b>Horas de desconforto (%)</b>	<b>Pontuação de preservação</b>	<b>Consumo energético anual (KWh/ano)</b>	<b>Consumo energético diferença anual (%)</b>
MOD-REF	84,2	-	4548,91	-
MOD-EST 02	83,1	4,04	4681,04	+2,90
MOD-EST 03	83,2	3,97	4040,95	-11,17
MOD-EST 07	83,3	2,39	3753,98	-17,48
MOD-EST 08	83,4	3,59	4154,22	-8,68
MOD-EST 09	84,4	3,27	4163,42	-8,47

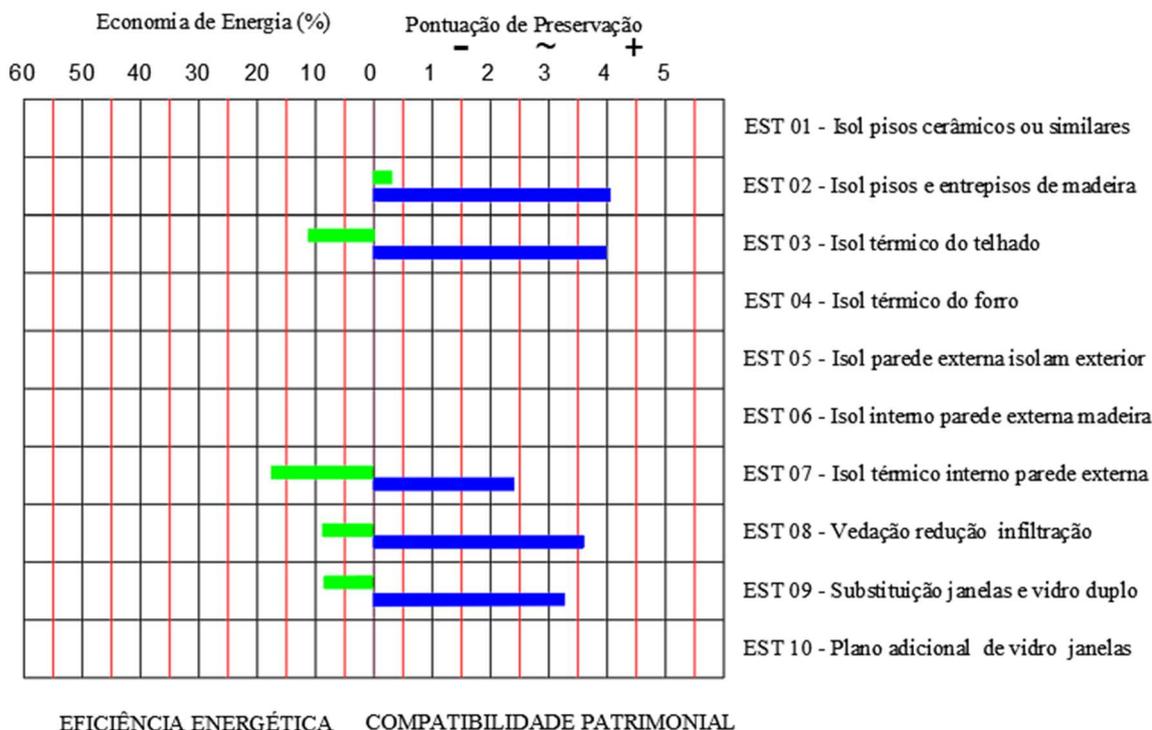
Fonte: elaborada pelo autor

Desta forma, a escolha das melhores estratégias de intervenção ocorre a partir do balanceamento desses parâmetros: redução do consumo energético, melhoria do desempenho térmico e compatibilidade em relação aos atributos de preservação. A Tabela 48 apresenta os parâmetros para as estratégias aplicáveis ao estudo de caso em tela.

A partir dessa compilação, em função da pequena variação das horas de desconforto, conforme abordado anteriormente, opta-se como parâmetros, para a ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, os valores referentes à economia de energia das diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência e a pontuação de preservação, respectivamente.

Na Figura 77 tem-se a apresentação gráfica dos resultados da economia de energia, referente à avaliação quantitativa, e da pontuação de preservação, referente à avaliação qualitativa, das diferentes estratégias, numa análise similar a estabelecida por Grünewald, Will e Pohl (2010). Destaca-se que são apresentadas apenas as estratégias que foram avaliadas para o estudo de caso.

Figura 77 – Economia de energia e pontuação de preservação

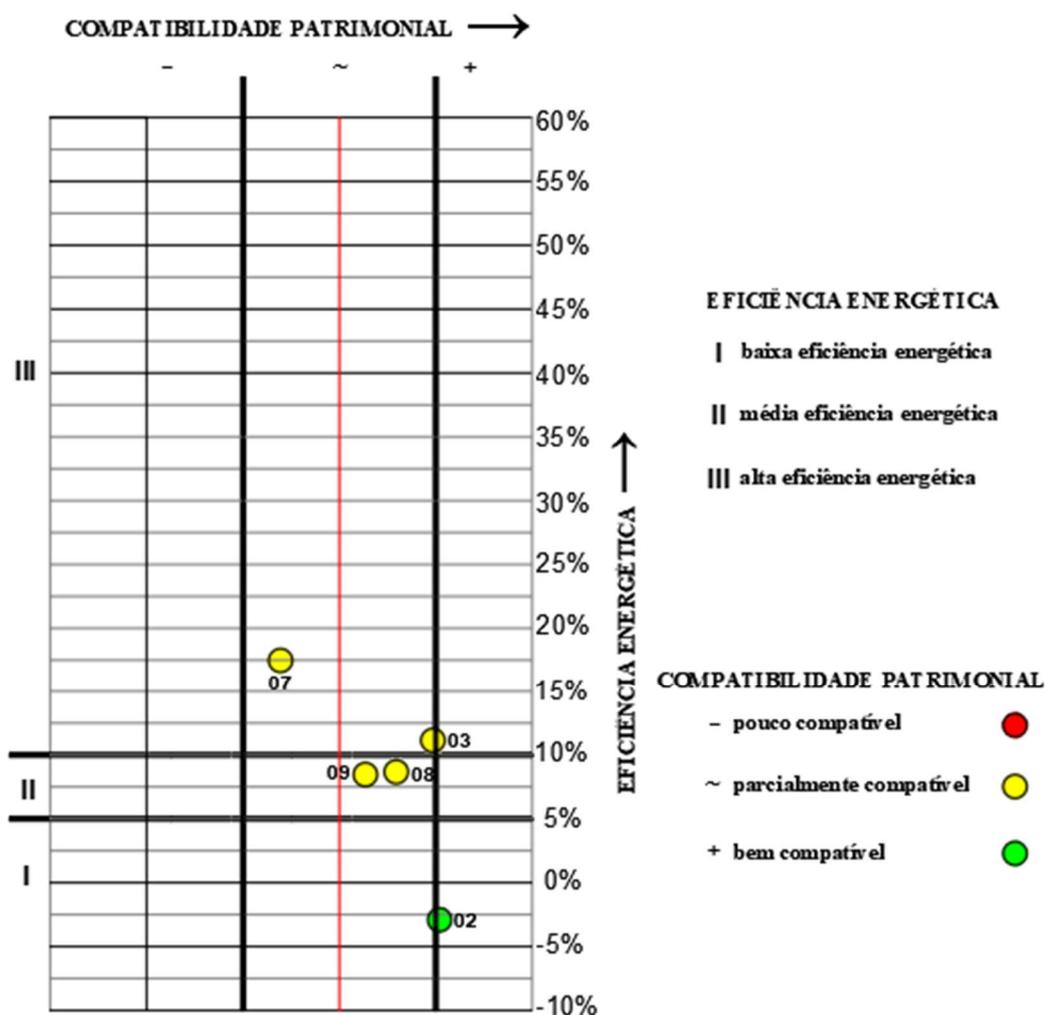


Fonte: elaborada pelo autor

A apresentação integrada dos parâmetros é realizada a partir de uma matriz de avaliação onde são contabilizados e comparados os resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, estabelecendo escalas de maior ou menor eficiência e maior ou menor compatibilidade

patrimonial para cada estratégia avaliada. Essa matriz tem como referência a apresentação dos resultados das pesquisas de Japiassú (2019) e Grünewald, Will e Pohl (2010). No eixo das ordenadas tem-se a eficiência energética em porcentagem de economia de energia e no eixo das abscissas a pontuação de preservação. Dessa forma, as estratégias podem ser plotadas em forma de círculos na matriz em função desses dois valores. Para representar o grau de compatibilidade das diferentes estratégias em relação às questões patrimoniais são aplicadas cores aos círculos conforme legenda. A matriz também estabelece zonas com o grau de compatibilidade em relação ao patrimônio e o nível de eficiência energética. A Figura 78 mostra a apresentação dos resultados na matriz.

Figura 78 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa



Fonte: elaborada pelo autor

A partir da visualização desses resultados pode-se constatar que para a edificação estudo de caso, representativa da arquitetura de imigração teuto-brasileira, as estratégias mais recomendáveis, ou seja, aquelas que têm maior eficiência energética e maior compatibilidade

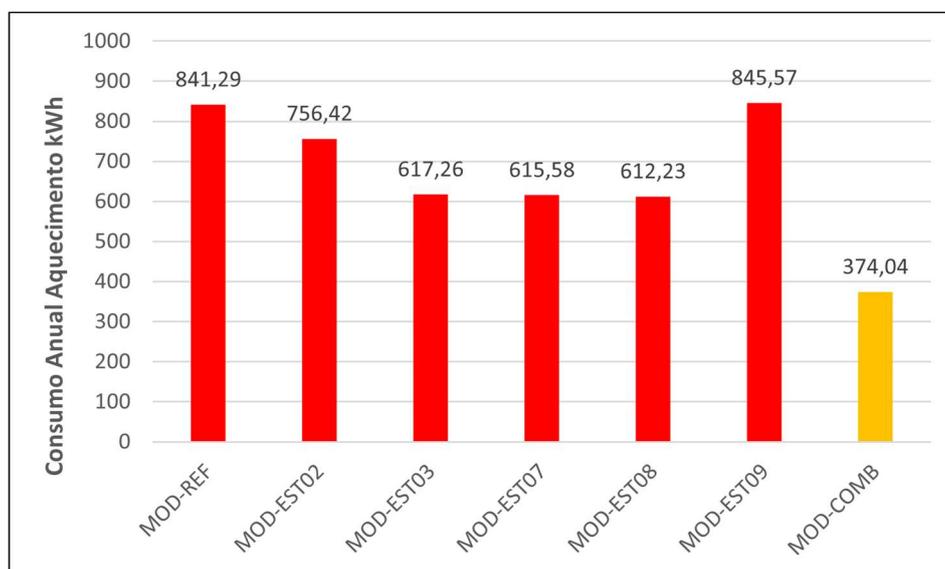
patrimonial são o isolamento térmico do telhado (EST 03), com razoável eficiência energética e boa compatibilidade e o isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) que tem boa eficiência energética e compatibilidade parcial. As estratégias de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) têm compatibilidade patrimonial razoável, porém média eficiência energética. A estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) apresenta-se bem compatível em relação ao patrimônio, entretanto tem baixíssima eficiência energética.

#### 4.2.7 Combinação de estratégias

Finalizando as avaliações para o estudo de caso, foi simulado um modelo combinando as medidas mais recomendáveis, ou seja, que melhor atendem aos critérios de eficiência energética e de compatibilidade patrimonial. Dessa forma, será simulado um modelo que combine as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07). Apenas a eficiência energética do modelo será avaliada nessa combinação de medidas. A estratégia que combina as medidas supracitadas será chamada de EST-COMB.

As Figuras 79, 80 e 81 apresentam os gráficos comparativos do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização do modelo de referência, do modelo das estratégias e do modelo da combinação das estratégias mais eficientes e mais compatíveis com o patrimônio.

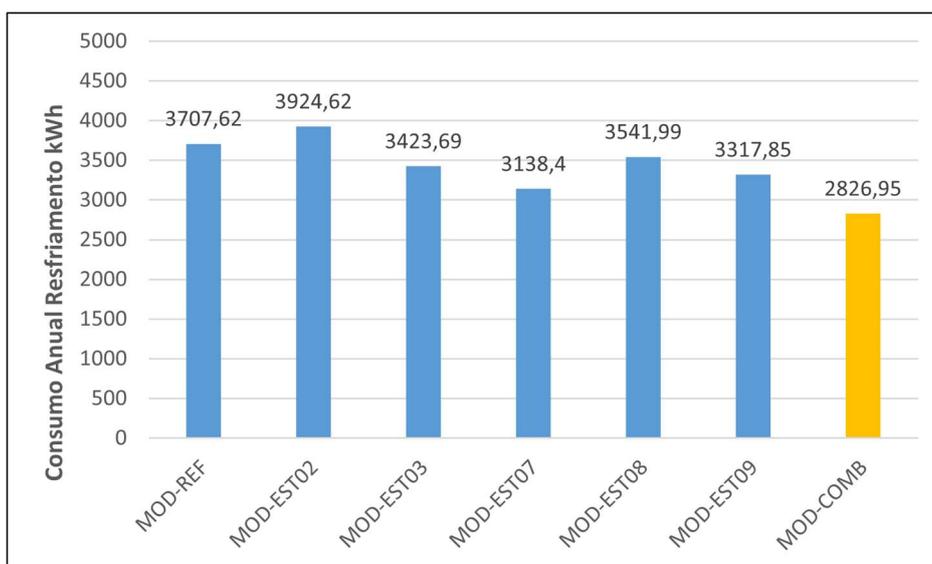
Figura 79 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

Na comparação dos resultados, o modelo combinando as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) reduz o consumo de energia anual para aquecimento em 55,54%, em relação ao modelo de referência, uma razoável redução, mesmo considerando-se que o consumo anual seja muito baixo

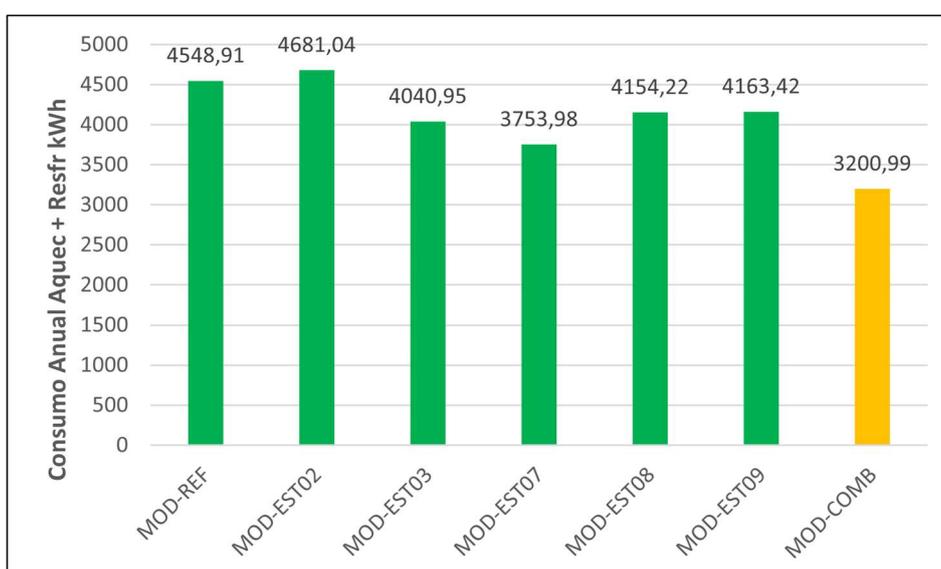
Figura 80 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento



Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se os resultados, o modelo combinando as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) reduz o consumo de energia anual para resfriamento em 23,75%, em relação ao modelo de referência, uma redução razoável.

Figura 81 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

No comparativo dos resultados, o modelo combinando as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) reduz o consumo de energia anual total para climatização em 29,63%, em relação ao modelo de referência.

Para finalizar, pode-se perceber a significativa eficiência energética dessa combinação de estratégias, ressaltando-se que também são as mais compatíveis com relação ao patrimônio para o estudo de caso em tela.

### 4.3 CASA DA NENI – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

#### 4.3.1 Caracterização geral da Edificação

A Casa da Neni (Casa Antônio Bocchese) localiza-se no município de Antônio Prado/RS, latitude 28,857931S e longitude 51,283668W (Figura 82).

Figura 82 – Imagem de satélite da área central de Antônio Prado com localização da edificação



Fonte: adaptado de Google Earth Pro pelo autor

Com área construída de aproximadamente 212,00 m<sup>2</sup>, é um exemplar de arquitetura em madeira, construído na região de imigração italiana. Conforme afirma Rech (2016) a edificação caracteriza-se formalmente como um chalé (Chalé Internacional), com relação entre altura e largura de aproximadamente 1x1. Segundo (REIS FILHO, 2014):

No Brasil o chalé representou um esquema de residência com características românticas que recordava a moradia rural montanhosa europeia, mesmo que com algumas variações que incluíam o uso frequente da madeira, tijolos a vista, elementos de ferro fundido como colunas, cercas, sacadas e venezianas (REIS FILHO, 2014 p. 158-159).

De acordo com a autora, essa descrição se aplica perfeitamente à edificação em tela, inclusive no que tange aos elementos decorativos do “frontão” principal, associado a uma porta com balcão em arco e quanto à composição dos acabamentos dos beirais em forma de triângulo. Também cita, como outro elemento característico, o mastro torneado disposto na cumeeira e extremidades do telhado (RECH, 2016) (Figura 83).

Figura 83 – Casa da Neni (Casa Antônio Bocchese)



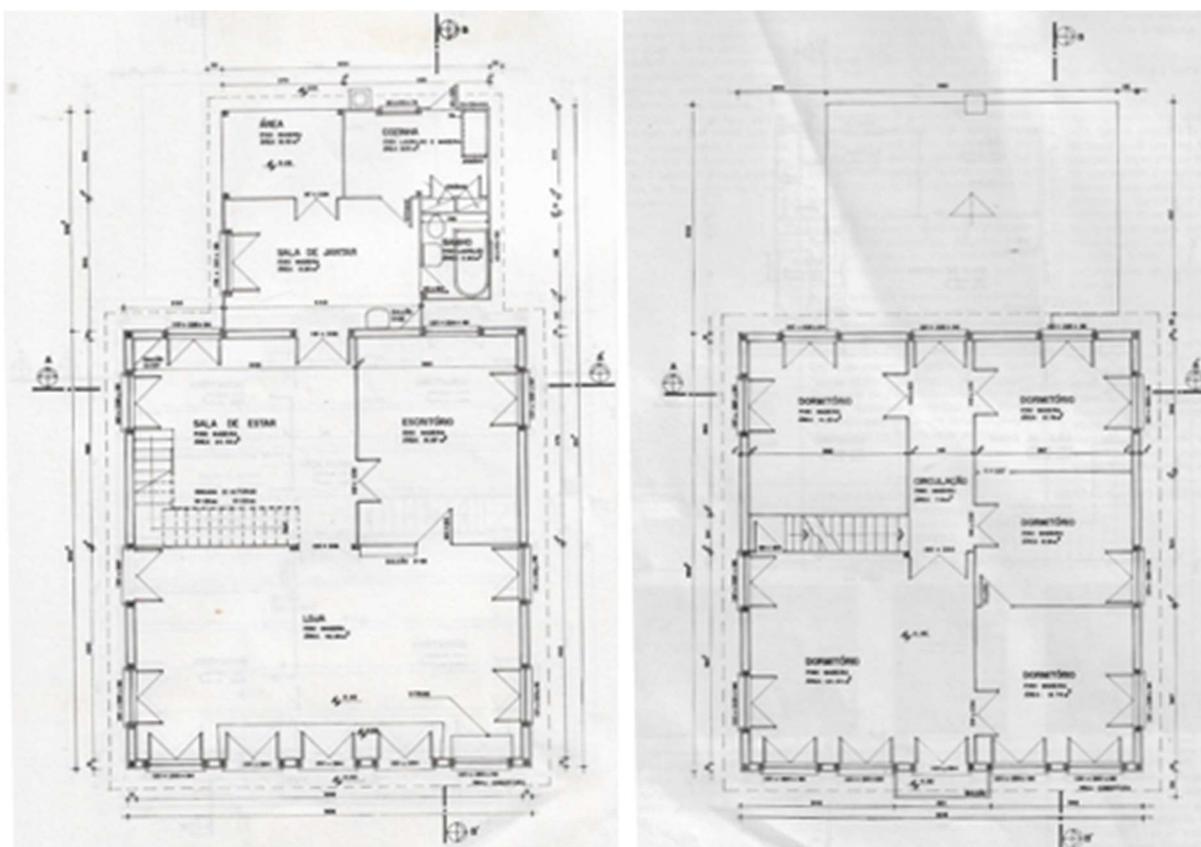
Fonte: <https://museupadreschio.wixsite.com/antonioprado/sobre>

Casa urbana de dois pavimentos com estrutura autônoma de madeira, rica em trabalhos singelos em serra-fita, especialmente lambrequins ou sianinhas. Apresenta paredes duplas em madeira e as esquadrias da fachada possuem bandeiras em arco pleno e por vezes almofadas. O segundo pavimento apresenta um balcão central com guarda-corpo com trabalhos de serralheria. O frontão, além da decoração com lambrequins, é o único na cidade que ainda possui detalhes executados em madeira torneada. A cobertura em duas águas foi feita com telhas de zinco (chapa de ferro galvanizada) (LUZ; CESA FILHO; WAQUIL, 1989). A

construção ocorreu no período do apogeu da exploração da madeira proveniente das araucárias na serra do Rio Grande do Sul, árvores conhecidas como “pinheiro brasileiro”.

No pavimento térreo, na parte frontal da edificação, o proprietário instalou seu negócio e, posteriormente, a família manteve um comércio que funcionou até 1979. Esse piso também abrigava a sala de estar e um escritório. Em 1915, na parte posterior da edificação, foi construído um anexo para abrigar a copa, a cozinha e uma pequena varanda, já que anteriormente o banheiro e a cozinha funcionavam separados da casa, em construções isoladas no meio do lote, de acordo com o costume da época. A configuração original da casa também contemplava, no pavimento superior, cinco dormitórios. A partir do dormitório principal (frontal e com área maior) tem-se acesso ao sótão que ocupa todo o espaço do telhado (Figuras 84, 85 e 86).

Figura 84 – Plantas baixas do térreo e segundo pavimento

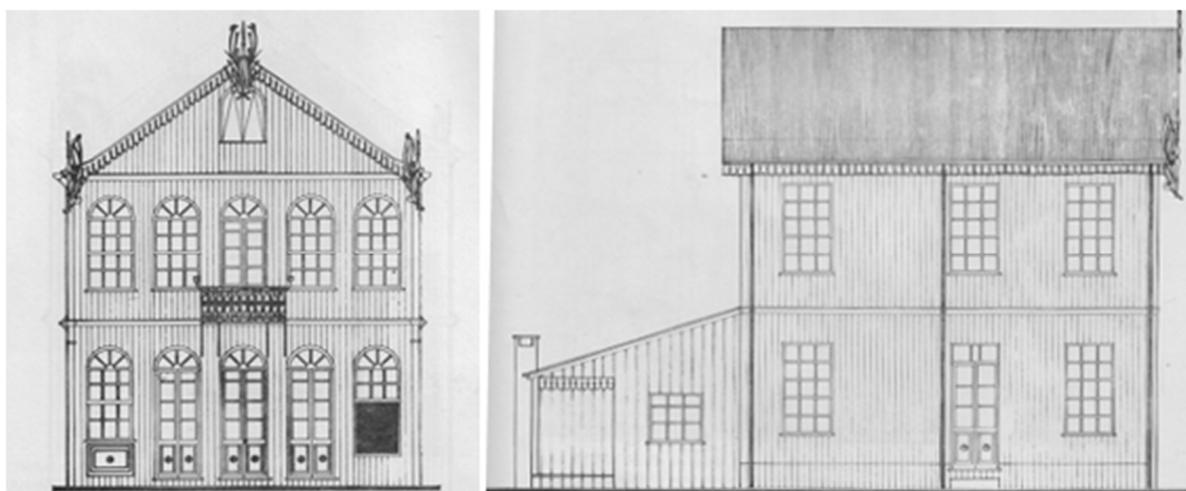


Fonte: (LUZ; CESA FILHO; WAQUIL, 1989)

A estrutura da edificação é composta por vigas principais de madeira robusta e por barrotes verticais e horizontais que definem os vãos das esquadrias e estruturam as paredes divisórias. Onde não há janelas, esses barrotes encontram-se a meia altura da parede, dando maior estabilidade ao conjunto. Na parte central da casa encontra-se um pórtico que sustenta uma viga longitudinal, com 20cm de lado, servindo de base de apoio para os barrotes do

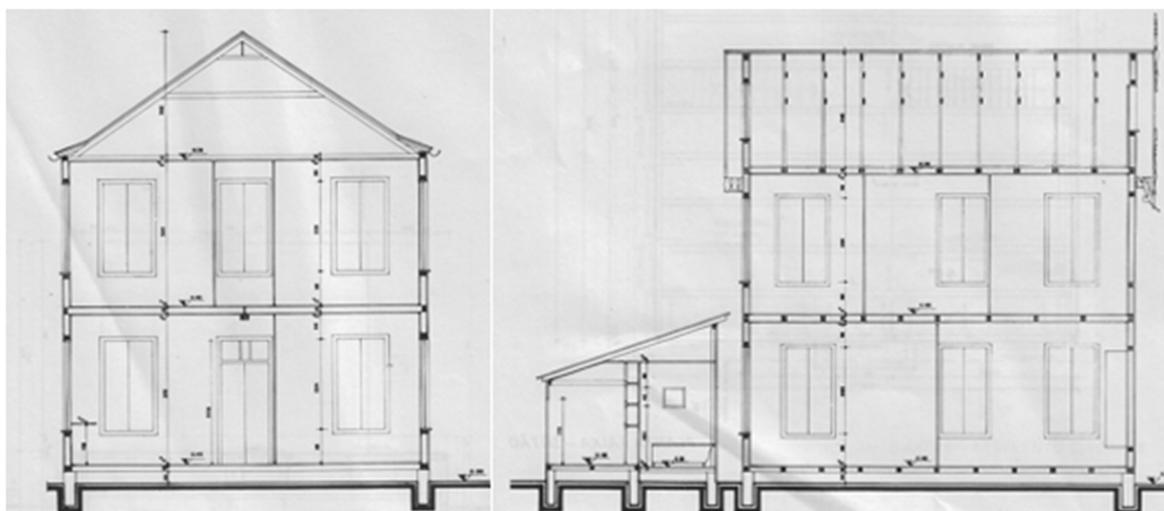
entrepiso. Esse pórtico ocorre nos dois pavimentos, sempre em número de três, localizados nas fachadas e centro do pavimento. Os pilares que compõem esse pórtico estão apoiados sobre uma viga transversal que repousa sobre uma base de pedras. As fundações são superficiais contínuas, em função das características do solo, muito resistente e rochoso, e eram executadas em pedras de basalto sobrepostas com junta seca ou argamassa de barro. A distância entre o assoalho do térreo e o solo natural garantem ventilação permanente (RECH, 2016).

Figura 85 – Fachadas principal e lateral



Fonte: (LUZ; CESA FILHO; WAQUIL, 1989)

Figura 86 – Cortes transversal e longitudinal

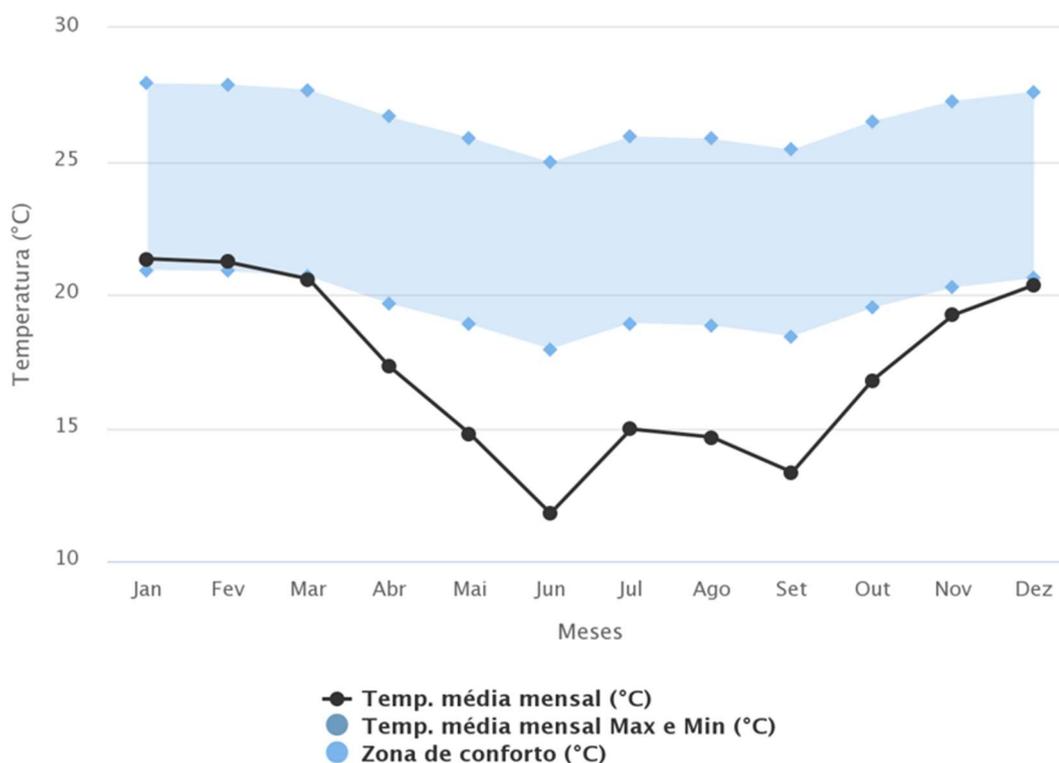


Fonte: (LUZ; CESA FILHO; WAQUIL, 1989)

### 4.3.2 Aspectos geográficos e climáticos de Antônio Prado (RS)

O município de Antônio Prado está localizado na encosta superior do nordeste, no estado do Rio Grande do Sul, pertence a microrregião de Caxias do Sul, também conhecida como Serra Gaúcha. O clima da localidade é o Cfa – Clima subtropical úmido (mesotérmico), isento de estiagem nítida, úmido em todas as estações, com verão quente e menor frequência de geadas, conforme a classificação de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Pertence a Zona Bioclimática 1 de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005a). Considerando os dados climáticos do INMET de Bento Gonçalves, já que o município não possui banco de dados climáticos, a temperatura média mensal é de 17,19°C, sendo que a temperatura de bulbo seco média mensal máxima é de 21,34°C em janeiro e a temperatura de bulbo seco média mensal mínima de 11,79°C em junho (Figura 87).

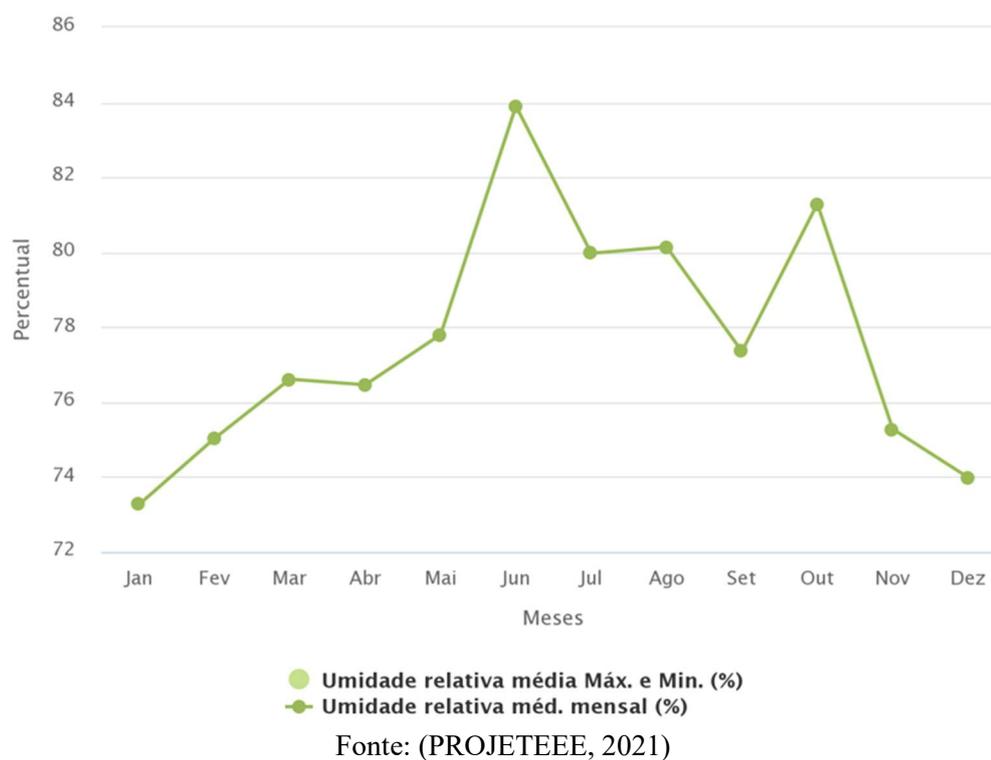
Figura 87 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

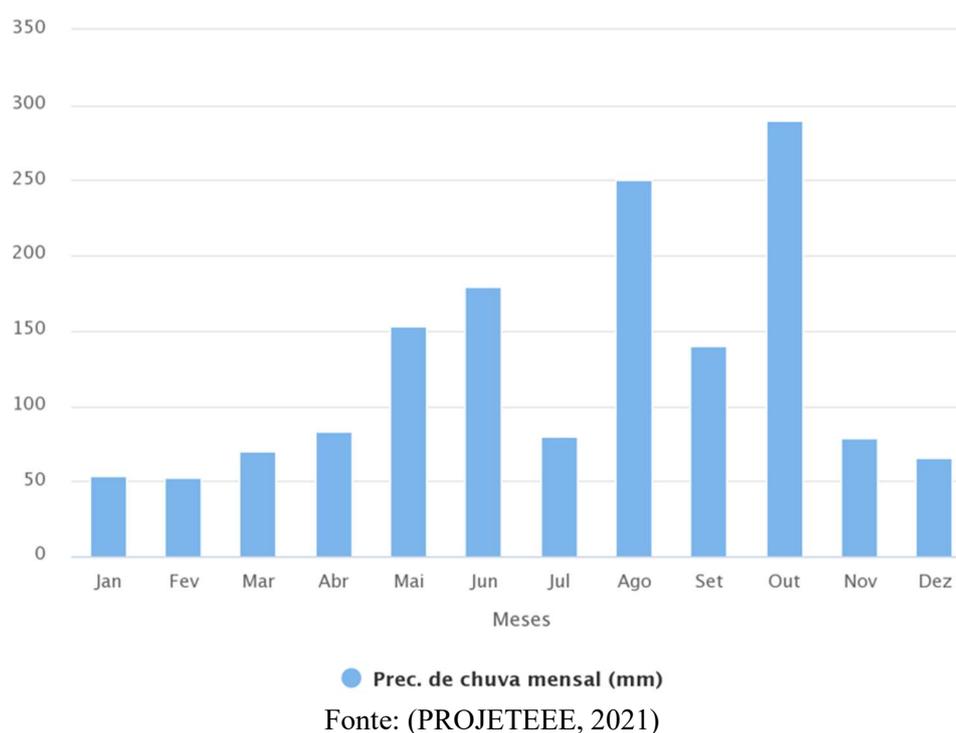
A umidade relativa do ar média anual fica em 77,51% tendo a média mensal mais baixa em janeiro com 73,27% e a média mensal mais alta em junho com 83,90% (Figura 88).

Figura 88 – Gráfico da umidade relativa do ar



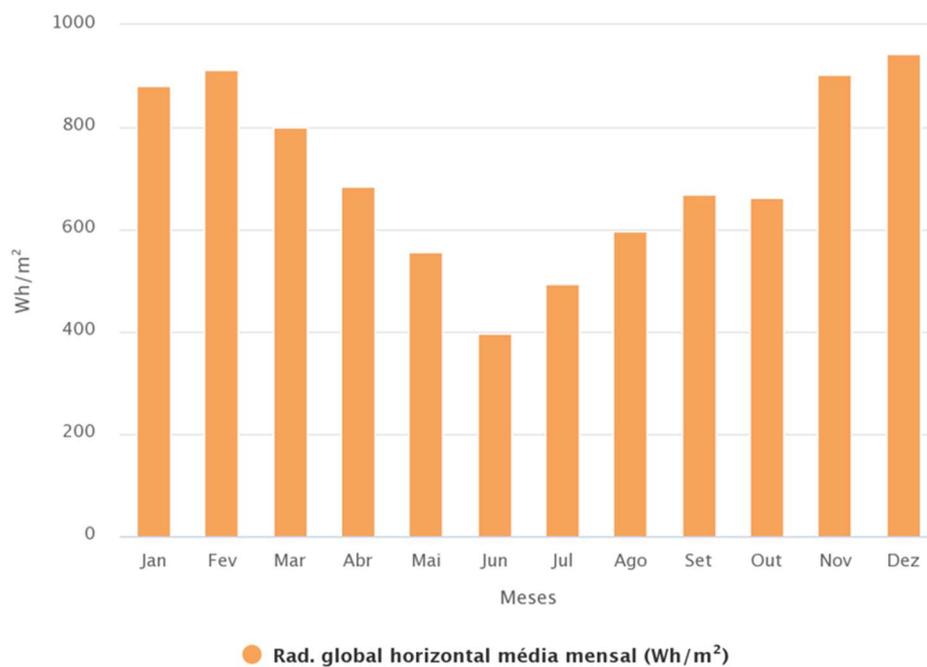
Os meses mais chuvosos são outubro com 290mm, agosto com 251mm e junho com 179mm, e os menos chuvosos são fevereiro com 53mm e janeiro com 54mm. A precipitação anual é de 1498mm (Figura 89).

Figura 89 – Gráfico de precipitação



A radiação horizontal global média mensal varia de 944,39 Wh/m<sup>2</sup> em dezembro a 397,10 Wh/m<sup>2</sup> em junho (Figura 90).

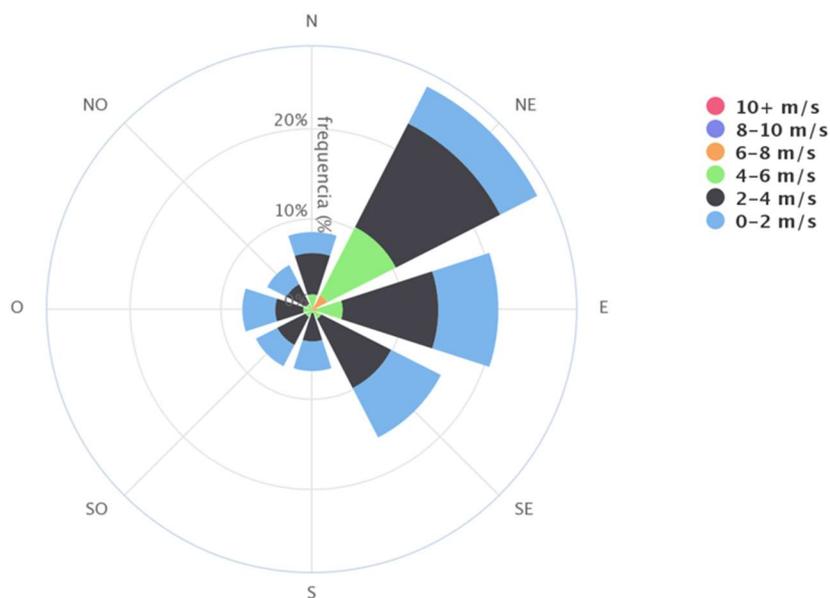
Figura 90 – Gráfico da radiação global média mensal



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

Os ventos predominantes são do quadrante nordeste, leste e sudeste com velocidades médias de 2 a 4 m/s (Figura 91).

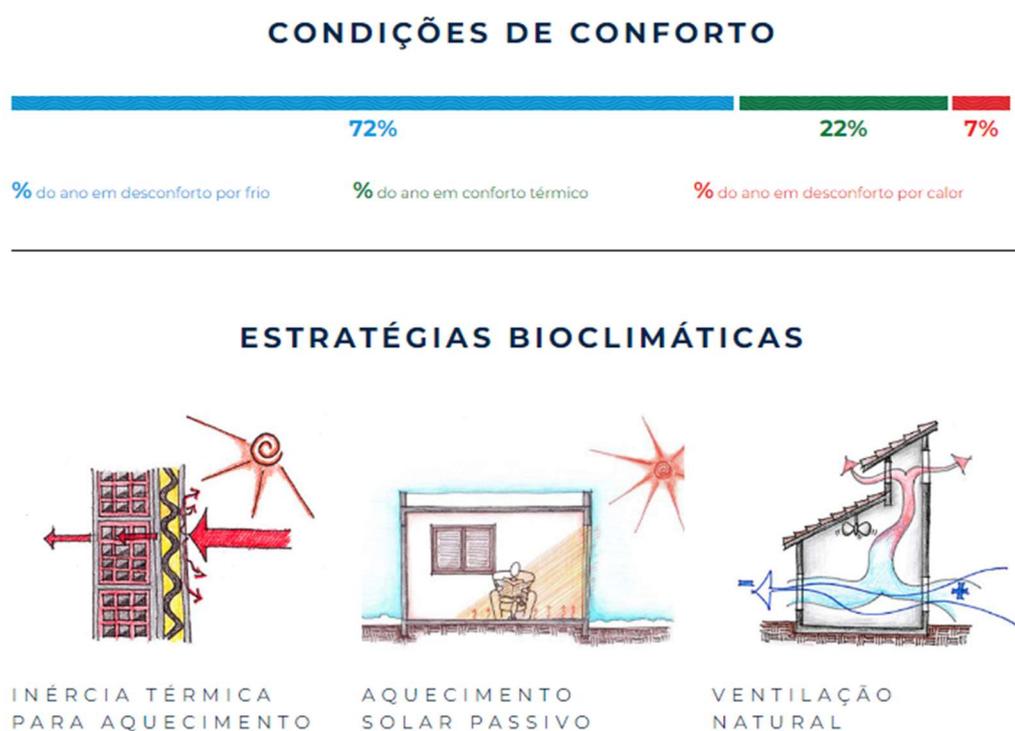
Figura 91 – Frequência e velocidade dos ventos



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

De acordo com os dados fornecidos pelo PROJETEEE (2021) Antônio Prado apresenta por ano em média 72% das horas em desconforto por frio, 7% das horas em desconforto por calor e 22% das horas em conforto térmico, sendo que as principais estratégias bioclimáticas recomendadas, neste contexto, são a inércia térmica para aquecimento, o aquecimento solar passivo e a ventilação natural e (Figura 92).

Figura 92 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

O resfriamento evaporativo e o sombreamento, em menor escala, também são estratégias aplicáveis. A Tabela 49 mostra as principais estratégias bioclimáticas de acordo com as estações do ano, bem como os seus percentuais de aplicabilidade.

Tabela 49 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade

(continua)

Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Verão	44	40	16	Inércia térmica aquecimento	61
				Ventilação Natural	20
				Sombreamento	7

					(conclusão)
Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Primavera	72	20	8	Inércia térmica aquecimento	64
				Aquecimento solar passivo	17
				Ventilação Natural	7
Inverno	88	8	4	Inércia térmica aquecimento	51
				Aquecimento solar passivo	40
				Ventilação Natural	4
Outono	80	16	4	Inércia térmica aquecimento	56
				Aquecimento solar passivo	32
				Ventilação Natural	5

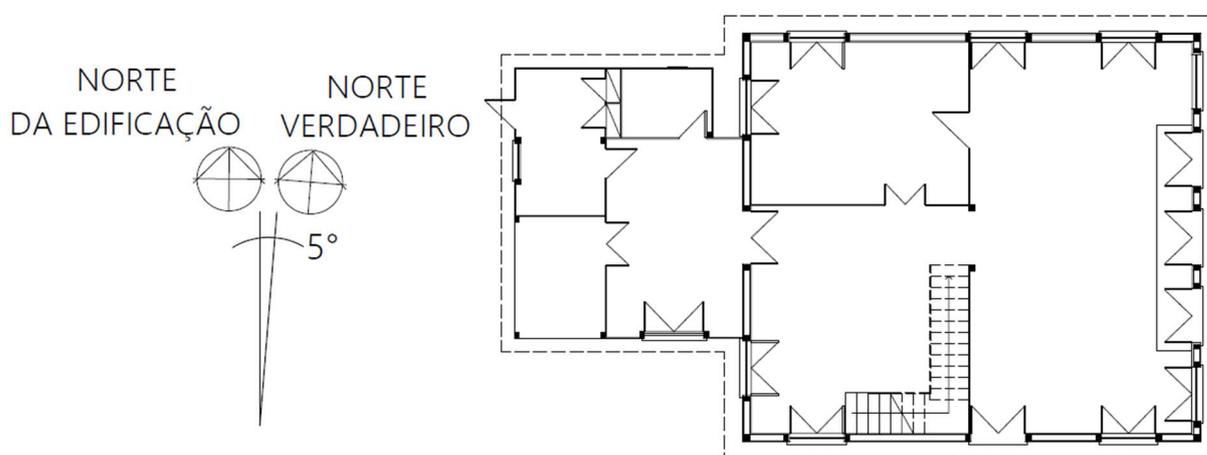
Fonte: adaptado de (PROJETEEE, 2021)

### 4.3.3 Modelagem da edificação

#### 4.3.3.1 Desvio Azimutal e Geolocalização

Em relação a sua orientação solar, é possível verificar que o desvio azimutal da edificação em relação ao norte é de 5°, usando como ponto de referência a fachada lateral direita (norte da edificação), olhando-se a edificação a partir da via pública. A figura 93 mostra a medição desse ângulo realizada a partir da planta baixa proveniente do levantamento de arquivo. No item 3.2.3.1 é descrito o procedimento para a determinação desse ângulo.

Figura 93 – Desvio Azimutal da edificação



Fonte: elaborada pelo autor

De posse das coordenadas do prédio, e do seu desvio azimutal, é possível georeferenciar o modelo da edificação, inserindo-se esses dados no aplicativo Google Earth. A Figura 94 mostra a posição do modelo que será considerada no programa de simulação. Através dessa figura, pode-se confirmar que as considerações de localização e desvio azimutal estão corretas, pois o modelo se encontra sobre a posição geográfica da edificação.

Figura 94 – Geolocalização do modelo



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.3.3.2 Arquivo Climático

O município de Antônio Prado localiza-se na Zona Bioclimática 1 e não possui arquivo climático próprio, como é o caso de muitas cidades. Nesse caso, como exposto anteriormente, na falta de dados para a cidade onde se encontra a habitação, recomenda-se utilizar os dados climáticos de uma cidade com características climáticas semelhantes e na mesma zona bioclimática brasileira. A Tabela 50 apresenta as cidades da Zona Bioclimática 1, que têm arquivos climáticos, com informações de latitude, longitude, altitude, temperatura média anual e distância da cidade onde localiza-se a edificação em estudo (em destaque). Os dados de temperatura foram obtidos de sites de climatologia e meteorologia (AMANTES DO TEMPO, 2022; IRGA, 2022). A partir da observação desses dados, o arquivo climático a ser utilizado para a simulação será, portanto, o da cidade de Bento Gonçalves, RS (em destaque). Essa cidade, devido à proximidade geográfica, possui características climáticas semelhantes e, além

disso, se encontra em latitude e altitude similares a da cidade de Antônio Prado, tornando-se assim, adequado o uso do seu arquivo climático, o que é corroborado quando inserimos a cidade de Antônio Prado na plataforma PROJETEER que recomenda o uso dos dados da cidade de Bento Gonçalves como referência (PROJETEER, 2021)

Tabela 50 – Comparação entre a cidade de Antônio Prado e as cidades da Zona Bioclimática 2 que possuem Arquivo Climático

<b>Cidade</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Temperatura Média (°C)</b>	<b>Distância para (km)</b>
<b>Antônio Prado</b>	<b>658</b>	<b>-28,86</b>	<b>51,28</b>	<b>16,5</b>	-
<b>Bento Gonçalves</b>	<b>691</b>	<b>-29,17</b>	<b>51,52</b>	<b>17,3</b>	<b>42</b>
Bom Jesus	1046	-28,67	50,42	14,8	85
Canela	837	-29,36	50,81	17	73
São José dos Ausentes	1116	-28,74	50,06	14,4	119
Vacaria	971	-28,51	50,93	15,2	52

Fonte: elaborada pelo autor

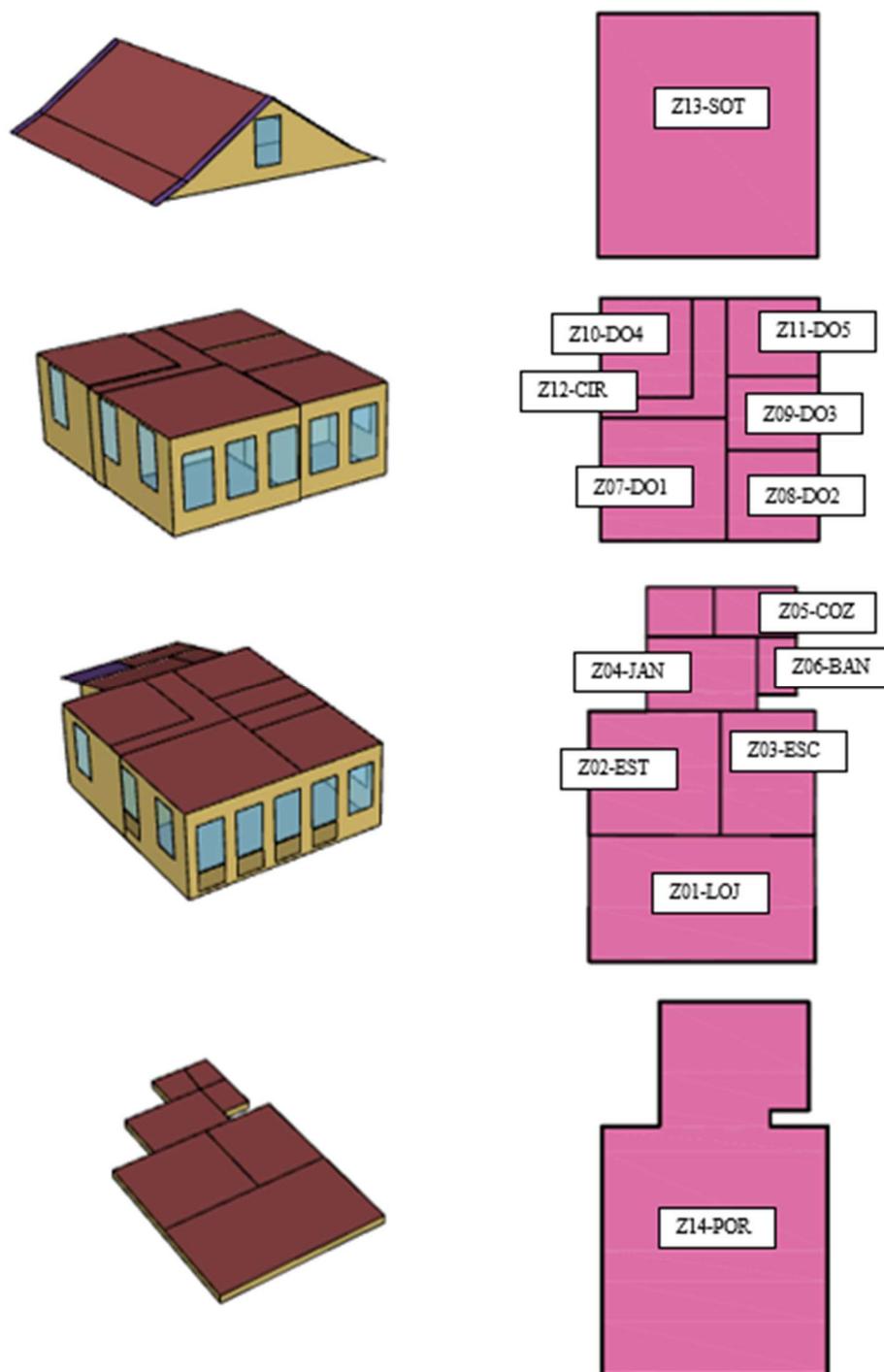
#### 4.3.3.3 Zoneamento Térmico

Como dito anteriormente, as zonas térmicas são definidas no programa de simulação – EnergyPlus – como um volume de ar a temperatura uniforme (ENERGYPLUS, 2020b), com a envoltória de cada zona constituída de superfícies de troca térmica, condições de contorno, como paredes, pisos, tetos, portas e janelas.

A partir da documentação disponível é possível criar o modelo da edificação e a divisão das zonas térmicas, sendo que cada ambiente deve ser modelado como uma zona separada. A Figura 95, mostra as zonas térmicas em perspectiva e em planta baixa facilitando o entendimento da distribuição das zonas no modelo.

A edificação foi então dividida em 14 zonas térmicas, levando-se em consideração todos os ambientes do prédio e procurando-se manter todos os detalhes construtivos para que o modelo se aproximasse ao máximo da edificação construída (Tabela 51). O zoneamento foi criado por meio da interface do programa *Google SketchUp* através do *plug-in Euclid*.

Figura 95 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas



Fonte: elaborada pelo autor

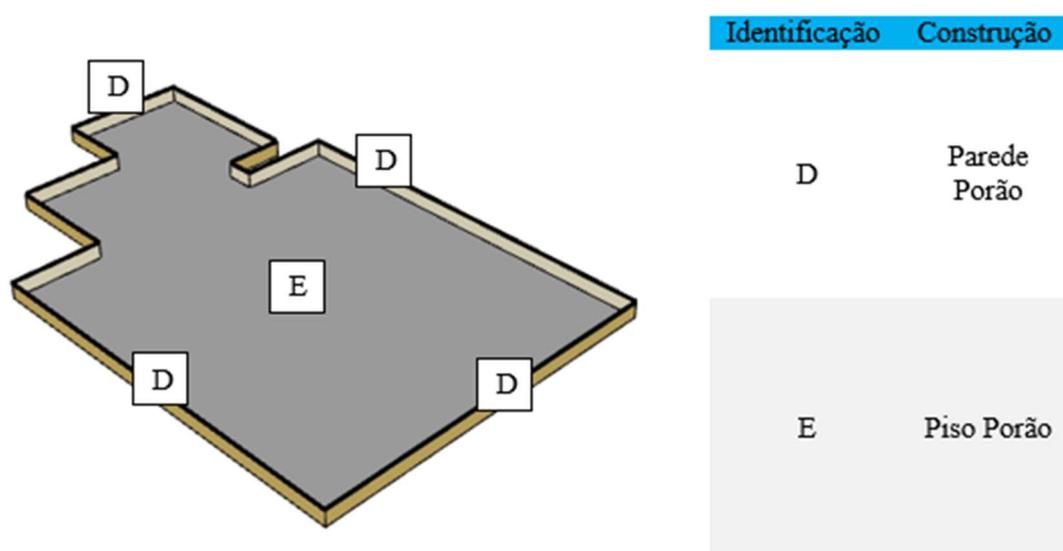
Tabela 51 – Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas

ZONA TÉRMICA	AMBIENTE	ÁREA APROXIMADA (m <sup>2</sup> )
Z01-LOJ	Loja	42,80
Z02-EST	Sala de Estar	14,19
Z03-ESC	Escritório	37,56
Z04-JAN	Sala de Jantar	14,95
Z05-COZ	Cozinha	15,85
Z06-BAN	Banheiro	106,27
Z07-DO1	Dormitório 1	98,04
Z08-DO2	Dormitório 2	106,27
Z09-DO3	Dormitório 3	98,04
Z10-DO4	Dormitório 4	106,27
Z11-DO5	Dormitório 5	98,04
Z12-CIR	Circulação	106,27
Z13-SOT	Sótão	98,04
Z14-POR	Porão	98,04

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.3.3.4 Materiais e Elementos Construtivos

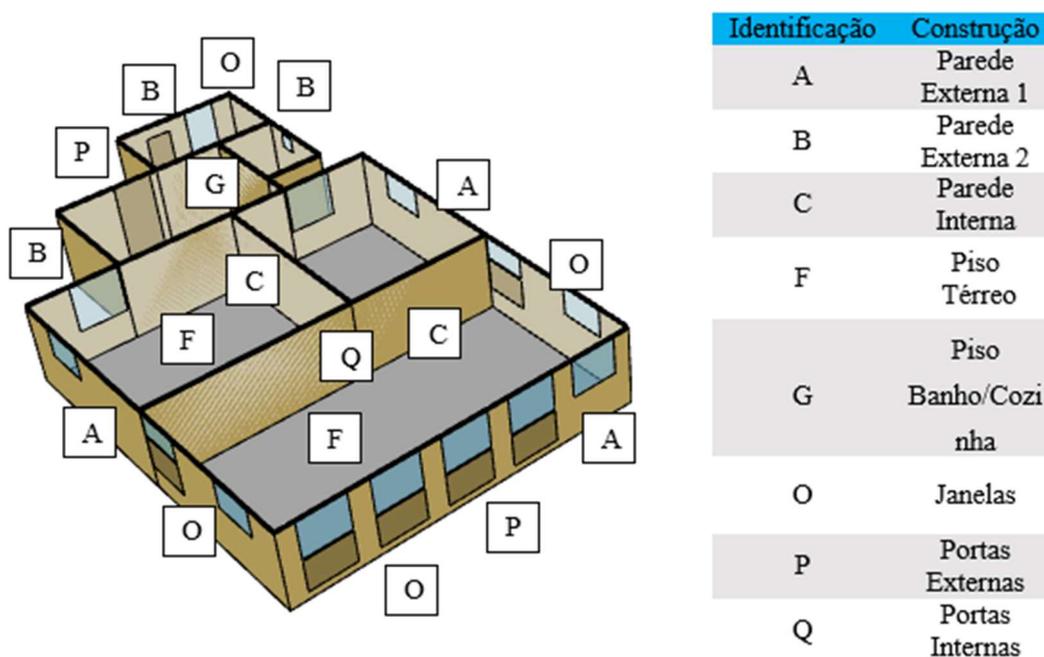
Figura 96 – Localização dos elementos construtivos – porão



Fonte: elaborada pelo autor

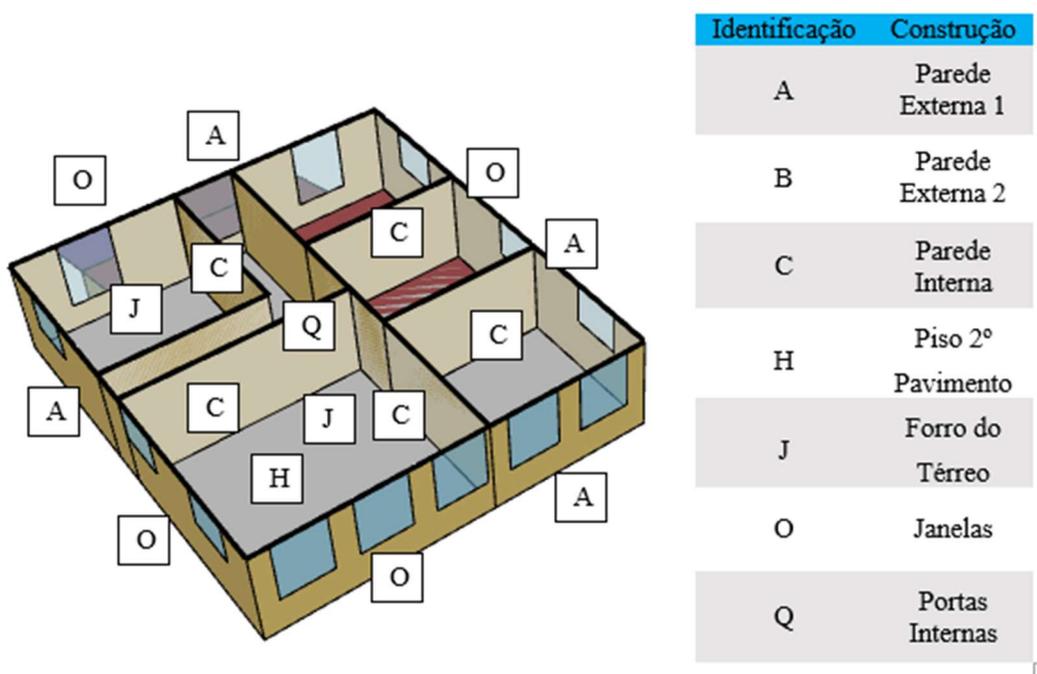
A partir do levantamento das características construtivas da edificação, é possível realizar a especificação dos seus elementos construtivos que foram inseridos no modelo. Objetivando facilitar o entendimento, as Figuras 96, 97, 98 e 99 mostram a localização desses elementos.

Figura 97 – Localização dos elementos construtivos – térreo



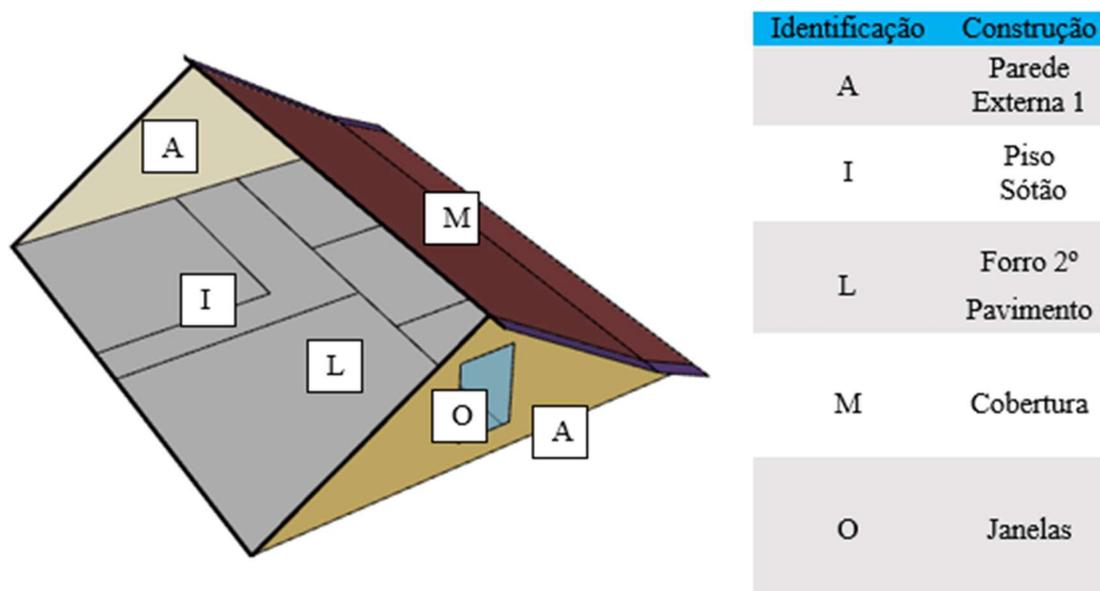
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 98 – Localização dos elementos construtivos – 2º pavimento



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 99 – Localização dos elementos construtivos – sótão



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.3.3.5 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

A propriedade térmica do material é a resposta ou reação do mesmo à aplicação de calor. O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais que constituem a edificação é necessário para a análise do desempenho térmico, pois são os elementos construtivos que formam o envelope da construção, que é o separador físico entre o exterior e o interior dela, além de separador físico das diferentes zonas térmicas. As propriedades térmicas mais relevantes são: absorvância à radiação solar, refletância à radiação solar, transmitância à radiação solar, emissividade, condutividade térmica, resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica total, e o atraso térmico. As definições de tais propriedades e suas unidades encontram-se na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Na Tabela 52 são apresentadas as construções da edificação, bem com as principais propriedades termofísicas dos materiais. Resistência térmica e transmitância térmica são calculadas automaticamente pelo programa de simulação.

Sabe-se que existem poucas informações sobre as características termofísicas dos materiais históricos. Dessa forma, foi necessário aproximar as características desses materiais tanto com as características de materiais presentes nas normas técnicas, quanto com referências de onde pudessem ser obtidos os valores a serem utilizados nas simulações.

Tabela 52 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais

Ident	Construção	Material	Esp (m)	k (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.K)	U W/m <sup>2</sup> .K
A	Parede Externa 1	Madeira	0,025	0,29	900	1340	2,118
		Camada de ar	0,14				
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
B	Parede Externa 2	Madeira	0,025	0,29	900	1340	4,239
C	Parede Interna	Madeira	0,025	0,29	900	1340	3,070
D	Parede Porão	Pedra Basalto	0,30	1,60	2700	840	2,966
E	Piso Porão	Solo	0,475	0,87	1360	840	1,412
F	Piso Térreo	Madeira	0,025	0,29	900	1340	3,070
G	Piso Banho/Cozinha	Ladrilho	0,015	1,05	2000	920	2,703
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
H	Piso 2º Pavimento	Madeira	0,025	0,29	900	1340	1,608
		Camada de ar	0,15				
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
I	Piso Sótão	Madeira	0,025	0,29	900	1340	1,608
		Camada de ar	0,12				
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
J	Forro do Térreo	Madeira	0,025	0,29	900	1340	1,608
		Camada de ar	0,15				
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
K	Forro Anexo	Madeira	0,025	0,29	900	1340	3,070
L	Forro 2º Pavimento	Madeira	0,025	0,29	900	1340	1,608
		Camada de ar	0,12				
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
M	Cobertura	Telha Zinco	0,0006 5	55	7800	460	2,478
		Camada de ar					
		Madeira	0,025	0,29	900	1340	
N	Cobertura Anexo	Telha Zinco	0,00065	55	7800	460	2,478
O	Janelas	Vidro 3mm	0,003	1,00	2500	840	5,894
		Tampo Madeira	0,025	0,29	900	1340	
P	Portas Externas	Madeira da Porta Externa	0,025	0,29	900	1340	4,239
Q	Portas Internas	Madeira da Porta Interna	0,025	0,29	900	1340	

Fonte: elaborada pelo autor

As propriedades termofísicas de todos os elementos construtivos da edificação, bem como os valores de absorvância e emissividade dos elementos construtivos externos, foram obtidos na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Os valores de absorvância e emissividade dos elementos externos da edificação são apresentados na Tabela 53.

Tabela 53 – Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas

<b>Tipo de Superfície</b>	<b>Absorvância (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Emissividade (<math>\epsilon</math>)</b>
Madeira	0,8	0,9
Tampo Madeira	0,8	0,9
Telha Zinco	0,25	0,25
Parede Porão (Basalto)	0,7	0,9

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.3.3.6 Cargas Internas – Ocupação, Equipamento e Iluminação

A distribuição dos ocupantes nos ambientes segue o que foi abordado no item 3.2.4.1, distribuindo-se os ocupantes dos dormitórios uniformemente pelos demais compartimentos de permanência prolongada. A Tabela 54 apresenta essa distribuição. Ainda de acordo com o que foi abordado no item 3.2.4.1, a modelagem deve considerar um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, sendo a ocupação do ambiente representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Tabela 54 – Número de ocupantes por ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Nº de ocupantes</b>
Dormitório 1	2
Dormitório 2	2
Dormitório 3	2
Dormitório 4	2
Dormitório 5	2
Sala de Estar	2
Sala de Jantar	2
Loja	2
Escritório	2
Cozinha	2

Fonte: elaborada pelo autor

As cargas internas de equipamentos e iluminação seguem o que foi estabelecido nos itens 3.2.4.2 e 3.2.4.3.

#### 4.3.3.7 Cargas Internas – Atividade e Vestimenta

A carga interna referente às atividades desempenhadas pelos ocupantes dos espaços segue as premissas estabelecidas na seção 3.2.4.4. A Tabela 55 apresenta as taxas metabólicas para os ambientes ocupados na edificação.

Tabela 55 – Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes

<b>Ambiente</b>	<b>Taxa Metabólica (W/m<sup>2</sup>)</b>
Dormitório 1	45/ocupante
Dormitório 2	45/ocupante
Dormitório 3	45/ocupante
Dormitório 4	45/ocupante
Dormitório 5	45/ocupante
Sala de Estar	60/ocupante
Sala de Jantar	60/ocupante
Loja	60/ocupante
Escritório	60/ocupante
Cozinha	95/ocupante 1 60/ocupante 2

Fonte: elaborada pelo autor

A vestimenta utilizada pelos ocupantes dos ambientes da edificação pode ser mensurada através do seu índice de resistência térmica, Icl. Para definir o Icl foi criado um perfil de vestimenta para cada estação do ano, considerando-se os valores estabelecidos pelas normas internacionais (ASHRAE, 2017; ISO, 2005) e o que foi abordado no item 3.2.4.4. A Tabela 56 apresenta o Icl para cada estação.

Tabela 56 – Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação

<b>Estação do Ano</b>	<b>Conjunto de Vestimenta</b>	<b>Icl (clo)</b>
Verão	Roupa de baixo; bermuda ou vestido; camiseta; sandália	0,37
Outono e Primavera	Roupa de baixo; abrigo; camiseta; calçado	0,61
Inverno	Roupa de baixo; camiseta; abrigo e moletom; meia; calçado	0,85

Fonte: elaborada pelo autor

Buscando-se uma maior aproximação com a realidade, os *schedules* dos índices de resistência térmica das vestimentas foram majorados em 25% no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e em 50% das 24h00 às 8h00, para todas as estações do ano.

#### 4.3.3.8 Infiltração de Ar

Os valores de infiltração são os anteriormente estabelecidos de 0,5 troca por hora para o período de inverno, com portas e janelas mais fechadas, um valor médio de infiltração de 0,75 troca por hora para estações intermediárias do ano e taxa de infiltração de 1,0 troca por hora para o verão, com portas e janelas mais abertas. Entretanto, sabendo-se que no período noturno as pessoas tendem a fechar as aberturas, propõe-se uma redução de 25% na taxa de infiltração no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e de 50% no período compreendido entre 24h00 e 8h00. Essa redução é proposta para todas as estações do ano.

#### 4.3.3.9 Sistema de Condicionamento do Ar

As informações do arquivo climático consideram que o dia de projeto de inverno é o dia 21 de julho, e o dia de projeto de verão é o dia 21 de dezembro.

A Tabela 57 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 3,0 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência cumulativa anual de 99,6% das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Bento Gonçalves (localidade cujo arquivo climático será utilizado para as simulações). Isso significa dizer que, acima da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 57 – Dia de projeto de inverno

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Inverno	3	3	0	6,71	0

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

A Tabela 58 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de verão para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 31,3 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Bento Gonçalves. Isso significa dizer que, abaixo da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 58 – Dia de projeto de verão

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Verão	31,3	20,9	8,9	3,35	0

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

Os dias típicos foram utilizados pelo programa de simulação para o auto dimensionamento dos equipamentos de ar-condicionado de janela, para as zonas de permanência prolongada, inclusive a cozinha.

#### **4.3.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética**

##### **4.3.4.1 Avaliação do desempenho térmico**

###### *4.3.4.1.1 Comparação do percentual de horas de desconforto pelo índice PMV*

Inicialmente foram determinadas as estratégias a serem avaliadas para a edificação em estudo de acordo com uma análise preliminar de sua aplicabilidade em função das características da edificação. As estratégias são as seguintes:

EST02 – isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira

EST03 – isolamento térmico do telhado

EST06 – isolamento térmico interno de paredes externas de madeira

EST08 – vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração

EST09 – substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade

A Tabela 59, na sequência, apresenta, a partir dos valores do PMV calculado pelo programa de simulação para o modelo de referência (MOD-REF) e para os modelos representativos das estratégias a serem implementadas, a porcentagem de horas de desconforto anuais por frio, calor e totais anuais. A partir desses resultados são calculadas as diferenças apontando se houve aumento ou redução das porcentagens das horas de desconforto para frio e calor. Os valores de PMV calculados levaram em conta uma ponderação dos valores individuais obtidos considerando-se a atividade dos dois ocupantes da cozinha, cuja taxa metabólica é diferente, conforme estabelecido anteriormente no item 4.1.3.7. Também é feita uma comparação com as condições de conforto apresentadas pelo PROJETEEE (2021) para a cidade onde se localiza a edificação, com os valores obtidos pela simulação.

Tabela 59 – Porcentagem de horas de desconforto em função dos valores do PMV simulados

Modelo	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)	Frio	Calor	Horas de Desconforto Anual (%)
				Diferença (%)		
MOD-REF	78,1	8,6	13,2			91,3
MOD-EST02	64,5	11,7	23,8	-17,4	+80,3	88,3
MOD-EST03	67,4	11,3	21,3	-13,7	+61,4	88,7
MOD-EST06	66,6	13,2	20,2	-14,7	+53,0	86,8
MOD-EST08	61,9	12,0	26,1	-20,7	+97,7	88,0
MOD-EST09	74,1	10,3	15,6	-5,1	+18,2	89,7
PROJETEEE	71,0	21,0	7,0	-9,1	-47,0	78,0

 Favorável
  Intermediário
  Desfavorável

Fonte: elaborada pelo autor

Preliminarmente, a análise dos resultados apresentados permite observar que os valores calculados para o modelo de referência não se mostraram assim tão díspares dos valores de referência da cidade (PROJETEEE, 2021), havendo uma inversão em relação às horas de conforto e as horas de desconforto por calor, o que permite uma razoável confiabilidade do modelo. Considerando-se separadamente as horas de desconforto para frio e calor, a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) reduz em 20,7% as horas de desconforto por frio, mas aumenta as horas de desconforto por calor em 97%. Nesse caso, é preciso considerar que a quantidade de horas de desconforto por frio é muito maior que as horas de desconforto por calor, por isso há uma redução nas horas de desconforto

anual total em relação ao modelo de referência. A estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) tem comportamento similar, já que reduz as horas de desconforto por frio em 17,4%, mas aumenta as horas de desconforto por calor em 80,3%. Igualmente produz uma redução nas horas de desconforto anuais totais em relação ao modelo de referência. Igual comportamento também tem a estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) que reduz as horas de desconforto por frio em 13,7%, mas aumenta as horas de desconforto por calor em 61,4%. Com essa estratégia a redução das horas de desconforto anuais totais é menor. O significativo aumento das horas de desconforto por calor dessas duas estratégias pode ser explicado pela inércia térmica das paredes associada ao alto fator solar dos vidros. O isolamento impede a saída de calor. Ressalta-se, também, que não está prevista ventilação natural, apenas a taxa de infiltração. A estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) apresenta uma razoável redução de 14,7% nas horas de desconforto por frio e um menor aumento nas horas de desconforto por calor que chega a 53,0%. É a estratégia que produz a maior redução nas horas de desconforto anuais totais em relação ao modelo de referência. Ainda se tem a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) que traz uma pequena redução de 5,1% nas horas de desconforto por frio e um aumento de 18,2% nas horas de desconforto por calor. É a estratégia que menos reduz as horas de desconforto anuais totais.

Considerando-se as principais estratégias bioclimáticas, recomendadas para a cidade onde está localizada a edificação em estudo (PROJETEEE, 2021), a inércia térmica para aquecimento aparece como a principal recomendação, sendo que sua aplicabilidade em mais de 50% das horas é indicada para todas as estações do ano. A estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) enquadra-se nesse perfil, sendo a estratégia que produz maior redução na porcentagem de horas de desconforto por frio, menor aumento nas horas de desconforto por calor e, conseqüentemente, na redução de horas de desconforto anuais totais.

#### 4.3.4.1.2 Considerações sobre orientação solar

Tabela 60 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações

<b>Condição de Conforto</b>	<b>Desvio 0° (%)</b>	<b>Desvio 90° (%)</b>	<b>Desvio 180° (%)</b>	<b>Desvio 270° (%)</b>
Frio	67,6	67,7	68,2	68,3
Conforto	11,1	10,8	11,5	11,3
Calor	21,3	21,5	20,3	20,4

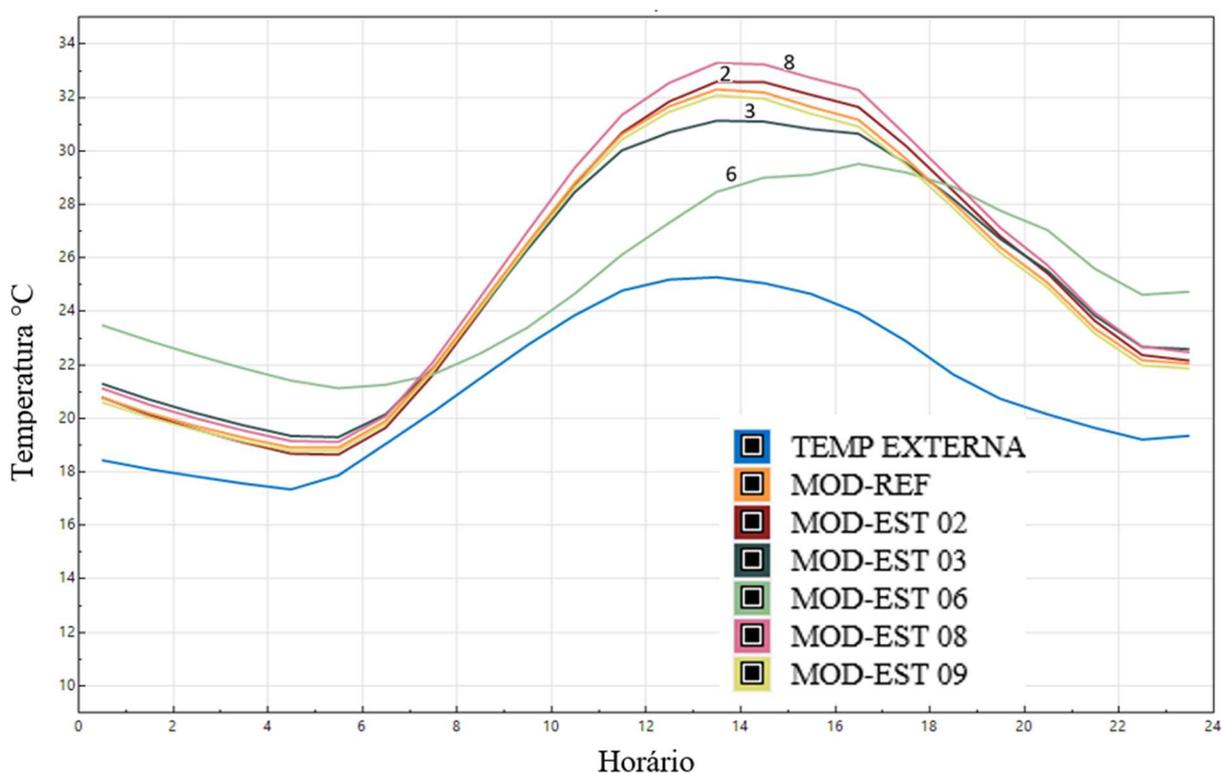
Fonte: elaborada pelo autor

Na comparação dos resultados obtidos na simulação do PMV para as condições de conforto do modelo de referência, considerando-se a edificação e depois girando o modelo 90°, 180° e 270°, através de uma parametrização das simulações, observa-se que não há alteração significativa nos valores, ou seja, não há variação significativa no PMV para as quatro orientações. A parametrização permite a otimização da escolha da orientação para a simulação da edificação. A Tabela 60 apresenta, para cada orientação, as porcentagens de horas de desconforto por frio e calor e a porcentagem das horas de conforto da edificação.

#### 4.3.4.1.3 Considerações sobre temperaturas nas zonas térmicas

Para uma melhor avaliação do desempenho térmico da edificação, outra análise a ser realizada é das temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna, no caso a sala de jantar, e outra de permanência prolongada noturna, no caso um dos dormitórios. São apresentadas as temperaturas médias diárias, para janeiro (período quente) e depois junho (período frio). Essa análise comparativa é feita para o modelo de referência e para os modelos das demais estratégias a serem implementadas na edificação. A Figura 100 apresenta as temperaturas para a zona Z04-JAN (zona de permanência prolongada diurna) para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 100 – Temperatura média diária para janeiro na sala de jantar

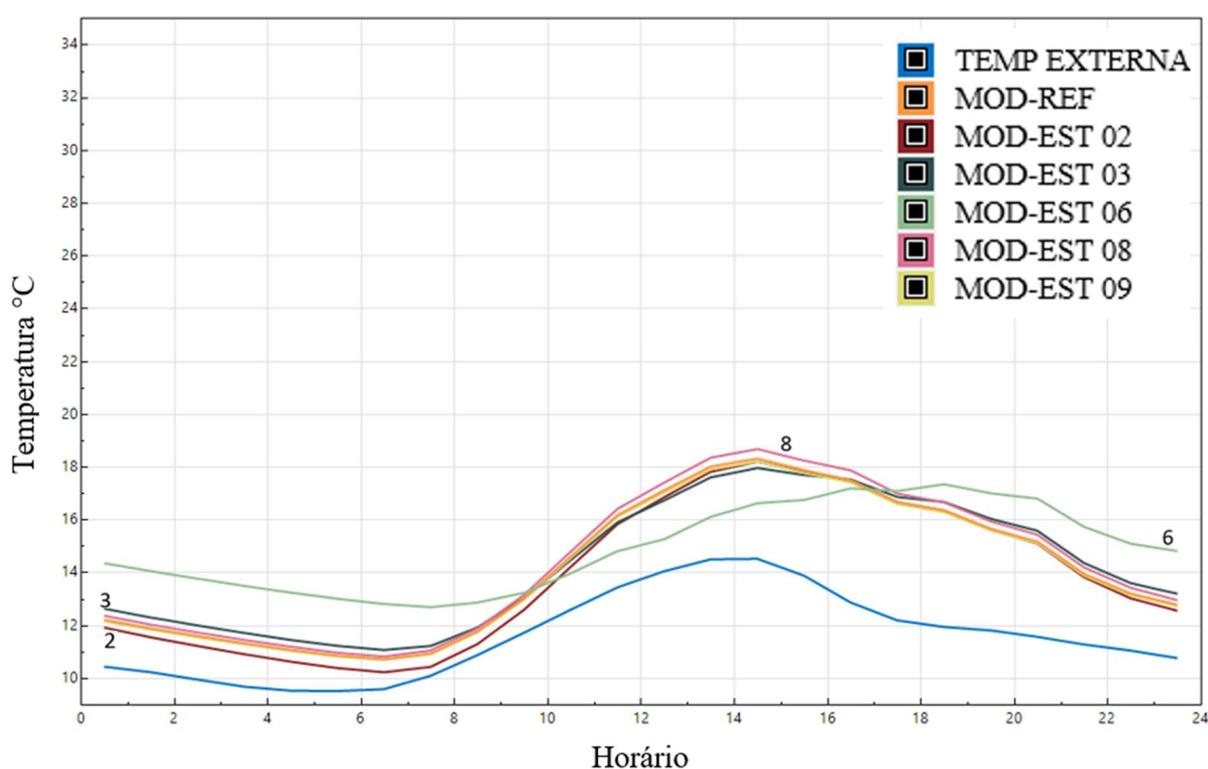


Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro na sala de jantar, as estratégias de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) aumentam a temperatura interna em relação ao modelo de referência, principalmente nos horários mais quentes do dia, o que impacta negativamente em uma zona de permanência prolongada diurna. A estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) mantém a temperatura um pouco mais baixa do que as anteriores, abaixo do modelo de referência, mas ainda assim muito altas no período diurno. A estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) é a que apresenta comportamento mais satisfatório com temperaturas mais baixas no período diurno.

A Figura 101 apresenta as temperaturas para a zona Z04-JAN para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 101 – Temperatura média diária para junho na sala de jantar



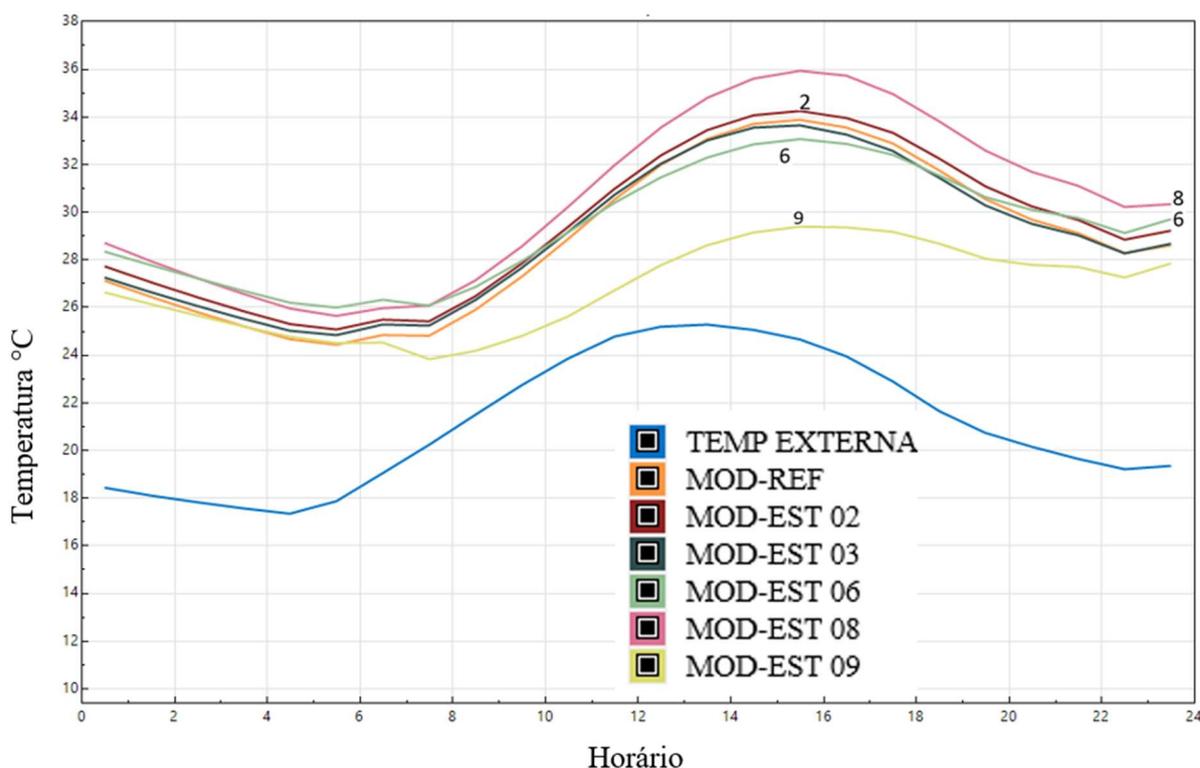
Fonte: elaborada pelo autor

Já comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho na sala de jantar, percebe-se que não há grande diferença nas temperaturas proporcionadas pelas estratégias quando comparadas ao modelo de referência, exceto a estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) que mantém as temperaturas mais altas no período

noturno e reduz as temperaturas entre 10h00 e 17h00, desfavorecendo o período de ocupação da zona. Dentre as demais estratégias, a de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que mantém as temperaturas mais altas no período diurno. A de isolamento térmico do telhado (EST 03), também mantém a temperatura um pouco mais alta no período noturno. A estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) é a que tem pior desempenho nesse quesito, já que mantém as temperaturas baixas na maior parte do dia.

A Figura 102 apresenta as temperaturas para a zona Z09-DO3 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 102 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 3



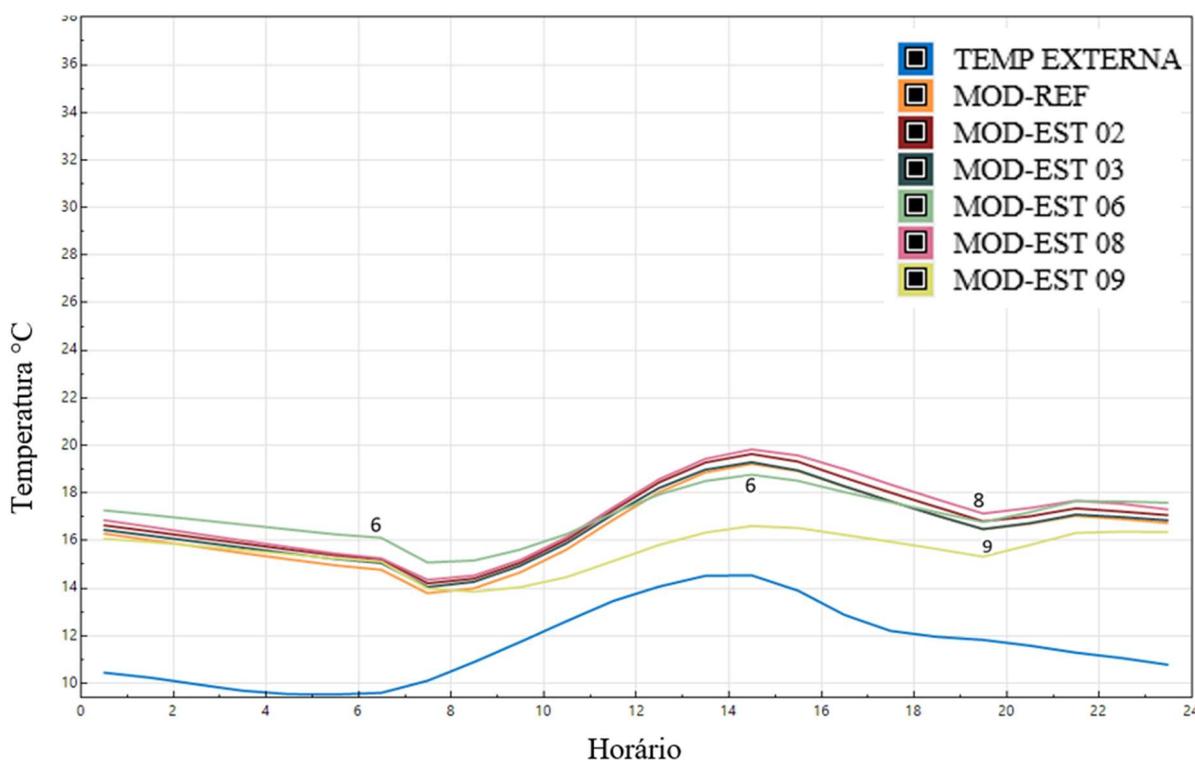
Fonte: elaborada pelo autor

Na comparação das temperaturas médias diárias para o mês de janeiro no dormitório 3, vê-se que a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) acaba mantendo as temperaturas mais baixas durante todo o dia, devido ao baixo fator solar do vidro. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) aumenta as temperaturas internas, em relação ao modelo de referência, inclusive à noite, assim como a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02). A

estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) mantém as temperaturas um pouco mais baixas do que o modelo de referência.

A Figura 103 apresenta as temperaturas para a zona Z09-DO3 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 103 – Temperatura média diária para junho no dormitório 3



Fonte: elaborada pelo autor

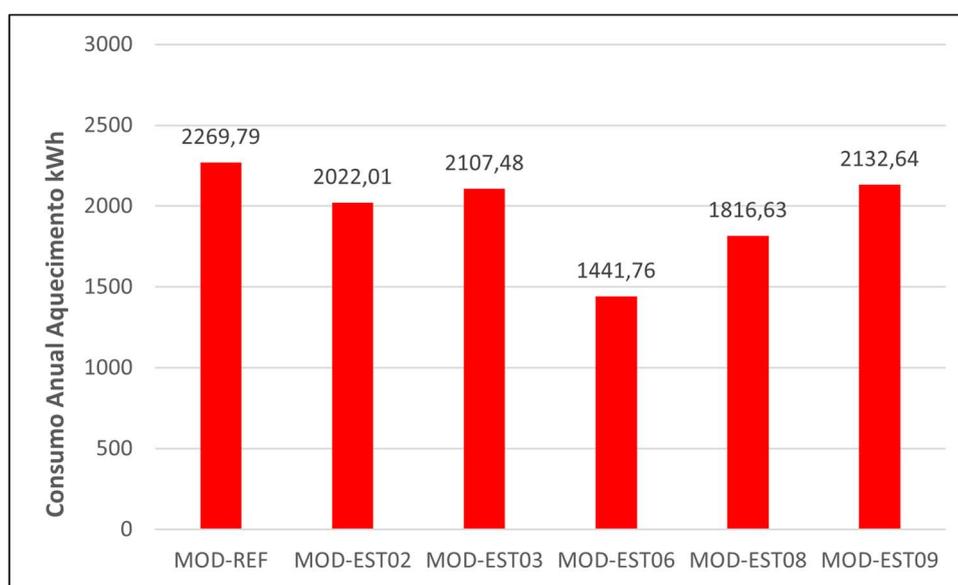
No inverno, por outro lado, comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho no dormitório 3, nota-se que não há uma diferença significativa nas temperaturas das diferentes estratégias comparadas com o modelo de referência. mesmo assim as estratégias de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) mantêm as temperaturas um pouco mais altas, principalmente no período noturno. Já a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) mantém as temperaturas mais baixas, só que sobremaneira no período diurno, fora do período de ocupação da zona. Este comportamento é devido ao baixo fator solar do vidro escolhido.

#### 4.3.4.2 Avaliação da eficiência energética

A avaliação da eficiência energética é feita através da comparação do consumo de energia elétrica anual de um sistema de ar-condicionado auto dimensionado pelo programa de

simulação, para buscar o conforto térmico da edificação. Essa comparação é feita através da simulação do consumo de energia anual para resfriamento e aquecimento, do modelo de referência e dos modelos propostos para cada estratégia. As Figuras 104, 105 e 106 apresentam três gráficos desse consumo de energia: o primeiro apresenta o consumo energético para o aquecimento dos ambientes, o segundo para o resfriamento e o terceiro o consumo total para condicionamento de ar da edificação.

Figura 104 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento



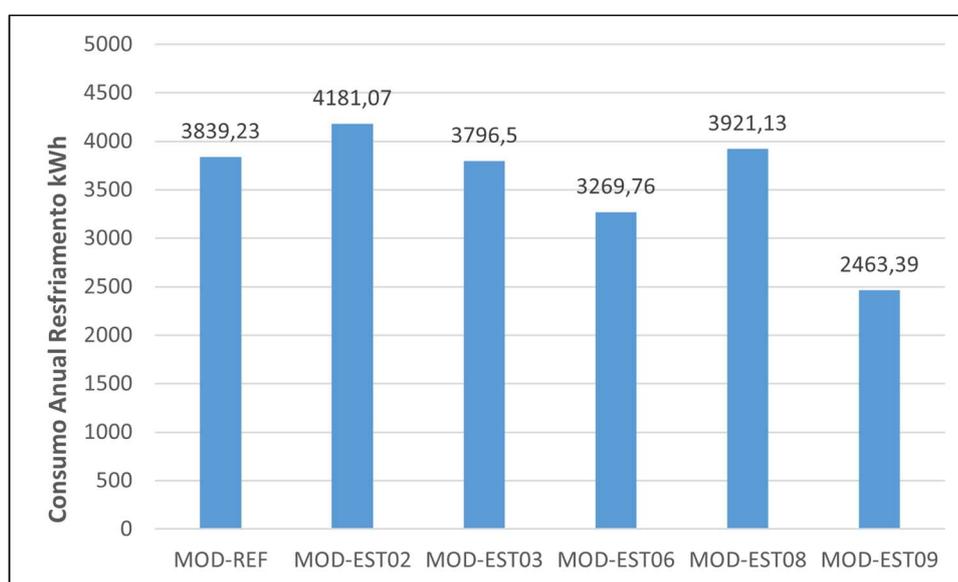
Fonte: elaborada pelo autor

Analisando-se o consumo de energia anual para aquecimento (Figura 104), para as diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência, vê-se que a estratégia mais eficiente é de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) que reduz o consumo em 36,48%. Na sequência, com redução significativa no consumo, vêm as estratégias de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08), com redução de 19,96% e de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), com redução de 10,92%. As demais estratégias também reduzem o consumo de energia para aquecimento sendo que a estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) reduz o consumo em 7,15% e a de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) em 6,04% (novamente em função do baixo fator solar do vidro).

Quando é analisado o consumo de energia anual para resfriamento (Figura 105), a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) é a que tem melhor eficiência, com uma redução no consumo de 35,84%. Ressalta-se que as horas de desconforto por calor são muito menores do que as de desconforto por frio e que a grande quantidade de

aberturas envidraçadas da edificação influencia nesses resultados, já que com a utilização de um vidro externo de baixa emissividade, e baixo fator solar, reduz-se a quantidade de radiação solar que ingressa nos ambientes. Com redução significativa de 14,83% tem-se a estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06). A estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) reduz o consumo para resfriamento em 1,11%. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) aumenta esse consumo em 2,13% e a pior estratégia nesse quesito é a de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) que aumenta o consumo em 8,90%.

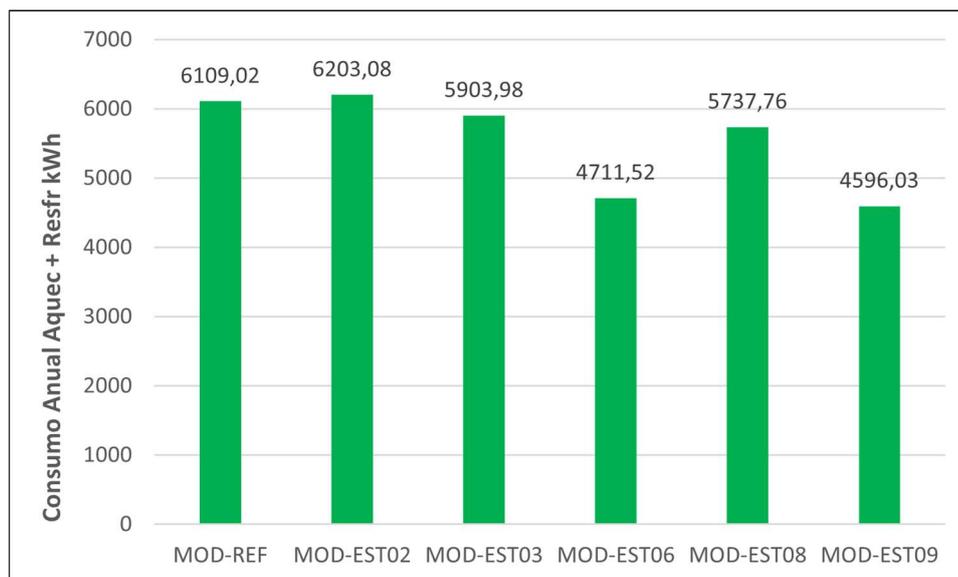
Figura 105 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento



Fonte: elaborada pelo autor

Quando se compara o consumo anual de energia total (aquecimento e resfriamento) do modelo de referência com os modelos das diferentes estratégias (Figura 106), observa-se que as estratégias mais eficientes são a de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e a de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06), com reduções no consumo anual total de 24,77% e 22,88% respectivamente. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) vem na sequência com redução no consumo anual de 6,08% e depois a de isolamento térmico do telhado (EST 03) com redução de 3,36%. A estratégia menos eficiente é a de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) que aumenta o consumo anual total em 1,54%.

Figura 106 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.3.4.3 Considerações sobre desempenho térmico e eficiência energética

A partir dos resultados anteriormente apresentados, é possível identificar quais as estratégias mais indicadas para a melhoria do desempenho térmico da edificação. Considerando-se os resultados obtidos para conforto, a estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) é a que tem melhor desempenho anual em comparação com o modelo de referência, mesmo que a redução de horas de desconforto não seja tão significativa. Na sequência aparece a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e a de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) com alguma redução nas horas anuais de desconforto. As estratégias com menor desempenho nesse campo são as de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09), mesmo assim com alguma redução nas horas anuais de desconforto.

Já quando são analisadas as temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna no verão (janeiro), a estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) é a que apresenta melhor desempenho, seguida do isolamento térmico do telhado (EST 03). Com pior desempenho tem-se a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08). A estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) tem um desempenho bom nesta zona no inverno (junho) no período noturno. Já no período diurno o melhor desempenho é da estratégia de

vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08). Com menor desempenho observa-se a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02).

Ao se analisar a temperatura em uma zona de permanência prolongada noturna no verão (janeiro), a estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) é a que tem melhor desempenho. A estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) vem na sequência. A com pior desempenho é a de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08). No período de inverno (junho) as estratégias de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) são as que apresentam melhor desempenho. O pior desempenho é da estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09), já que o baixo fator solar do vidro impede a entrada de radiação solar.

Tabela 61 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em porcentagem

<b>Modelo</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Resfriamento</b>	<b>Total</b>
MOD-EST02	-10,92	+8,90	+1,54
MOD-EST03	-7,15	-1,11	-3,36
MOD-EST06	-36,48	-14,83	-22,88
MOD-EST08	-19,96	+2,13	-6,08
MOD-EST09	-6,04	-35,84	-24,77

Fonte: elaborada pelo autor

No que tange à eficiência energética, a Tabela 61 apresenta o percentual de redução (ou aumento) do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e total para cada estratégia em relação ao modelo de referência. Neste quesito, as estratégias de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) e de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) são as que apresentam melhor eficiência energética em todas as situações de consumo de energia anual, ou seja, para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização. A estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) também apresenta redução de consumo em todas as situações, entretanto com valores muito baixos. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) tem boa eficiência para aquecimento, mas aumenta o consumo para resfriamento. Comportamento similar tem a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira

(EST 02), com um aumento maior no consumo para resfriamento e, conseqüentemente, aumento no consumo anual total.

No Quadro 8 são apresentadas as estratégias com melhor desempenho térmico e eficiência energética.

Quadro 8 – Estratégias com melhor desempenho para edificação representativa da arquitetura ítalo-brasileira

	<b>Conforto térmico</b>	<b>Temp. diurna verão</b>	<b>Temp. diurna inverno</b>	<b>Temp. noturna verão</b>	<b>Temp. noturna inverno</b>	<b>Eficiência energética</b>
Estratégia	EST 06	EST 06	EST 08	EST 09	EST 08	EST 09
	EST 08	EST 03	EST 06	EST 06	EST 06	EST 06
	EST 02		EST 03			EST 08

Fonte: elaborado pelo autor

Ao observar-se os resultados há uma predominância das estratégias EST 06 e EST 08, que aparecem tanto como estratégias com melhor desempenho térmico, quanto eficiência energética, ao serem elencadas as mais adequadas para os quesitos analisados. Na sequência, as estratégias EST 09 e EST 03 também aparecem como de melhor desempenho ou eficiência. As avaliações que consideraram as horas de desconforto pelo cálculo do índice PMV e as temperaturas em zonas de permanência prolongada diurna e noturna serviram para demonstrar aquelas estratégias com melhor desempenho, além de contribuir para a validação e calibragem dos modelos. Entretanto, em função da sensibilidade dos modelos de simulação, as diferenças foram muito pequenas tanto nas horas de desconforto quanto nas temperaturas. Desta forma, para a posterior ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, foram considerados apenas os resultados advindos da avaliação de eficiência energética, cujos valores são mais significativos.

#### 4.3.5 Avaliação Qualitativa

Conforme estabelecido anteriormente no item 3.4.2.1 a avaliação qualitativa é realizada a partir do resultado da aplicação de questionários a profissionais com atuação na área de patrimônio e afins. As pontuações referentes aos aspectos e critérios, para cada estudo de caso, estão no Apêndice B. A Tabela 62 apresenta as pontuações e as médias ponderadas para cada critério avaliado.

Tabela 62 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério

Critérios	Estratégias									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autenticidade	2,71	3,47	3,41	3,29	1,24	3,06	2,00	3,47	2,41	3,18
Imagem	2,88	3,76	4,00	3,59	1,35	3,53	2,24	3,82	3,29	3,06
Reversibilidade	2,12	3,88	3,76	3,12	1,47	3,29	2,59	3,53	2,65	3,53
Média	<b>2,57</b>	<b>3,71</b>	<b>3,73</b>	<b>3,33</b>	<b>1,35</b>	<b>3,29</b>	<b>2,27</b>	<b>3,61</b>	<b>2,78</b>	<b>3,25</b>
Compatibilidade	2,65	3,24	3,47	3,29	2,24	3,06	3,00	3,47	3,47	3,24
Risco de danos	3,41	4,00	4,12	3,71	2,94	3,71	3,41	4,18	4,12	3,82
Funcionalidade	2,82	4,06	4,00	3,53	1,88	3,35	2,88	3,94	3,82	3,76
Média Técnico	<b>2,96</b>	<b>3,76</b>	<b>3,86</b>	<b>3,51</b>	<b>2,35</b>	<b>3,37</b>	<b>3,10</b>	<b>3,86</b>	<b>3,80</b>	<b>3,61</b>
Funcionais	<b>2,96</b>	<b>3,76</b>	<b>3,86</b>	<b>3,51</b>	<b>2,35</b>	<b>3,37</b>	<b>3,10</b>	<b>3,86</b>	<b>3,80</b>	<b>3,61</b>
<b>Média Ponderada</b>	<b>2,70</b>	<b>3,73</b>	<b>3,77</b>	<b>3,39</b>	<b>1,69</b>	<b>3,32</b>	<b>2,55</b>	<b>3,69</b>	<b>3,12</b>	<b>3,37</b>

Fonte: elaborada pelo autor

Analisando-se os resultados pode-se observar que todos os aspectos técnico-funcionais das estratégias recebem maior pontuação do que os aspectos de compatibilidade patrimonial. Desta forma, de acordo com as respostas, questões técnico-funcionais têm menos impacto do que questões de compatibilidade em relação ao patrimônio. Considerando-se a média ponderada, as estratégias mais adequadas de acordo com as respostas são as de isolamento térmico do telhado (EST 03), de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08), com as maiores pontuações. As estratégias de isolamento térmico do forro (EST 04), de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) vêm na sequência, sendo que das três apenas essa última é aplicável ao estudo de caso. Todas essas estratégias têm pontuação com impacto entre médio e médio baixo conforme a Tabela 16 do item 3.4.2.1. As demais estratégias ficam em uma faixa de impacto muito alto a médio alto. Os valores da média ponderada foram considerados como a pontuação de preservação de cada estratégia.

#### 4.3.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa

Realizando-se uma avaliação integrada dos resultados obtidos a partir das avaliações quantitativa, referente ao desempenho térmico e eficiência energética, e qualitativa, relativa ao

impacto das estratégias de requalificação em relação aos atributos do patrimônio, pode-se estabelecer alguns parâmetros para o estudo de caso: porcentagem de horas de desconforto; pontuação de preservação; consumo energético anual para climatização (aquecimento e resfriamento); diferença do consumo energético anual total para climatização.

Desta forma, a escolha das melhores estratégias de intervenção ocorre a partir do balanceamento desses parâmetros: redução do consumo energético, melhoria do desempenho térmico e compatibilidade em relação aos atributos de preservação. A Tabela 63 apresenta os parâmetros para as estratégias aplicáveis ao estudo de caso em tela.

Tabela 63 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas

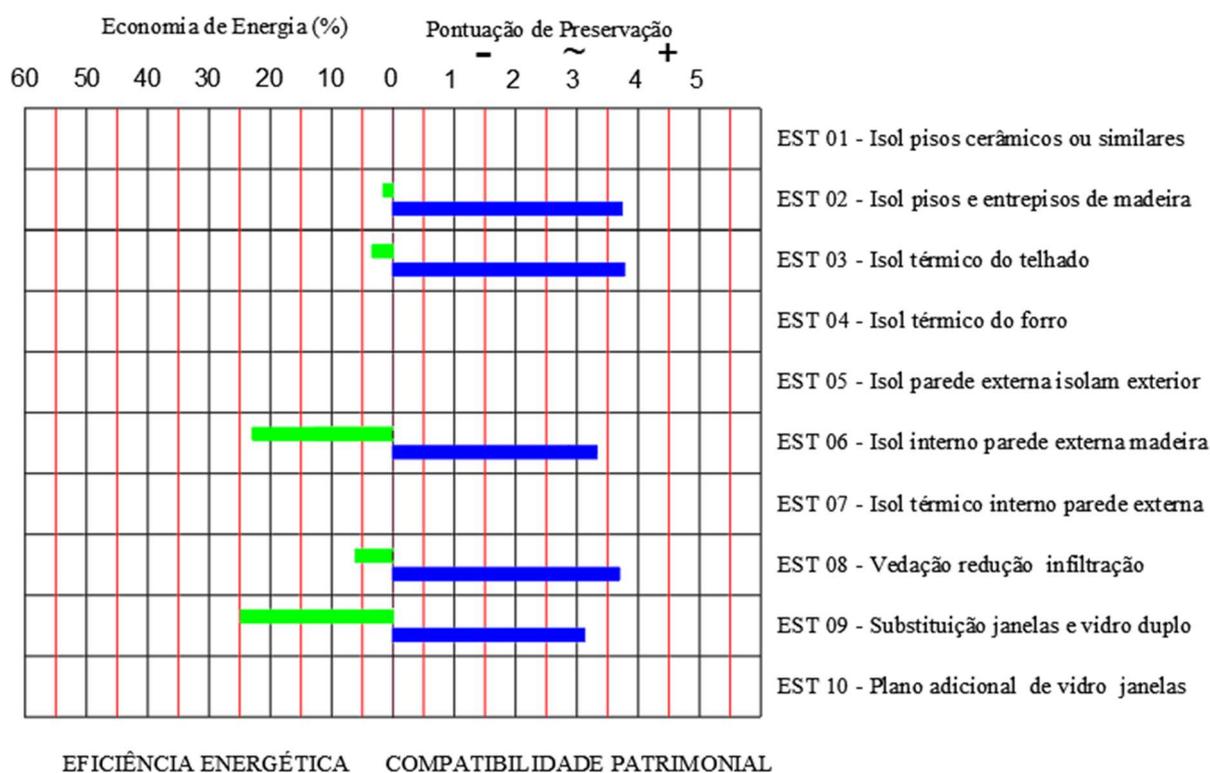
<b>Estratégias de intervenção</b>	<b>Horas de desconforto (%)</b>	<b>Pontuação de preservação</b>	<b>Consumo energético anual (KWh/ano)</b>	<b>Consumo energético diferença anual (%)</b>
MOD-REF	91,3	-	6109,02	-
MOD-EST 02	88,3	3,73	6203,08	+1,54
MOD-EST 03	88,7	3,77	5903,98	-3,36
MOD-EST 06	86,8	3,32	4711,52	-22,88
MOD-EST 08	88,0	3,69	5737,76	-6,08
MOD-EST 09	89,7	3,12	4596,03	-24,77

Fonte: elaborada pelo autor

A partir dessa compilação, em função da pequena variação das horas de desconforto, conforme abordado anteriormente, opta-se como parâmetros, para a ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, os valores referentes à economia de energia das diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência e a pontuação de preservação, respectivamente.

Na Figura 107 tem-se a apresentação gráfica dos resultados da economia de energia, referente à avaliação quantitativa, e da pontuação de preservação, referente à avaliação qualitativa, das diferentes estratégias, numa análise similar a estabelecida por Grünwald, Will e Pohl (2010). Destaca-se que são apresentadas apenas as estratégias que foram avaliadas para o estudo de caso.

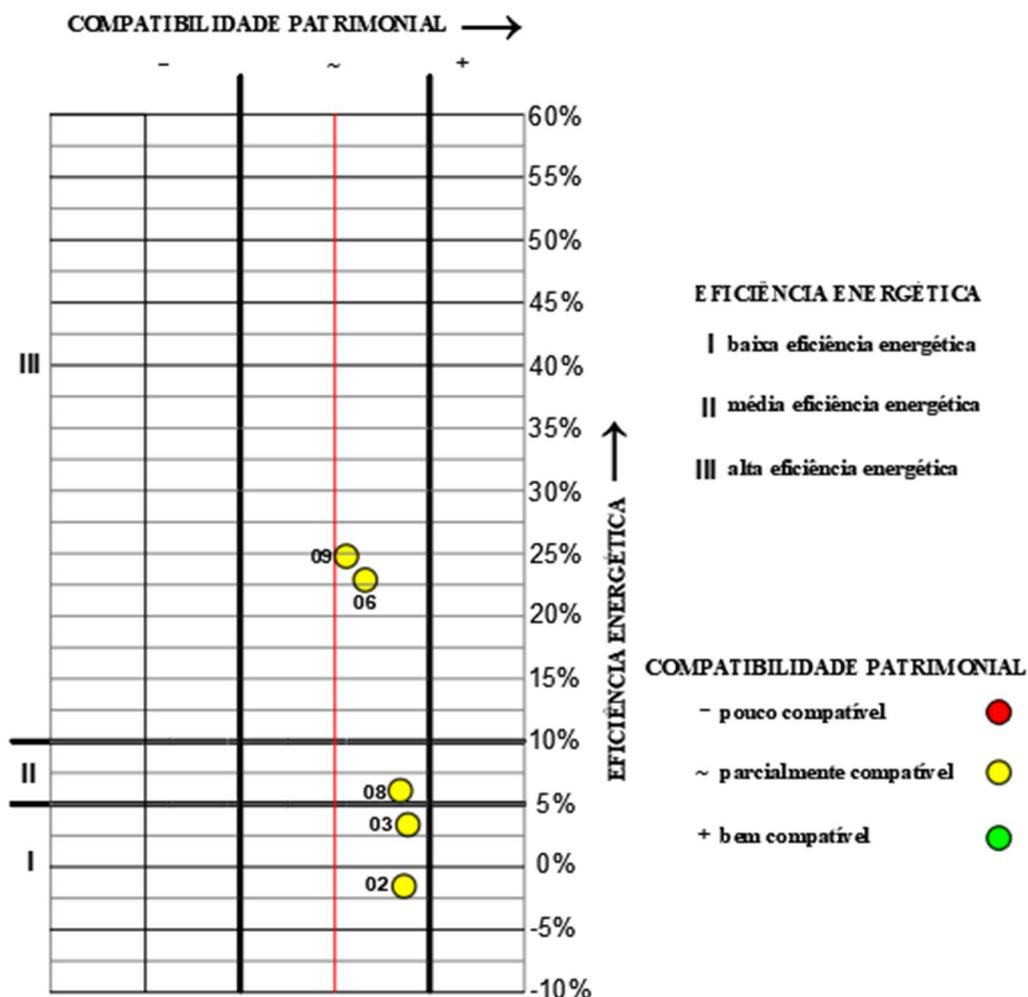
Figura 107 – Economia de energia e pontuação de preservação



Fonte: elaborada pelo autor

A apresentação integrada dos parâmetros é realizada a partir de uma matriz de avaliação onde são contabilizados e comparados os resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, estabelecendo escalas de maior ou menor eficiência e maior ou menor compatibilidade patrimonial para cada estratégia avaliada. Essa matriz tem como referência a apresentação dos resultados das pesquisas de Japiassú (2019) e Grünewald, Will e Pohl (2010). No eixo das ordenadas tem-se a eficiência energética em porcentagem de economia de energia e no eixo das abscissas a pontuação de preservação. Desta forma, as estratégias podem ser plotadas em forma de círculos na matriz em função desses dois valores. Para representar o grau de compatibilidade das diferentes estratégias em relação às questões patrimoniais são aplicadas cores aos círculos conforme legenda. A matriz também estabelece zonas com o grau de compatibilidade em relação ao patrimônio e o nível de eficiência energética. A Figura 108 mostra a apresentação dos resultados na matriz.

Figura 108 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa



Fonte: elaborada pelo autor

A partir da visualização desses resultados pode-se constatar que para a edificação estudo de caso, representativa da arquitetura de imigração ítalo-brasileira, as estratégias mais recomendáveis, ou seja, aquelas que têm maior eficiência energética e maior compatibilidade patrimonial são a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06). A estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) tem boa compatibilidade, mas eficiência energética média. A estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) tem boa compatibilidade patrimonial, mas baixa eficiência energética, o mesmo ocorrendo com a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02).

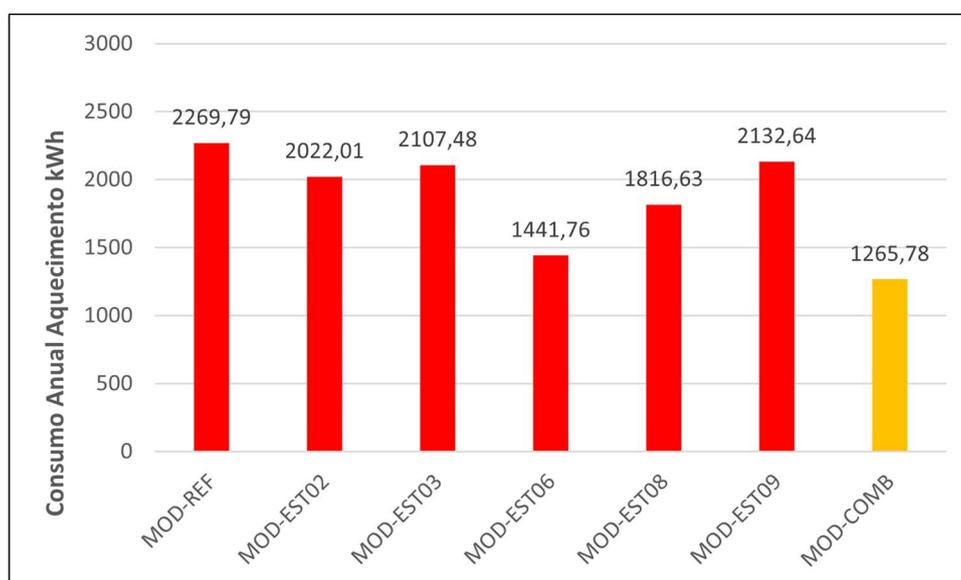
#### 4.3.7 Combinação de estratégias

Finalizando as avaliações para o estudo de caso, foi simulado um modelo combinando as medidas mais recomendáveis, ou seja, que melhor atendem aos critérios de eficiência energética e de compatibilidade patrimonial. Desta forma, será simulado um modelo que

combine as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06). Apenas a eficiência energética do modelo será avaliada nessa combinação de medidas. A estratégia que combina as medidas supracitadas será chamada de EST-COMB.

As Figuras 109, 110 e 111 apresentam os gráficos comparativos do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização do modelo de referência, do modelo das estratégias e do modelo da combinação das estratégias mais eficientes e mais compatíveis com o patrimônio.

Figura 109 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento

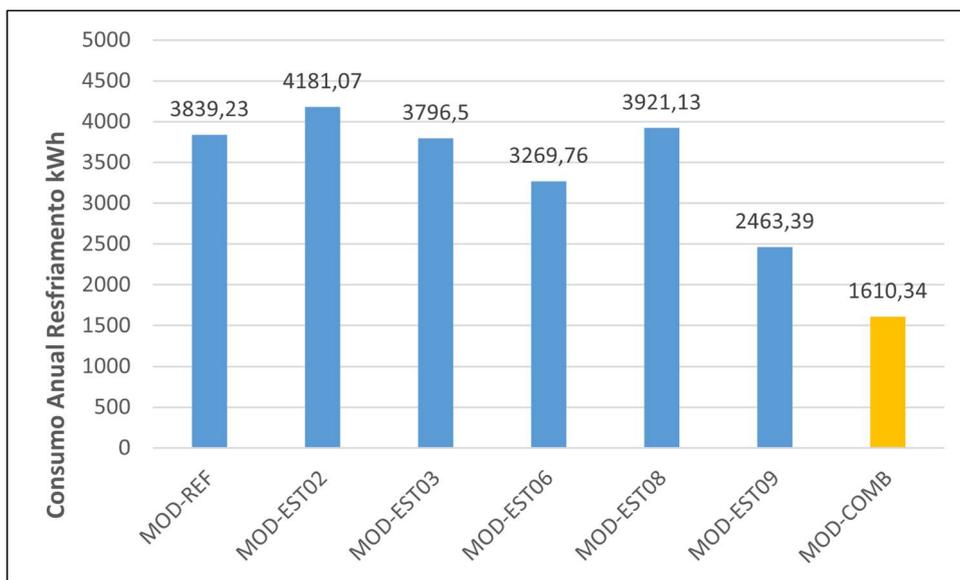


Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se os resultados do gráfico, o modelo combinando as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) reduz o consumo de energia anual para aquecimento em 44,23%, em relação ao modelo de referência, uma razoável redução, mesmo considerando-se que o consumo anual seja relativamente baixo.

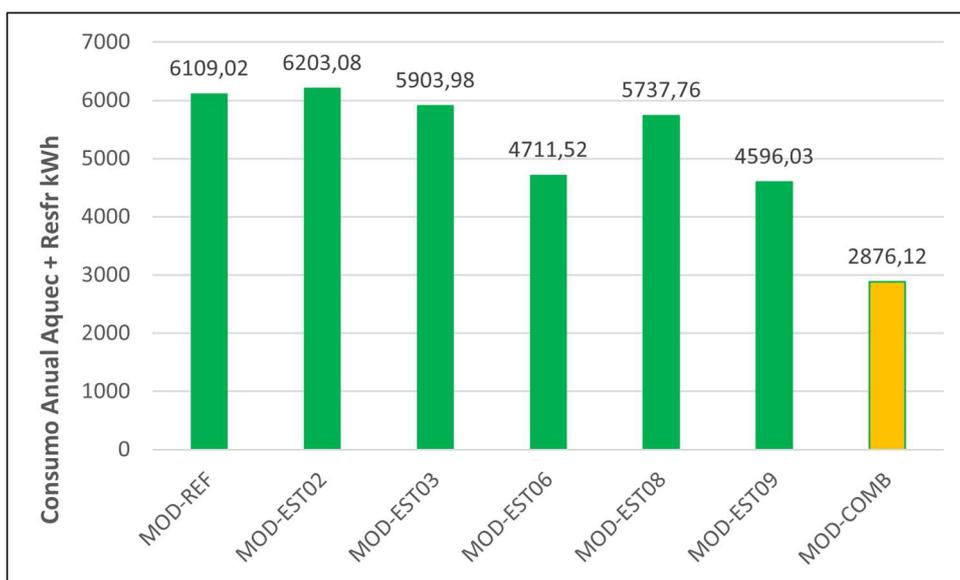
Analisando-se os resultados do gráfico abaixo, o modelo combinando as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) reduz o consumo de energia anual para resfriamento em 58,06%, em relação ao modelo de referência, uma significativa redução.

Figura 110 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 111 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

Na comparação dos resultados, o modelo combinando as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) reduz o consumo de energia anual total para climatização 52,92%, em relação ao modelo de referência.

Por fim, pode-se observar a significativa eficiência energética dessa combinação de estratégias, ressaltando-se que são aquelas mais compatíveis com relação ao patrimônio para o estudo de caso em questão.

#### 4.4 CASA FRASCA – EDIFICAÇÃO REPRESENTATIVA DO ECLETISMO

##### 4.4.1 Caracterização geral da Edificação

A Casa Frasca localiza-se no Bairro Independência, na cidade de Porto Alegre/RS, Latitude 30,029329S e Longitude 51,217140W (Figura 112).

Figura 112 – Imagem de satélite de Porto Alegre com localização da edificação



Fonte: adaptado de Google Earth Pro pelo autor

A edificação, na realidade, é um conjunto de duas unidades geminadas, sendo que na casa da esquina, objeto do estudo, há duas residências: uma no térreo e outra em parte do térreo e no segundo pavimento, configurando uma área total de aproximadamente 498,60m<sup>2</sup> (Figura 113). A residência térrea é constituída por escritório, dois dormitórios e sala de estar. Ao fundo têm-se o banheiro, a cozinha e área de serviço que foram construídos posteriormente, em 1930. O acesso principal a esta residência dá-se pela Rua Barros Cassal, tendo um acesso de serviço pela cozinha através do pátio, nos fundos. A outra residência também tem seu acesso principal pela Rua Barros Cassal e tem no térreo um depósito/loja com acesso pela Avenida Independência. No segundo pavimento, três dormitórios, escritório, salas de jantar e estar e ao fundo, em construção posterior, o banheiro, a cozinha e uma dependência de empregada. Em

espaço contíguo à sala de jantar há uma escada em espiral que leva ao sótão (Figuras 114, 115, 116, 117 e 118).

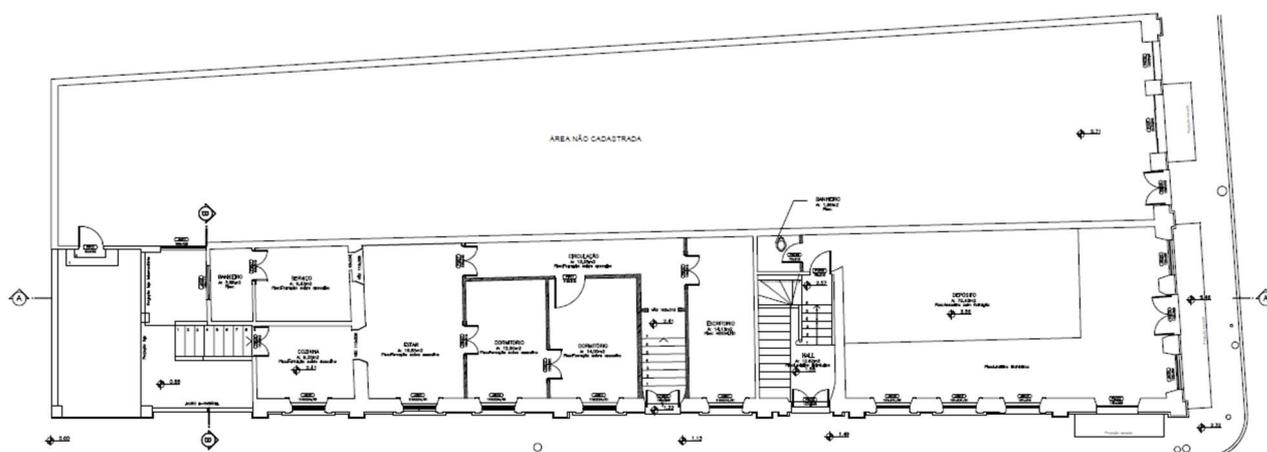
Figura 113 – Casa Frasca



Fonte: foto de Joana Berwanger (disponível em [www.sul21.com.br/cidades/2018/12](http://www.sul21.com.br/cidades/2018/12))

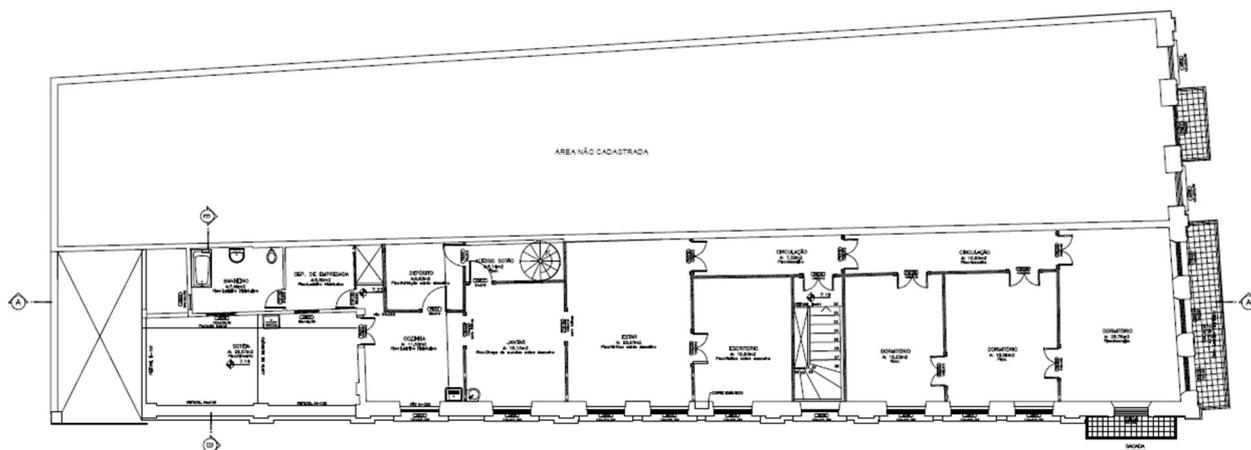
As paredes externas são em alvenaria de tijolos maciços, com larguras diferentes, com reboco de argamassa a base de cal. Algumas paredes internas também são em alvenaria de tijolos, mas a maioria são de pau a pique, também rebocadas com argamassa a base de cal. Os entrespos são compostos por assoalho de madeira e forro de madeira barroteados.

Figura 114 – Planta baixa 1º pavimento



Fonte: adaptada do original da Studio 1 Arquitetura

Figura 115 – Planta baixa 2º pavimento



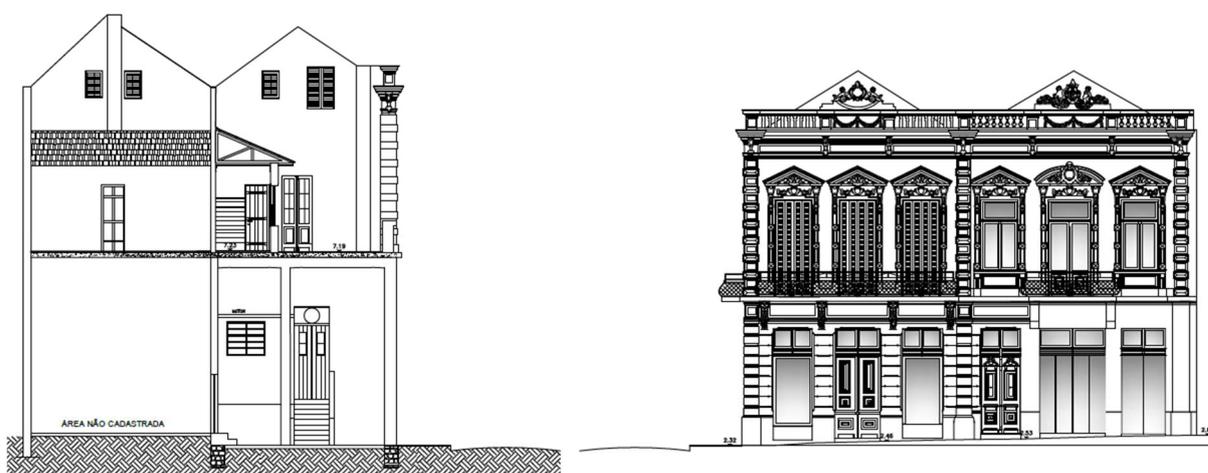
Fonte: adaptada do original da Studio 1 Arquitetura

Figura 116 – Corte AA



Fonte: adaptado do original da Studio 1 Arquitetura

Figura 117 – Corte BB e fachada Av. Independência



Fonte: adaptados do original da Studio 1 Arquitetura

Figura 118 – Fachada Rua Barros Cassal



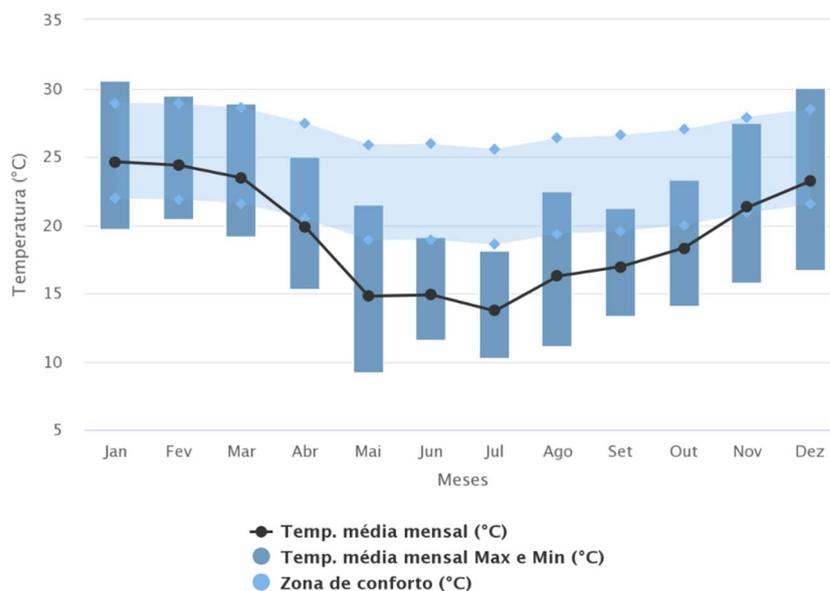
Fonte: adaptada do original da Studio 1 Arquitetura

Na área construída em 1930 o piso é em ladrilho hidráulico assentado sobre laje de concreto. As aberturas são compostas por venezianas e tampos de madeira e caixilharia de vidro. As portas são em madeira e vidro, com ornamentos. A cobertura é com telha cerâmica francesa com estrutura de tesouras de madeira.

#### 4.4.2 Aspectos geográficos e climáticos de Porto Alegre (RS)

O município de Porto Alegre está situado na região central do estado do Rio Grande do Sul, no vale do Jacuí, às margens Lago Guaíba, em uma região relativamente plana.

Figura 119 – Gráfico de temperatura e zona de conforto térmico

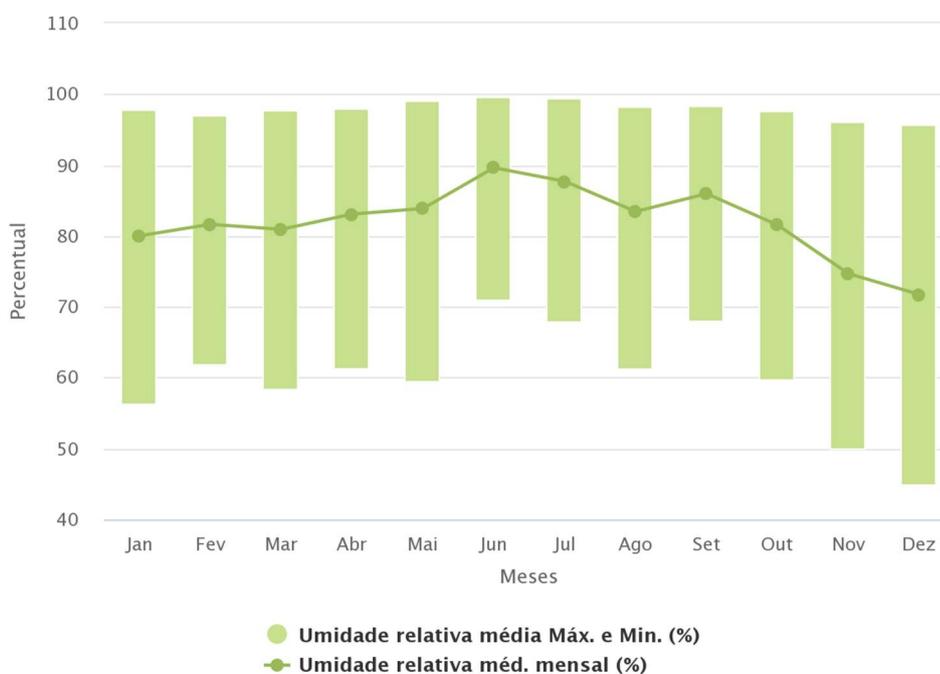


Fonte: (PROJETEEE, 2021)

O clima da localidade é o Cfa – Clima subtropical úmido (mesotérmico), isento de estiagem nítida, úmido em todas as estações, com verão quente e menor frequência de geadas, conforme a classificação de Köppen-Geiger (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Pertence a Zona Bioclimática 3 de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005a). De acordo com dados climáticos do INMET, o município possui temperatura média mensal de 19,54°C, sendo que a temperatura de bulbo seco média mensal máxima é de 24,61°C em janeiro e a temperatura de bulbo seco média mensal mínima de 13,69°C em julho. A amplitude anual média é de 10,07°C (Figura 119).

A umidade relativa do ar média anual fica em 82,01% tendo a média mensal mais baixa em dezembro com 71,74% e a média mensal mais alta em junho com 89,61% (Figura 120).

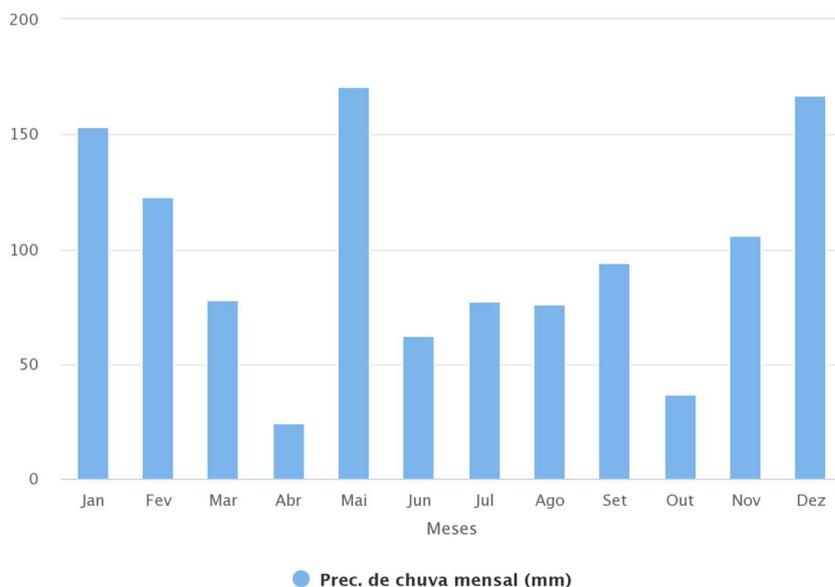
Figura 120 – Gráfico da umidade relativa do ar



Fonte: (PROJETEEEE, 2021)

Os meses mais chuvosos são janeiro com 153mm, dezembro com 167mm e maio com 171mm e os menos chuvosos são abril com 24mm e outubro com 37mm. A precipitação anual é de 1168mm (Figura 121).

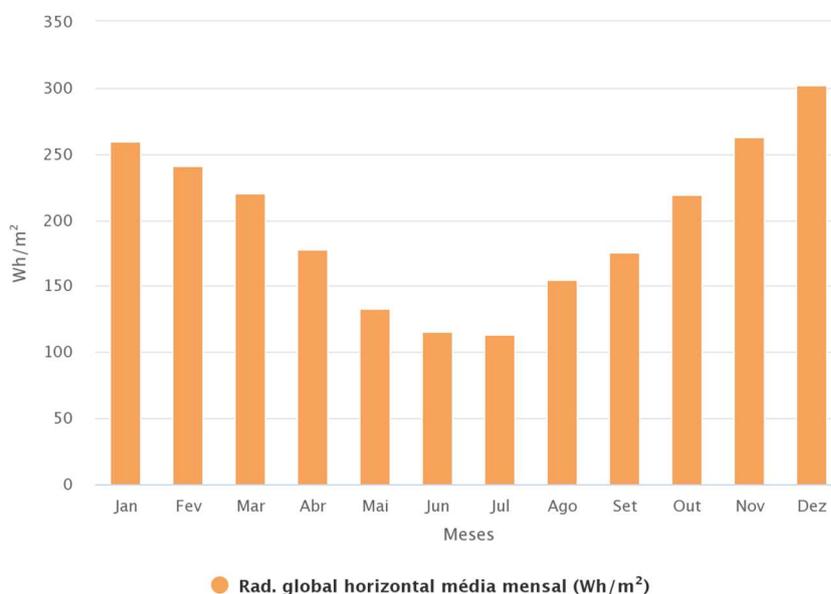
Figura 121 – Gráfico de precipitação



Fonte: (PROJETEEEE, 2021)

A radiação horizontal global média mensal varia de 301,56 Wh/m<sup>2</sup> em dezembro a 113,13 Wh/m<sup>2</sup> em julho (Figura 122).

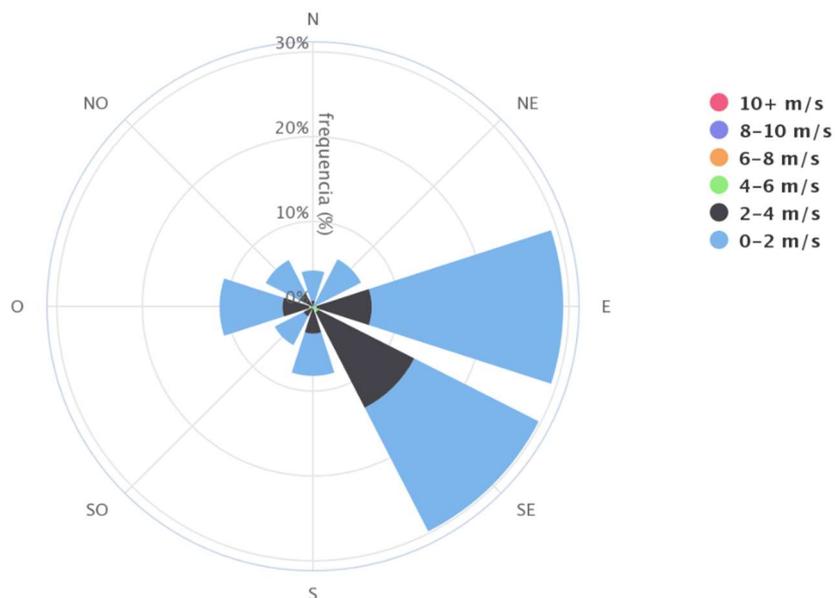
Figura 122– Gráfico da radiação global média mensal



Fonte: (PROJETEEEE, 2021)

Os ventos predominantes são do quadrante leste-sudeste com velocidades médias de 2 m/s (Figura 123).

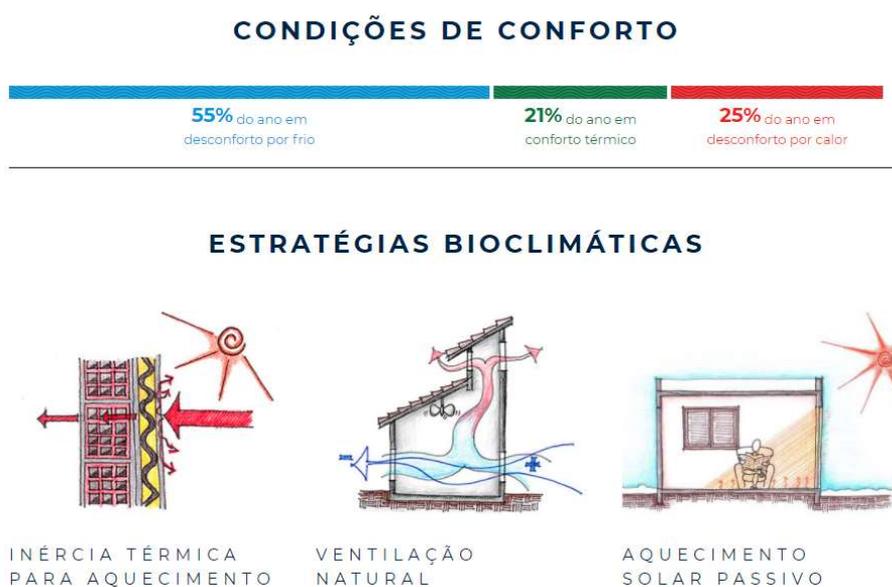
Figura 123– Frequência e velocidade dos ventos



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

De acordo com os dados fornecidos pelo PROJETEEE (2021) Porto Alegre apresenta por ano em média 55% das horas em desconforto por frio, 25% das horas em desconforto por calor e 21% das horas em conforto térmico, sendo que as principais estratégias bioclimáticas recomendadas, neste contexto, são a inércia térmica para aquecimento, a ventilação natural e o aquecimento solar passivo (Figura 124).

Figura 124 – Condições de conforto térmico e estratégias bioclimáticas



Fonte: (PROJETEEE, 2021)

O sombreamento, o resfriamento evaporativo e a inércia térmica para resfriamento, em menor escala, também são estratégias aplicáveis. A Tabela 64 mostra as principais estratégias bioclimáticas de acordo com as estações do ano, bem como os seus percentuais de aplicabilidade.

Tabela 64 – Condições de conforto por estação, principais estratégias bioclimáticas e aplicabilidade

Estação do ano	% desconforto por frio	% conforto térmico	% desconforto por calor	Principais estratégias bioclimáticas	% Aplicabilidade
Verão	13	25	63	Ventilação Natural	49
				Sombreamento	27
				Inércia térmica aquecimento	11
Primavera	54	29	17	Inércia térmica aquecimento	52
				Ventilação Natural	17
				Aquecimento solar passivo	10
Inverno	84	12	4	Inércia térmica aquecimento	56
				Aquecimento solar passivo	35
				Ventilação Natural	4
Outono	68	16	16	Inércia térmica aquecimento	53
				Aquecimento solar passivo	18
				Ventilação Natural	18

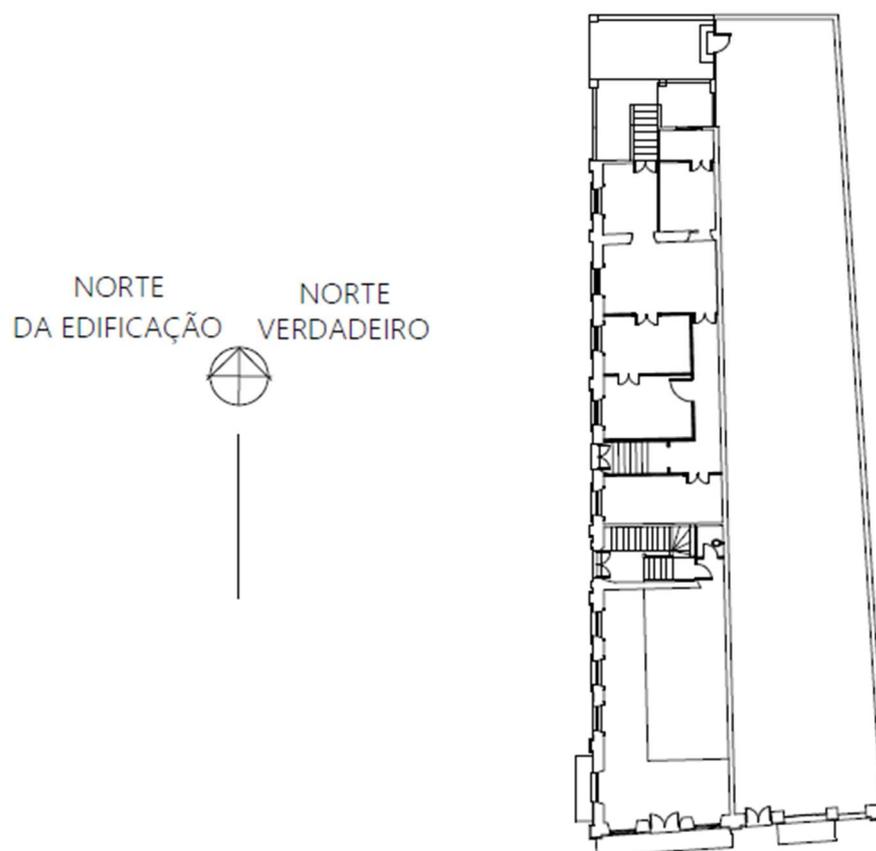
Fonte: adaptado de (PROJETEEE, 2021)

#### 4.4.3 Modelagem da edificação

##### 4.4.3.1 Desvio Azimutal e Geolocalização

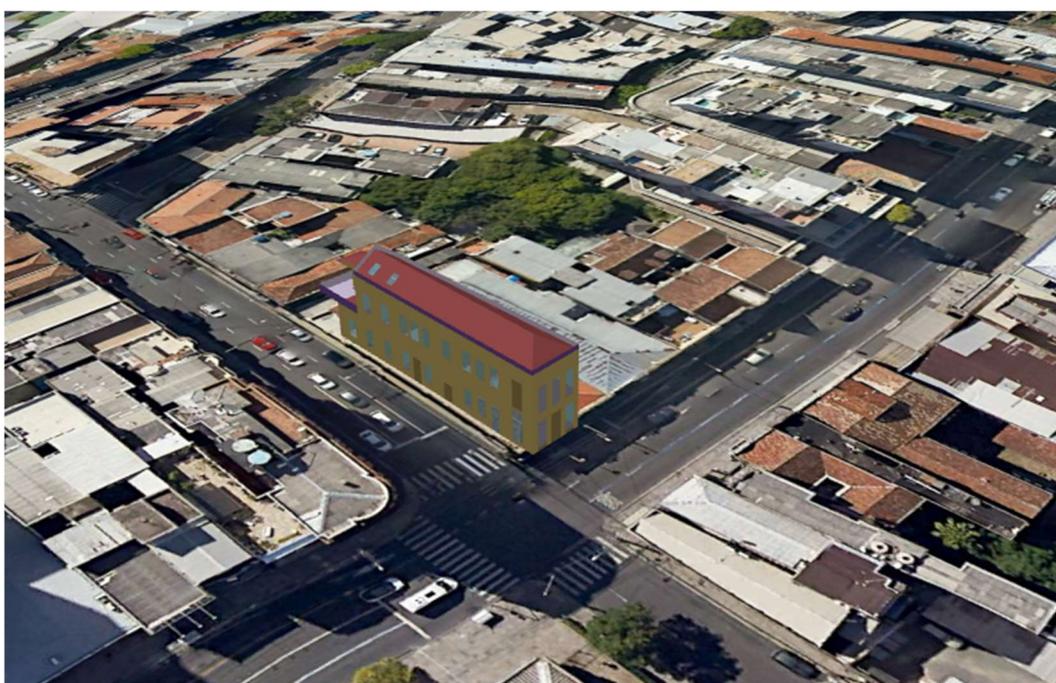
Em relação a sua orientação solar, o desvio azimutal da edificação em relação ao norte é de 0°, usando como ponto de referência a fachada posterior. Nesse caso o norte da edificação coincide com o norte verdadeiro. A Figura 125 mostra a medição desse ângulo realizada a partir da planta baixa proveniente do levantamento de arquivo. No item 3.2.3.1 é descrito o procedimento para a determinação desse ângulo.

Figura 125 – Desvio Azimutal da edificação



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 126 – Geolocalização do modelo



Fonte: elaborada pelo autor

De posse das coordenadas do prédio, e do seu desvio azimutal, é possível georeferenciar o modelo da edificação, inserindo-se esses dados no aplicativo Google Earth. A Figura 126 mostra a posição do modelo que será considerada no programa de simulação. Através dessa figura, pode-se confirmar que as considerações de localização e desvio azimutal estão corretas, pois o modelo se encontra sobre a posição geográfica da edificação.

#### 4.4.3.2 Arquivo Climático

O município de Porto Alegre localiza-se na Zona Bioclimática 3 e possui arquivo climático próprio que será utilizado para a simulação dos modelos.

#### 4.4.3.3 Zoneamento Térmico

Da mesma forma que nos estudos de caso anteriores, as zonas térmicas são definidas no programa de simulação – EnergyPlus – como um volume de ar a temperatura uniforme (ENERGYPLUS, 2020b), com a envoltória de cada zona constituída de superfícies de troca térmica, condições de contorno, como paredes, pisos, tetos, portas e janelas.

Tabela 65 – Zonas térmicas, respectivos ambientes e áreas

(continua)

ZONA TÉRMICA	AMBIENTE	ÁREA APROXIMADA (m <sup>2</sup> )
Z01-CL1	Circulação 1	20,73
Z02-EC1	Escritório 1	16,70
Z03-DO1	Dormitório 1	16,34
Z04-DO2	Dormitório 2	14,85
Z05-ET1	Sala de Estar 1	24,39
Z06-SER	Serviço	11,47
Z07-CZ1	Cozinha 1	12,48
Z08-BN1	Banheiro 1	4,81
Z09-LAV	Lavabo	2,53
Z10-DP1	Depósito 1	86,83
Z11-CL2	Circulação 2	8,46
Z12-CL3	Circulação 3	13,63

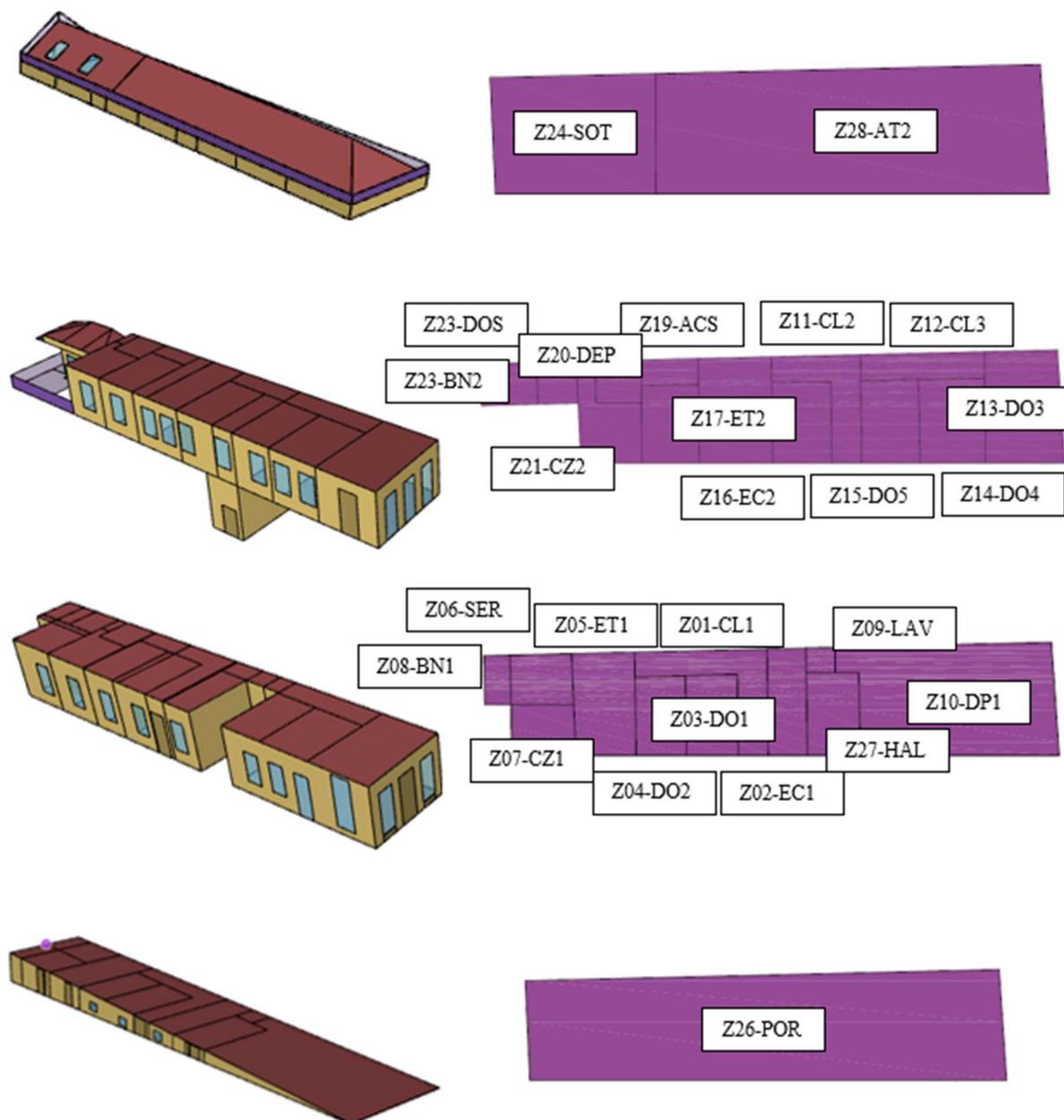
(conclusão)

ZONA TÉRMICA	AMBIENTE	ÁREA APROXIMADA (m <sup>2</sup> )
Z13-DO3	Dormitório 3	33,32
Z14-DO4	Dormitório 4	20,70
Z15-DO5	Dormitório 5	17,93
Z16-EC2	Escritório 2	18,11
Z17-ET2	Sala de Estar 2	29,75
Z18-JAN	Sala de Jantar	18,07
Z19-ACS	Acesso Sótão	5,41
Z20-DP2	Depósito 2	7,58
Z21-CZ2	Cozinha 2	14,88
Z22-DOS	Dormitório de Serviço	6,30
Z23-BN2	Banheiro 2	8,28
Z24-SOT	Sótão	56,78
Z25-AT1	Ático 1	21,85
Z26-POR	Porão	231,79
Z27-HAL	Hall	15,30
Z28-AT2	Ático 2	140,89

Fonte: elaborada pelo autor

A partir da documentação disponível é possível criar o modelo da edificação e a divisão das zonas térmicas, sendo que cada ambiente deve ser modelado como uma zona separada. A edificação foi então dividida em 28 zonas térmicas, levando-se em consideração todos os ambientes do prédio e procurando-se manter todos os detalhes construtivos para que o modelo se aproximasse ao máximo da edificação construída (Tabela 65). A Figura 127 mostra as zonas térmicas em perspectiva e em planta baixa facilitando o entendimento da distribuição das zonas no modelo. O zoneamento foi criado por meio da interface do programa *Google SketchUp* através do *plug-in Euclid*.

Figura 127 – Zoneamento térmico e localização em planta das zonas



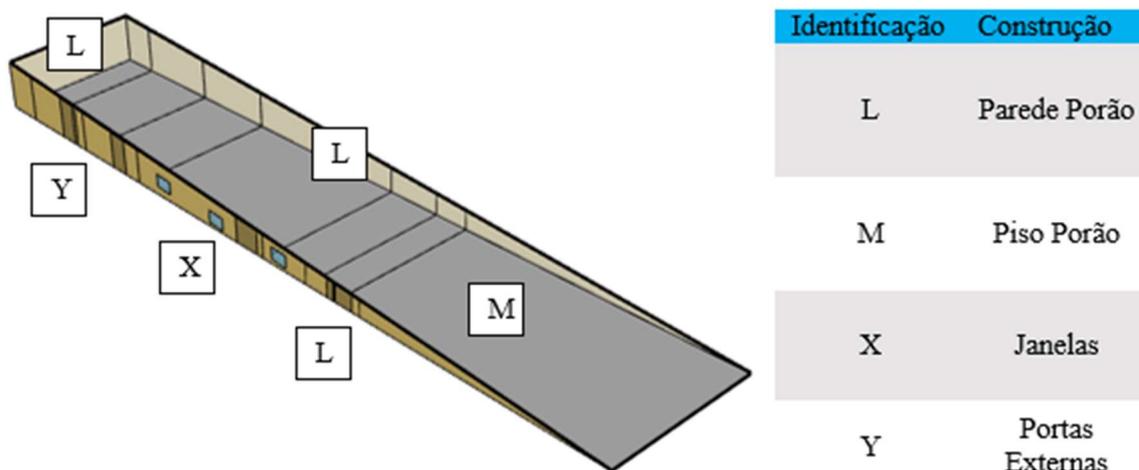
Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.4.3.4 Materiais e Elementos Construtivos

A partir do levantamento das características construtivas da edificação, é possível realizar a especificação dos seus elementos construtivos que foram inseridos no modelo.

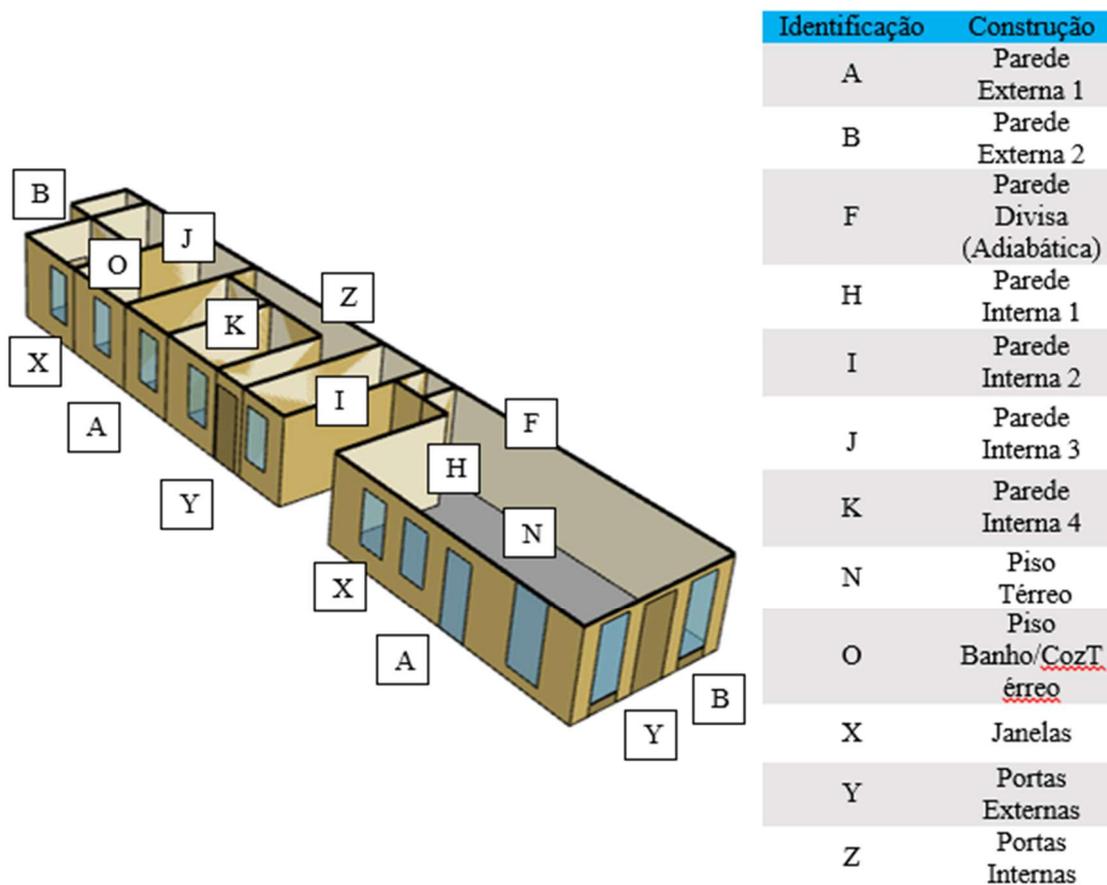
Objetivando facilitar o entendimento, as Figuras 128, 129 e 130 e 131 mostram a localização desses elementos.

Figura 128 – Localização dos elementos construtivos – porão



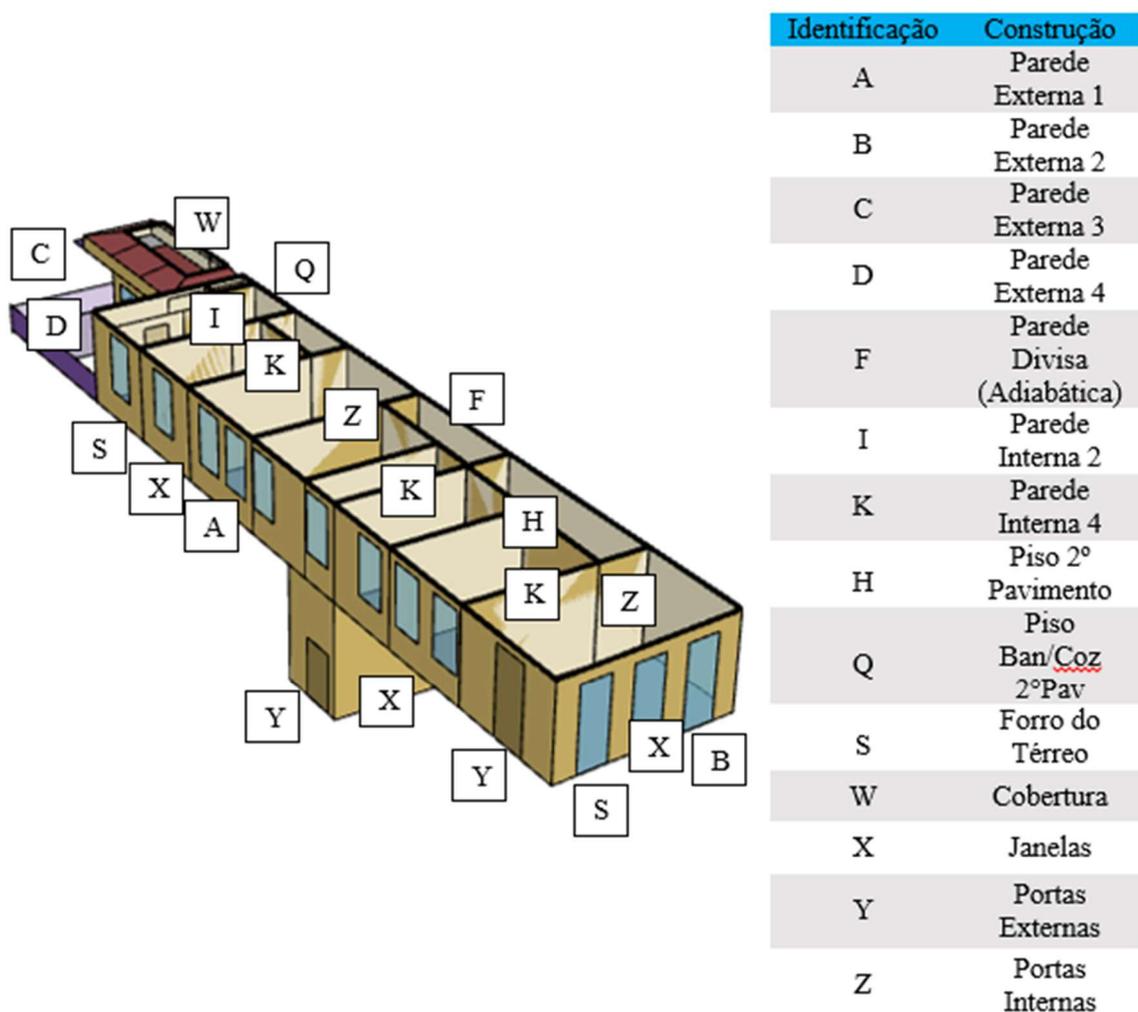
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 129 – Localização dos elementos construtivos – térreo



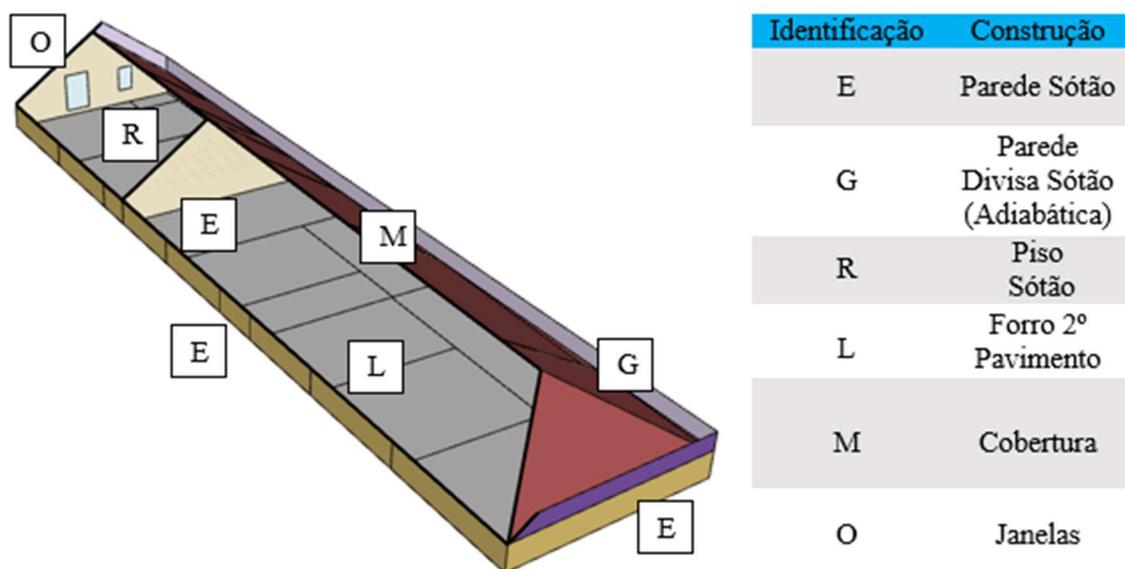
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 130 – Localização dos elementos construtivos – 2º pavimento



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 131 – Localização dos elementos construtivos – sótão



Fonte: elaborada pelo autor

## 4.4.3.5 Propriedades térmicas dos elementos construtivos

Tabela 66 – Construções e propriedades termofísicas dos materiais

(continua)

Ident	Construção	Material	Esp (m)	k (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.K)	U W/m <sup>2</sup> .K
A	Parede Externa 1	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,355
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,465	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
B	Parede Externa 2	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,218
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,54	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
C	Parede Externa 3	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	3,010
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,1	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
D	Parede Externa 4	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	2,256
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,2	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
E	Parede Sótão	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	2,453
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,2	0,9	1800	920	
F	Parede Divisa (Adiabática)	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,876
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,2	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
G	Parede Divisa Sótão (Adiabática)	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,876
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,2	0,9	1800	920	
H	Parede Interna 1	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,552
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,3	0,9	1800	920	
I	Parede Interna 2	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	2,369
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,1	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
J	Parede Interna 3	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,208
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,465	0,9	1800	920	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	
K	Parede Interna 4	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,653
		Pau a Pique	0,1	0,34	1000	1090	
		Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	

(conclusão)

Ident	Construção	Material	Esp (m)	k (W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (J/kg.K)	U W/m <sup>2</sup> .K
L	Parede Porão	Reboco Argamassa de Cal	0,025	0,7	1200	840	1,069
		Alvenaria de Tijolo maciço	0,675	0,9	1800	920	
M	Piso Porão	Solo	0,475	0,87	1360	840	1,412
N	Piso Térreo	Assoalho de Madeira	0,035	0,29	900	1340	2,563
O	Piso Ban/Coz Térreo	Ladrilho Hidráulico	0,015	1,05	2000	920	2,585
		Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1000	
		Laje de Concreto	0,15	1,75	2300	1000	
P	Piso 2º Pav	Assoalho de Madeira	0,035	0,29	900	1340	1,574
		Camada de ar	0,2				
		Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	
Q	Piso Ban/Coz 2ºPav	Ladrilho Hidráulico	0,015	1,05	2000	920	3,233
		Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1000	
		Laje de Concreto	0,15	1,75	2300	1000	
R	Piso Sótão	Assoalho de Madeira	0,035	0,29	900	1340	1,574
		Camada de ar	0,15				
		Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	
S	Forro Térreo	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	1,574
		Camada de ar	0,2				
		Madeira do Piso	0,035	0,29	900	1340	
T	Forro 2º Pav	Madeira do Forro	0,015	0,23	700	1340	1,574
		Camada de ar	0,15				
		Assoalho de Madeira	0,035	0,29	900	1340	
U	Forro Ban/Coz Térreo	Laje de Concreto	0,15	1,75	2300	1000	2,585
		Argamassa de Assentamento	0,02	1,15	2000	1000	
		Ladrilho Hidráulico	0,015	1,05	2000	920	
V	Forro Ban/Coz 2ºPav	Madeira Forro	0,015	0,23	700	1340	3,888
W	Cobertura	Telha Cerâmica	0,013	0,9	920	1600	6,587
X	Janelas	Vidro 3mm	0,003	1,00	2500	840	5,894
Y	Portas Externas	Madeira da Porta Externa	0,025	0,29	900	1340	4,239
Z	Portas Internas	Madeira da Porta Interna	0,025	0,29	900	1340	

Fonte: elaborada pelo autor

A propriedade térmica do material é a resposta ou reação do mesmo à aplicação de calor. O conhecimento das propriedades térmicas dos materiais que constituem a edificação é

necessário para a análise do desempenho térmico, pois são os elementos construtivos que formam o envelope da construção, que é o separador físico entre o exterior e o interior dela, além de separador físico das diferentes zonas térmicas. As propriedades térmicas mais relevantes são: absorvância à radiação solar, refletância à radiação solar, transmitância à radiação solar, emissividade, condutividade térmica, resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica total, e o atraso térmico. As definições de tais propriedades e suas unidades encontram-se na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Na Tabela 66 são apresentadas as construções da edificação, bem com as principais propriedades termofísicas dos materiais. Resistência térmica e transmitância térmica são calculadas automaticamente pelo programa de simulação.

Sabe-se que existem poucas informações sobre as características termofísicas dos materiais históricos. Dessa forma, foi necessário aproximar as características desses materiais tanto com as características de materiais presentes nas normas técnicas, quanto com referências de onde pudessem ser obtidos os valores a serem utilizados nas simulações. As propriedades termofísicas de todos os elementos construtivos da edificação, bem como os valores de absorvância e emissividade dos elementos construtivos externos, foram obtidos na parte 2 da NBR 15220 (ABNT, 2005a). Essa norma também auxiliou na determinação das propriedades térmicas das paredes internas de pau a pique, onde foi necessário o conhecimento das propriedades termofísicas dos componentes dessas paredes. Para isso, foi proposta uma média dos valores de condutividade térmica, densidade e calor específico de madeiras com densidade de massa aparente baixa com terra argilosa seca. Os valores médios obtidos ficam próximos de valores de construções com terra apresentados por (SANTOS, 2020)

Os valores de absorvância e emissividade dos elementos externos da edificação são apresentados na Tabela 67.

Tabela 67 – Valores de absorvância e emissividade das superfícies externas

<b>Tipo de Superfície</b>	<b>Absorvância (<math>\alpha</math>)</b>	<b>Emissividade (<math>\varepsilon</math>)</b>
Reboco Argamassa de Cal	0,2	0,9
Madeira da Porta Externa	0,8	0,9
Tampo Madeira	0,8	0,9
Telha Cerâmica	0,25	0,25

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.4.3.6 Cargas Internas – Ocupação, Equipamento e Iluminação

A distribuição dos ocupantes nos ambientes segue o que foi abordado no item 3.2.4.1, distribuindo-se os ocupantes dos dormitórios uniformemente pelos demais compartimentos de permanência prolongada. A Tabela 68 apresenta essa distribuição. Ainda de acordo com o que foi abordado no item 3.2.4.1, a modelagem deve considerar um padrão de ocupação dos ambientes para os dias de semana e outro para os finais de semana, sendo a ocupação do ambiente representada pela porcentagem das pessoas disponíveis no horário.

Tabela 68 – Número de ocupantes por ambiente

<b>Ambiente</b>	<b>Nº de ocupantes</b>
Dormitório 1	2
Dormitório 2	2
Dormitório 3	2
Dormitório 4	2
Dormitório 5	2
Sala de Estar 1	2
Sala de Estar 2	2
Sala de Jantar	2
Cozinha 1	2
Cozinha 2	2

Fonte: elaborada pelo autor

As cargas internas de equipamentos e iluminação seguem o que foi estabelecido nos itens 3.2.4.2 e 3.2.4.3.

#### 4.4.3.7 Cargas Internas – Atividade e Vestimenta

A carga interna referente às atividades desempenhadas pelos ocupantes dos espaços segue as premissas estabelecidas na seção 3.2.4.4. A Tabela 69 apresenta as taxas metabólicas para os ambientes ocupados na edificação.

A vestimenta utilizada pelos ocupantes dos ambientes da edificação pode ser mensurada através do seu índice de resistência térmica, Icl. Para definir o Icl foi criado um perfil de vestimenta para cada estação do ano, considerando-se os valores estabelecidos pelas normas internacionais (ASHRAE, 2017; ISO, 2005) e o que foi abordado no item 3.2.4.4. A Tabela 70 apresenta o Icl para cada estação.

Tabela 69 – Taxas metabólicas para as atividades dos diferentes ambientes

<b>Ambiente</b>	<b>Taxa Metabólica (W/m<sup>2</sup>)</b>
Dormitório 1	45/ocupante
Dormitório 2	45/ocupante
Dormitório 3	45/ocupante
Dormitório 4	45/ocupante
Dormitório 5	45/ocupante
Sala de Estar 1	60/ocupante
Sala de Estar 2	60/ocupante
Sala de Jantar	60/ocupante
Cozinha 1	95/ocupante 1
	60/ocupante 2
Cozinha 2	95/ocupante 1
	60/ocupante 2

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 70 - Índice de resistência térmica das vestimentas para cada estação

<b>Estação do Ano</b>	<b>Conjunto de Vestimenta</b>	<b>Icl (clo)</b>
Verão	Roupa de baixo; bermuda ou vestido; camiseta; sandália	0,37
Outono e Primavera	Roupa de baixo; abrigo; camiseta; calçado	0,61
Inverno	Roupa de baixo; camiseta; abrigo e moletom; meia; calçado	0,85

Fonte: elaborada pelo autor

Buscando-se uma maior aproximação com a realidade, os *schedules* dos índices de resistência térmica das vestimentas foram majorados em 25% no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e em 50% das 24h00 às 8h00, para todas as estações do ano.

#### 4.4.3.8 Infiltração de Ar

Os valores de infiltração são os anteriormente estabelecidos de 0,5 troca por hora para o período de inverno, com portas e janelas mais fechadas, um valor médio de infiltração de 0,75 troca por hora para estações intermediárias do ano e taxa de infiltração de 1,0 troca por hora para o verão, com portas e janelas mais abertas. Entretanto, sabendo-se que no período noturno as pessoas tendem a fechar as aberturas, propõe-se uma redução de 25% na taxa de infiltração no período compreendido entre 18h00 e 24h00 e de 50% no período compreendido entre 24h00 e 8h00. Essa redução é proposta para todas as estações do ano.

#### 4.4.3.9 Sistema de Condicionamento do Ar

As informações do arquivo climático consideram que o dia de projeto de inverno é o dia 21 de julho, e o dia de projeto de verão é o dia 21 de dezembro.

A Tabela 71 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de inverno para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 3,9 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência cumulativa anual de 99,6% das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Porto Alegre. Isso significa dizer que, acima da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 71 – Dia de projeto de inverno

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Inverno	3,9	3,9	0	1	300

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

ΔTbs = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

A Tabela 72 apresenta as condições climáticas do dia de projeto de verão para a temperatura de bulbo seco (Tbs) em 34,9 °C, que é o valor máximo dessa temperatura, na frequência de ocorrência cumulativa anual de 0,4 % das 8760 horas da distribuição normal, para a cidade de Porto Alegre. Isso significa dizer que, abaixo da frequência de ocorrência cumulativa escolhida para o dia de projeto, o sistema de ar-condicionado pode não ser capaz de manter a temperatura média do ar da zona na temperatura de controle do termostato.

Tabela 72 – Dia de projeto de verão

<b>Dia de projeto</b>	<b>Tbs (°C)</b>	<b>Tbu (°C)</b>	<b>ΔTbs (°C)</b>	<b>V (m/s)</b>	<b>D</b>
Verão	34,9	24,7	9,7	3,6	290

Fonte: elaborada pelo autor

Sendo:

Tbs = Temperatura de bulbo seco;

Tbu = Temperatura de bulbo úmido;

$\Delta T_{bs}$  = é a amplitude da variação da temperatura de bulbo seco;

V = velocidade média do vento;

D = direção do vento (N = 0° ; L = 90° ; S = 180° ; O = 270° )

Os dias típicos foram utilizados pelo programa de simulação para o auto dimensionamento dos equipamentos de ar-condicionado de janela, para as zonas de permanência prolongada, inclusive a cozinha.

#### **4.4.4 Avaliação Quantitativa – Simulação Termoenergética**

##### 4.4.4.1 Avaliação do desempenho térmico

###### *4.4.4.1.1 Comparação do percentual de horas de desconforto pelo índice PMV*

Inicialmente foram determinadas as estratégias a serem avaliadas para a edificação em estudo de acordo com uma análise preliminar de sua aplicabilidade em função das características da edificação. As estratégias são as seguintes:

EST02 – isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira

EST03 – isolamento térmico do telhado

EST05 – isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior

EST07 – isolamento térmico interno das paredes externas

EST08 – vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração

EST09 – substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade

EST10 – instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas

A Tabela 73 apresenta, a partir dos valores do PMV calculado pelo programa de simulação para o modelo de referência (MOD-REF) e para os modelos representativos das estratégias a serem implementadas, a porcentagem de horas de desconforto anuais por frio, calor e totais anuais. A partir desses resultados são calculadas as diferenças apontando se houve aumento ou redução das porcentagens das horas de desconforto para frio e calor. Os valores de PMV calculados levaram em conta uma ponderação dos valores individuais obtidos considerando-se a atividade dos dois ocupantes das cozinhas, cuja taxa metabólica é diferente, conforme estabelecido anteriormente no item 4.1.3.7. Também é feita uma comparação com as condições de conforto apresentadas pelo PROJETEEE (2021) para a cidade onde se localiza a edificação, com os valores obtidos pela simulação.

Tabela 73 – Porcentagem de horas de desconforto em função dos valores do PMV simulados

Modelo	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)	Frio	Calor	Horas de Desconforto Anual (%)
				Diferença (%)		
MOD-REF	43,9	17,1	39,0			82,9
MOD-EST02	39,7	16,3	44,0	-9,6	+12,8	83,7
MOD-EST03	42,9	17,1	40,0	-2,3	+2,6	82,9
MOD-EST05	51,5	19,7	28,9	+17,3	-25,9	80,4
MOD-EST07	45,6	18,0	36,4	+3,9	-6,7	82,0
MOD-EST08	35,8	13,3	50,9	-18,5	+30,5	86,7
MOD-EST09	49,7	19,5	30,7	+13,2	-21,3	80,4
MOD-EST10	46,7	18,7	34,6	+6,4	-11,3	81,3
PROJETEEE	55,0	21,0	24,0	+25,3	-38,5	79,0

 Favorável
  Intermediário
  Desfavorável

Fonte: elaborada pelo autor

Inicialmente, a análise dos resultados apresentados permite observar que os valores calculados para o modelo de referência diferem um pouco dos valores de referência para a cidade fornecidos pelo PROJETEEE (2021), apesar de manterem a relação de maior desconforto por frio do que por calor. Uma explicação para essa diferença pode estar na classe para o conforto térmico adotado para o PMV. Conforme a norma ISO 7730 (ISO, 2005) a classe adotada foi a B, com um percentual de pessoas insatisfeitas (PPD) menor do que 10%. Se a classe adotada fosse a classe C, que permite um maior relaxamento dos padrões de conforto, os resultados poderiam ficar mais próximos daqueles estabelecidos para a cidade. Considerando-se separadamente as horas de desconforto para frio e calor, a estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) diminui em 25,9% as horas de desconforto por calor, mas em contrapartida, aumenta as horas de desconforto por frio em 17,3%. Mesmo assim é uma das estratégias que produz maior redução nas horas desconforto anuais totais. Comportamento similar tem a estratégia de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09) que reduz em 21,3% as horas de desconforto por calor, mas em contrapartida, aumenta as horas de desconforto por frio em 13,2%. É outra estratégia que produz maior redução nas horas desconforto anuais totais. Por outro lado, a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) reduz as horas de desconforto anuais por frio em 18,5%, mas em contrapartida aumenta as horas de desconforto

anuais por calor em 30,5%. É a estratégia com maior aumento das horas de desconforto anuais totais. As estratégias de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) têm comportamento similar reduzindo as horas de desconforto anuais por calor em 11,3% e 6,7% respectivamente, mas aumentando as horas de desconforto anuais por frio em 6,4% e 3,9 % respectivamente. Ambas as estratégias reduzem as horas de desconforto anuais totais em relação ao modelo de referência. A estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) não tem qualquer impacto na redução das horas de desconforto anuais totais e a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) produz aumento dessas horas.

Levando-se em consideração as principais estratégias bioclimáticas, recomendadas para a cidade onde está localizada a edificação em estudo (PROJETEEE, 2021), a inércia térmica para aquecimento aparece como a principal recomendação, sendo sua maior aplicabilidade para o desconforto por frio no inverno, outono e primavera, em mais de 50% das horas. Nenhuma das estratégias se enquadra nesse perfil, já que as que reduzem as horas de desconforto por frio, aumentam as horas de desconforto por calor e as horas anuais totais.

#### 4.4.4.1.2 Considerações sobre orientação solar

Na comparação dos resultados obtidos na simulação do PMV para as condições de conforto do modelo de referência considerando-se a edificação e depois girando o modelo 90°, 180° e 270°, através de uma parametrização das simulações, observa-se que com a orientação da edificação 270° da original, os valores ficam mais próximos daqueles estabelecidos para a localidade que são 55% para desconforto por frio, 21% para desconforto por calor e 25% para desconforto anual total (PROJETEEE, 2021). Mesmo assim as diferenças não foram tão significativas no PMV para as quatro orientações. Desta forma, a parametrização permite a otimização da escolha da orientação para a simulação da edificação. A Tabela 74 apresenta, para cada orientação, as porcentagens de horas de desconforto por frio e calor e a porcentagem das horas de conforto da edificação.

Tabela 74 – Horas de conforto e desconforto para frio e calor para as orientações

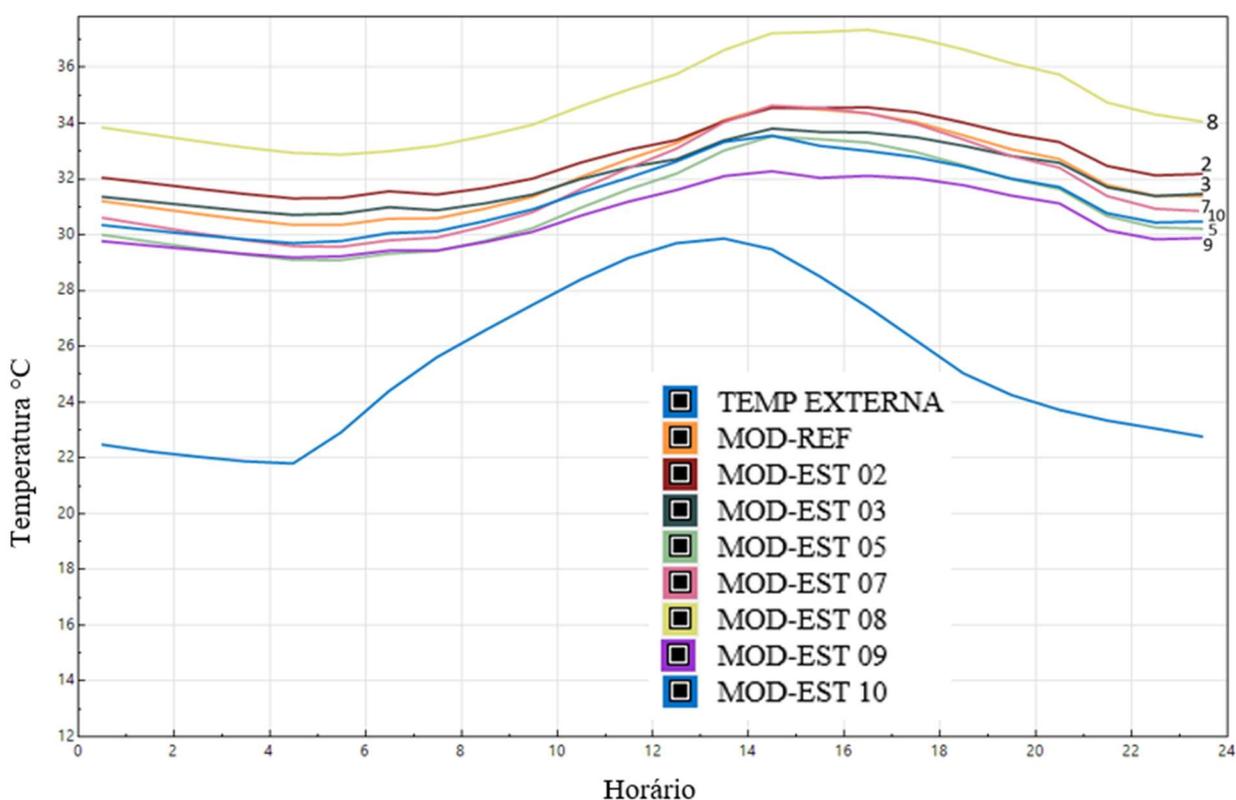
<b>Condição de Conforto</b>	<b>Desvio 0° (%)</b>	<b>Desvio 90° (%)</b>	<b>Desvio 180° (%)</b>	<b>Desvio 270° (%)</b>
Frio	43,9	40,4	42,7	49,7
Conforto	17,1	17,3	17,2	19,5
Calor	39,0	42,3	40,1	30,8

Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.4.4.1.3 Considerações sobre temperaturas nas zonas térmicas

Para uma melhor avaliação do desempenho térmico da edificação, outra análise a ser realizada é das temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna, no caso a sala, e outra de permanência prolongada noturna, no caso um dos dormitórios. São apresentadas as temperaturas médias diárias, para janeiro (período quente) e depois junho (período frio). Essa análise comparativa é feita para o modelo de referência e para os modelos das demais estratégias a serem implementadas na edificação. A Figura 132 apresenta as temperaturas para a zona Z17-ET2 (zona de permanência prolongada diurna) para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 132 – Temperatura média diária para janeiro na sala de estar 2



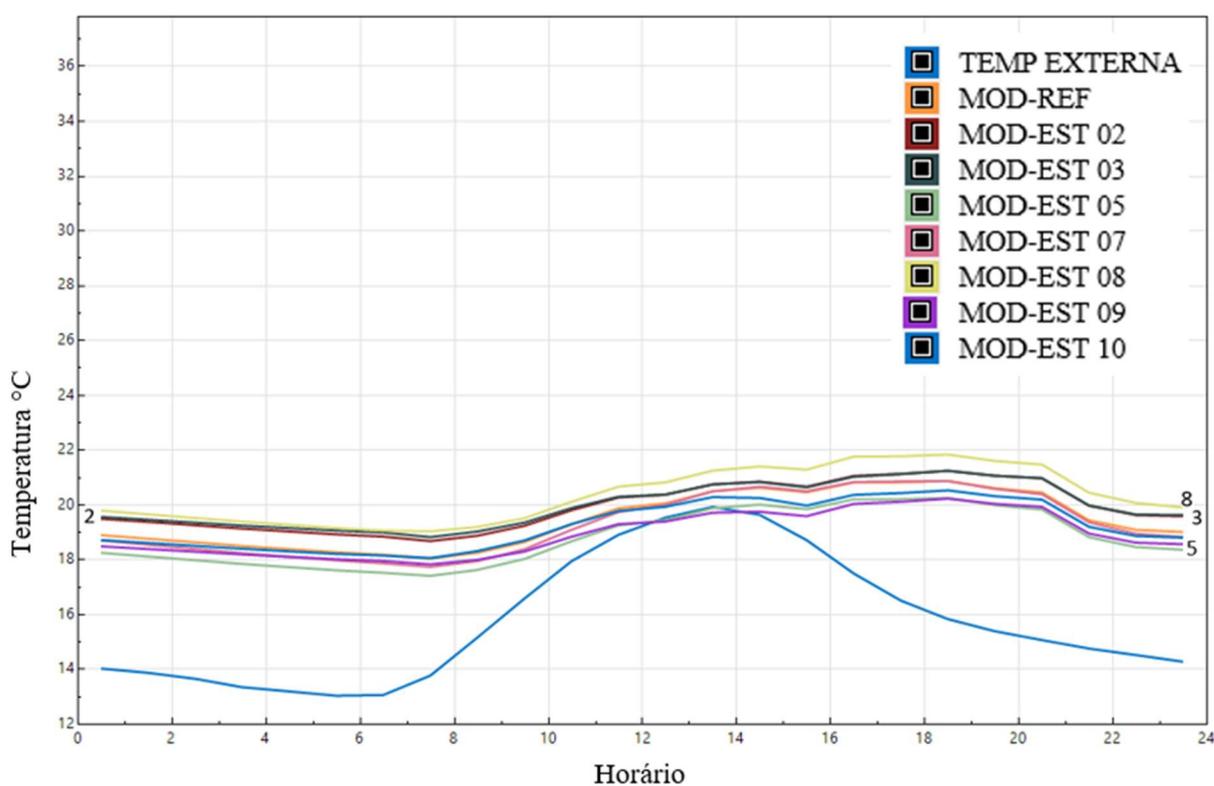
Fonte: elaborada pelo autor

Quando se compara as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro na sala de estar 2, constata-se que as temperaturas internas são elevadas tanto para o modelo de referência quanto para os modelos das estratégias. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que tem as temperaturas mais altas, seguida de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e isolamento térmico do telhado (EST 03). Essas três estratégias têm as temperaturas mais altas comparando-se com as temperaturas do modelo de referência. As estratégias de isolamento térmico interno das paredes

externas (EST 07), de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) e de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) têm temperaturas abaixo do modelo de referência. A estratégia que traz as temperaturas mais baixas é a de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09), embora sejam muito mais altas que a temperatura externa, em todas as horas do dia.

A Figura 133 apresenta as temperaturas para a zona Z17-ET2 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 133 – Temperatura média diária para junho na sala de estar 2



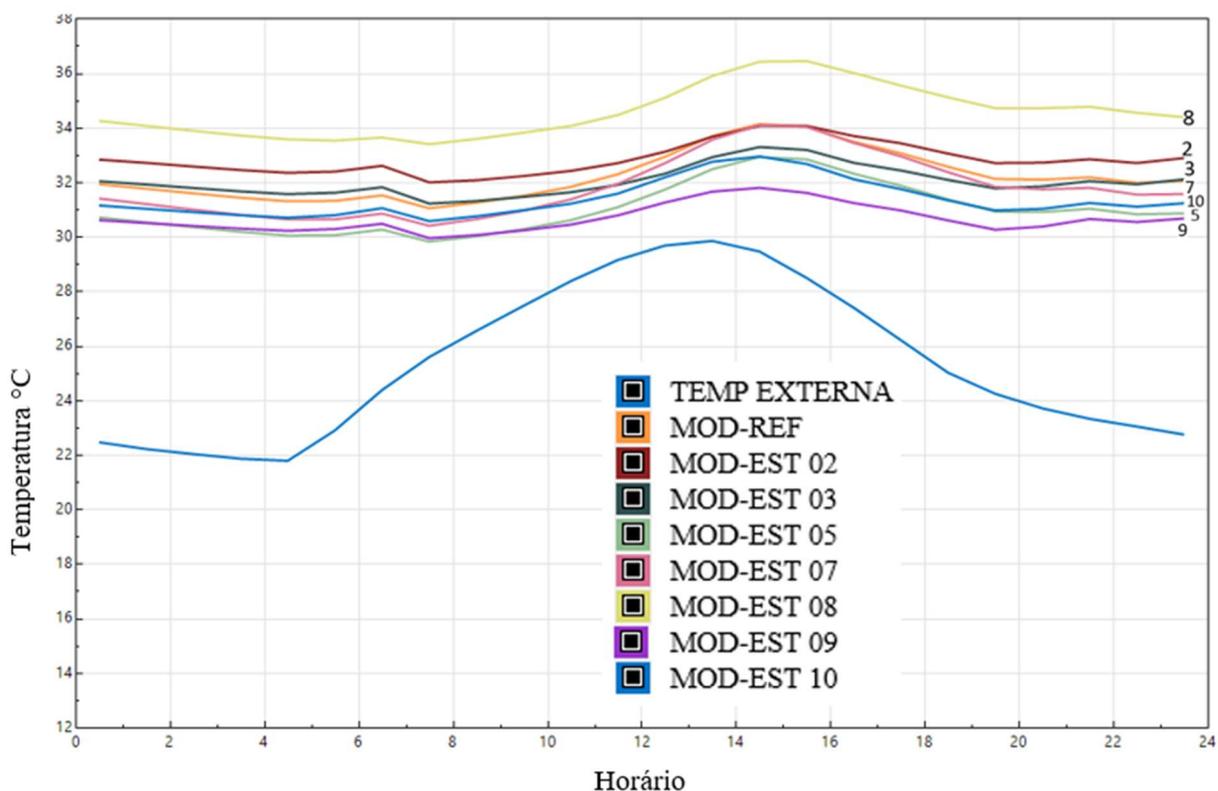
Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho na sala de estar 2, vê-se que há um comportamento similar em relação às temperaturas do modelo de referência e das diferentes estratégias com uma variação em torno de 2°C. Nesse período, a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que apresenta melhor comportamento, aumentando a temperatura durante todo o dia, sobremaneira no período noturno. As estratégias de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e de isolamento térmico do telhado (EST 03) vêm na sequência, com temperaturas acima das do modelo de referência. Já a estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) é a que apresenta pior desempenho nesse período, mantendo

as temperaturas sempre mais baixas durante todo o dia, inclusive mais baixas do que as temperaturas externas entre 12h00 e 14h00.

A Figura 134 apresenta as temperaturas para a zona Z15-DO5 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em janeiro, além da temperatura externa.

Figura 134 – Temperatura média diária para janeiro no dormitório 5

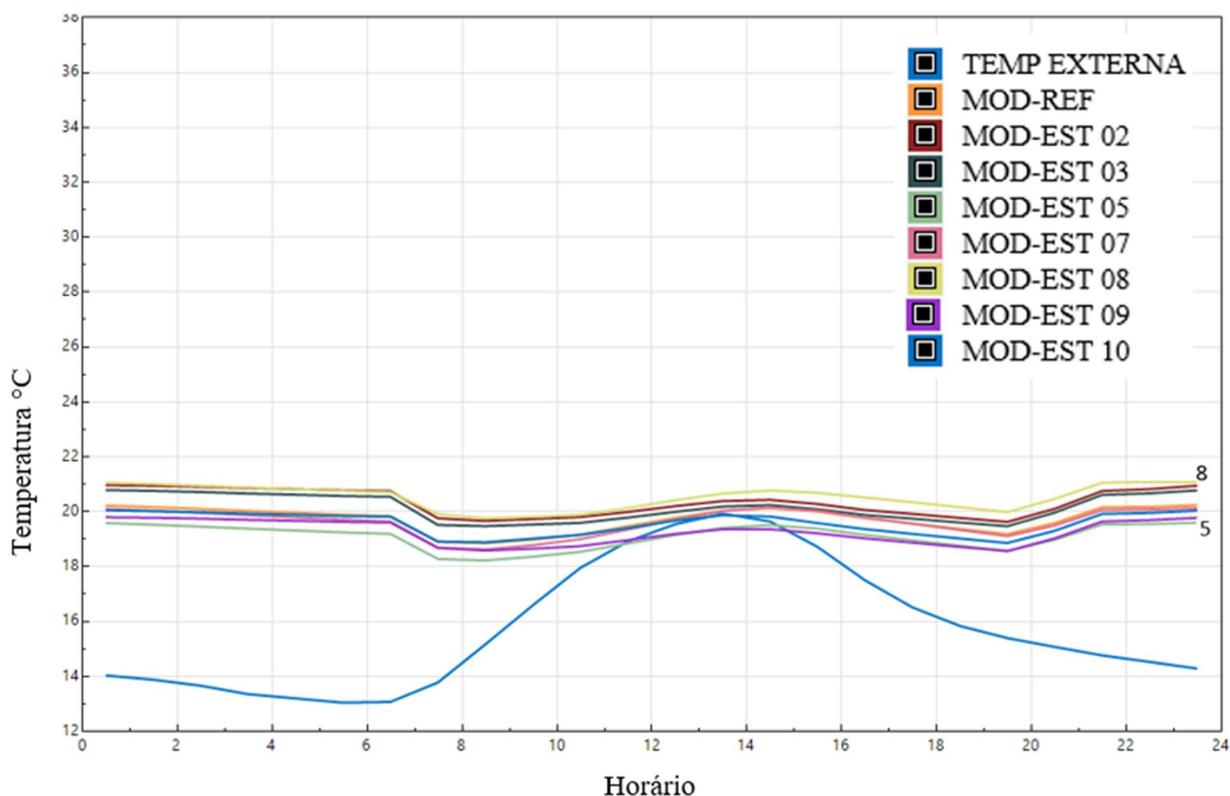


Fonte: elaborada pelo autor

Comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de janeiro no dormitório 5, observa-se que tanto o modelo de referência quanto as estratégias têm temperaturas internas muito altas, com uma variação em torno de 4° C, no período noturno. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) é a que tem as temperaturas mais altas, seguida de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e isolamento térmico do telhado (EST 03). Essas três estratégias têm as temperaturas mais altas comparando-se com as temperaturas do modelo de referência. Com temperaturas abaixo do modelo de referência ficam as estratégias de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) e de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09), sendo essa última a com melhor desempenho.

A Figura 135 apresenta as temperaturas para a zona Z15-DO5 para o modelo de referência e para os modelos de cada estratégia em junho, além da temperatura externa.

Figura 135 – Temperatura média diária para junho no dormitório 5



Fonte: elaborada pelo autor

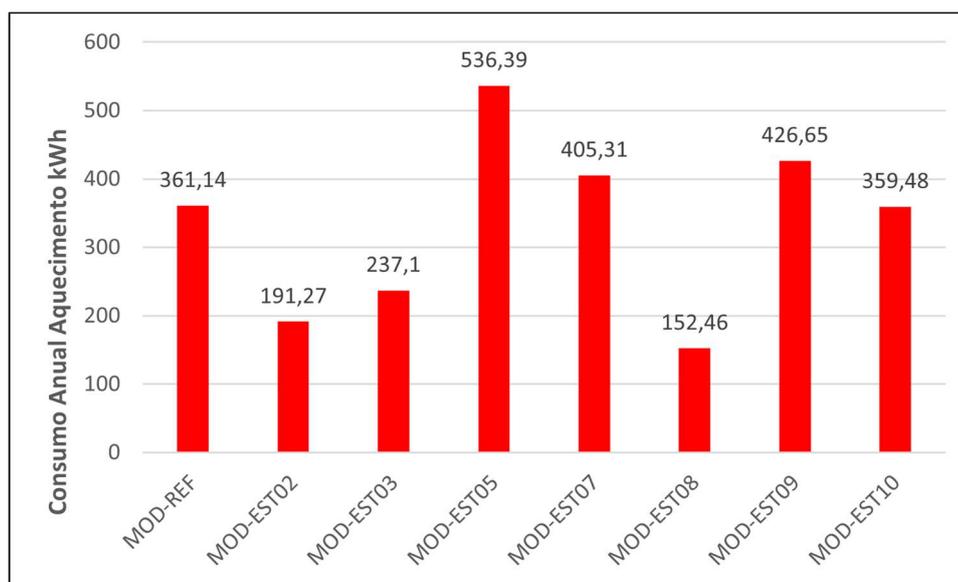
No inverno, por outro lado, comparando-se as temperaturas médias diárias para o mês de junho no dormitório 5, tem-se um comportamento similar em todas as estratégias, com uma variação nas temperaturas menor do que 1°C. Neste período, a estratégia com melhor desempenho, ou seja, que mantém as temperaturas mais altas, é a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08). A com pior desempenho é a estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), que mantém temperaturas mais baixas do que as externas no horário entre 11h00 e 15h00.

#### 4.4.4.2 Avaliação da eficiência energética

A avaliação da eficiência energética é feita através da comparação do consumo de energia elétrica anual de um sistema de ar-condicionado auto dimensionado pelo programa de simulação, para buscar o conforto térmico da edificação. Essa comparação é feita através da simulação do consumo de energia anual para resfriamento e aquecimento, do modelo de

referência e dos modelos propostos para cada estratégia. As Figuras 136, 137 e 138 apresentam três gráficos desse consumo de energia: o primeiro apresenta o consumo energético para o aquecimento dos ambientes, o segundo para o resfriamento e o terceiro o consumo total para condicionamento de ar da edificação.

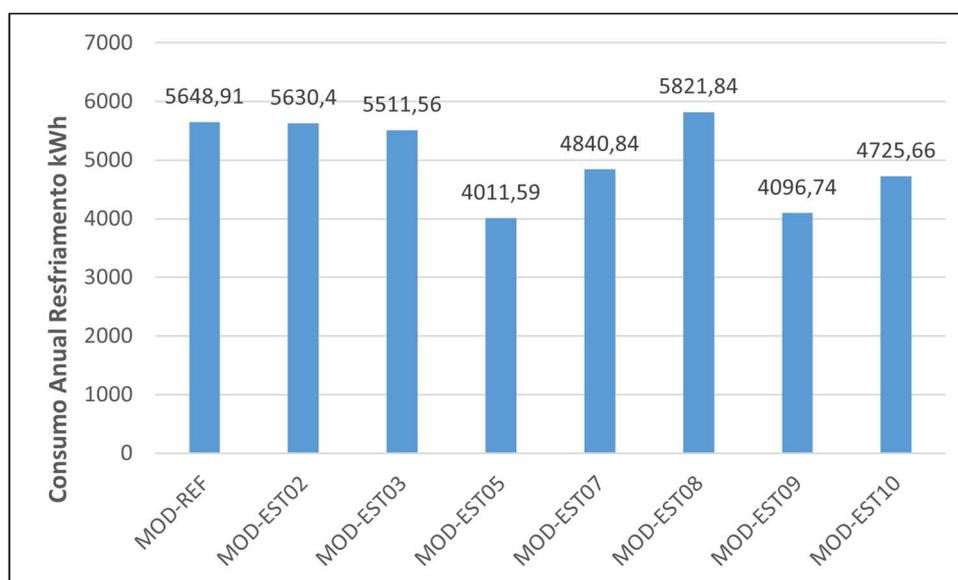
Figura 136 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

Analisando-se o consumo de energia anual para aquecimento (Figura 136) das diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência, observa-se que a estratégia mais eficiente é a de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) com uma redução no consumo anual de 57,78%. Redução significativa também traz a estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), com uma redução de 47,04% no consumo e a estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03), com uma redução de 34,34%. Neste quesito, a pior estratégia é a de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) que aumenta o consumo de energia anual para aquecimento em 48,53%. As demais estratégias aumentam o consumo de energia ou ficam com consumo muito próximo do modelo de referência.

Figura 137 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento

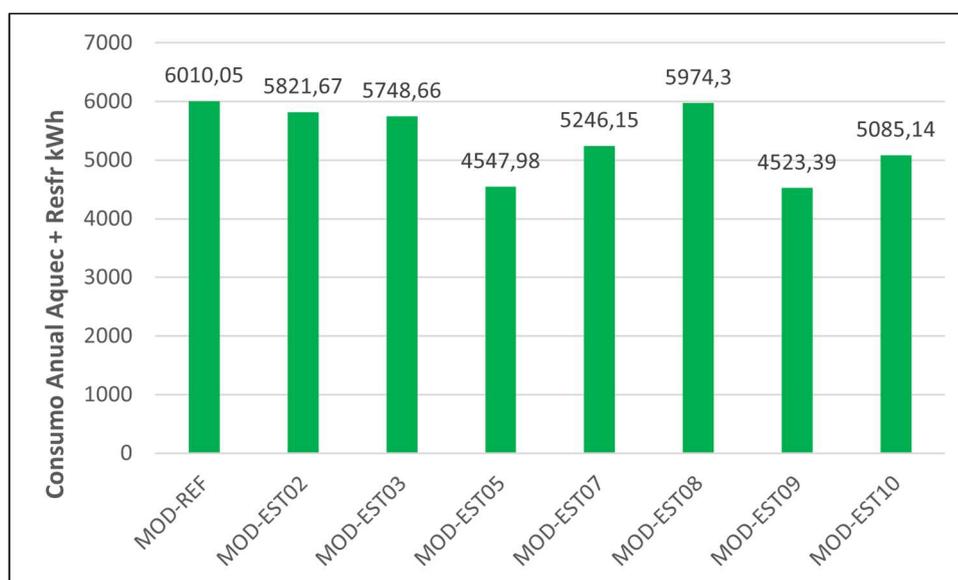


Fonte: elaborada pelo autor

Já analisando-se o consumo de energia anual para resfriamento (Figura 137) para as diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência, quase todas as estratégias reduzem o consumo de energia, com exceção da estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) que aumenta o consumo em 3,06%, o que não é significativo. As estratégias mais eficientes são as de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), com redução do consumo em 28,98%, de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09), que reduz o consumo em 27,48%, de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), com redução de 16,34%, e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), que traz redução de 14,30 no consumo anual para resfriamento. As demais estratégias não trazem redução significativa nesse consumo.

Quando se compara o consumo anual de energia total (aquecimento e resfriamento) do modelo de referência com os modelos das diferentes estratégias (Figura 138), constata-se que todas as estratégias reduzem o consumo anual de energia, sendo as mais eficientes a de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09), que reduz o consumo total anual em 24,74% e a de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), que reduz o consumo em 24,33%. Destacam-se ainda, com redução significativa, as estratégias de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), com redução no consumo de 15,39%, e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), com redução de 12,71%. As demais estratégias também reduzem o consumo anual, porém sem valores significativos.

Figura 138 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

#### 4.4.4.3 Considerações sobre desempenho térmico e eficiência energética

Com a análise dos resultados anteriormente apresentados pode-se verificar quais as estratégias mais adequadas para a melhoria do desempenho térmico da edificação. Levando-se em consideração os resultados obtidos para conforto, a estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09) e de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) são as que apresentaram melhor desempenho anual em comparação com o modelo de referência, mesmo que a redução de horas de desconforto não seja tão significativa, e que tenham comportamentos diferentes em relação ao desconforto por frio ou calor. A estratégia com menor desempenho é a de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08).

Ao se analisar as temperaturas em uma zona de permanência prolongada diurna no período de verão (janeiro), vê-se que as estratégias de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) são as que mantêm as temperaturas mais baixas, mesmo assim muito altas em comparação com as temperaturas externas. Nessa mesma zona, porém no período de inverno (junho), a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08), de isolamento térmico de pisos e entrespisos de madeira (EST 02) e de isolamento térmico do telhado (EST 03) são as que apresentam melhor desempenho, aumentando as temperaturas.

Quando se analisa as temperaturas em uma zona de permanência prolongada noturna no período de verão (janeiro), observa-se que as estratégias de substituição de janelas com uso de vidro duplo (EST 09) e isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) são as que apresentam melhor desempenho, mesmo assim muito altas em comparação com as temperaturas externas. Nesse mesmo ambiente, no período de inverno (junho), a estratégia de reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e de isolamento térmico do telhado (EST 03) são as que apresentam melhor desempenho, aumentando as temperaturas, assim como na zona de permanência prolongada diurna.

Em relação à eficiência energética, a Tabela 75, apresenta o percentual de redução (ou aumento) do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e total para cada estratégia em relação ao modelo de referência.

Tabela 75 – Consumo de energia anual das estratégias em relação ao modelo de referência em percentagem

<b>Modelo</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Resfriamento</b>	<b>Total</b>
MOD-EST02	-47,4	-0,33	-3,13
MOD-EST03	-34,35	-2,43	-4,35
MOD-EST05	+48,53	-28,98	-24,33
MOD-EST07	+12,23	-14,30	-12,71
MOD-EST08	-57,78	+3,06	-0,59
MOD-EST09	+18,14	-27,48	-24,74
MOD-EST10	-0,46	-16,34	-15,39

Fonte: elaborada pelo autor

Os dados apresentados mostram que as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) são as que apresentam melhor desempenho, embora tenham comportamentos distintos quando se considera o consumo de energia para aquecimento e resfriamento de forma separada. Na sequência, com bom desempenho, tem-se a estratégia de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10). Nota-se que, indo de encontro com o que usualmente considera-se como estratégias adequadas à condição climática de Porto Alegre, o uso de vidro duplo e de um plano adicional de vidro aparecem com eficiência elevada. Explicação seria o fato do uso de vidros com baixo fator solar, nos dois casos, que

acabam bloqueando a entrada de radiação solar durante o dia no verão, mais do que impedindo a saída do calor interno.

No Quadro 9 são apresentadas as estratégias com melhor desempenho térmico e eficiência energética.

Quadro 9 – Estratégias com melhor desempenho para edificação representativa do ecletismo

	<b>Conforto térmico</b>	<b>Temp. diurna verão</b>	<b>Temp. diurna inverno</b>	<b>Temp. noturna verão</b>	<b>Temp. noturna inverno</b>	<b>Eficiência energética</b>
Estratégia	EST 05	EST 09	EST 08	EST 09	EST 08	EST 09
	EST 09	EST 05	EST 02	EST 05	EST 02	EST 05
	EST 10	EST 10	EST 03	EST 10	EST 03	EST 10

Fonte: elaborado pelo autor

A partir da observação dos resultados há uma predominância de determinadas estratégias ao serem elencadas para os quesitos analisados. Vê-se que a EST 09 e a EST 05 aparecem como de melhor desempenho térmico ou eficiência energética, e a EST 10 em duas situações. Já as estratégias EST 08, EST 02 e EST 03 aparecem como de melhor desempenho quando se avalia as temperaturas para inverno em duas zonas térmicas. Como visto anteriormente, as avaliações que consideraram as horas de desconforto pelo cálculo do índice PMV e as temperaturas em zonas de permanência prolongada diurna e noturna serviram para demonstrar aquelas estratégias com melhor desempenho, além de contribuir para a validação e calibragem dos modelos. Entretanto, em função da sensibilidade dos modelos de simulação, as diferenças foram muito pequenas tanto nas horas de desconforto quanto nas temperaturas. Desta forma, para a posterior ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, foram considerados apenas os resultados advindos da avaliação de eficiência energética, cujos valores são mais significativos.

#### 4.4.5 Avaliação Qualitativa

Conforme estabelecido anteriormente no item 3.4.2.1 a avaliação qualitativa é realizada a partir do resultado da aplicação de questionários a profissionais com atuação na área de patrimônio e afins. As pontuações referentes aos aspectos e critérios, para cada estudo de caso, estão no Apêndice B. A Tabela 76 apresenta as pontuações e as médias ponderadas para cada critério avaliado.

Tabela 76 – Pontuação e média ponderada das estratégias para cada critério

Critérios	Estratégias									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Autenticidade	2,76	3,65	3,65	3,53	1,53	2,24	2,12	3,53	2,29	3,29
Imagem	3,47	3,76	4,00	3,65	1,65	2,53	2,47	3,82	3,35	3,18
Reversibilidade	2,00	3,71	3,88	3,35	1,76	2,47	2,76	3,29	2,47	3,82
<b>Média</b>	<b>2,75</b>	<b>3,71</b>	<b>3,84</b>	<b>3,51</b>	<b>1,65</b>	<b>2,41</b>	<b>2,45</b>	<b>3,55</b>	<b>2,71</b>	<b>3,43</b>
Compatibilidade	2,82	3,35	3,53	3,35	2,06	2,41	2,82	3,35	3,18	3,24
Risco de danos	3,88	4,06	4,12	4,06	2,94	2,88	3,35	4,24	4,06	3,82
Funcionalidade	3,29	4,06	3,94	3,88	2,12	2,65	2,82	3,88	3,53	3,53
<b>Média Técnico</b>	<b>3,33</b>	<b>3,82</b>	<b>3,86</b>	<b>3,76</b>	<b>2,37</b>	<b>2,65</b>	<b>3,00</b>	<b>3,82</b>	<b>3,59</b>	<b>3,53</b>
Funcionais	2,94	3,75	3,85	3,59	1,89	2,49	2,63	3,64	3,00	3,46
<b>Média Ponderada</b>	<b>2,94</b>	<b>3,75</b>	<b>3,85</b>	<b>3,59</b>	<b>1,89</b>	<b>2,49</b>	<b>2,63</b>	<b>3,64</b>	<b>3,00</b>	<b>3,46</b>

Fonte: elaborada pelo autor

Partindo-se da análise desses resultados, pode-se observar que os aspectos técnico-funcionais das estratégias recebem maior pontuação do que os aspectos de compatibilidade patrimonial. Como se vê, de acordo com as respostas, questões técnico-funcionais têm menos impacto do que questões de compatibilidade em relação ao patrimônio. Considerando-se a média ponderada, as estratégias mais adequadas de acordo com as respostas são as de isolamento térmico do telhado (EST 03), de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02), de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de isolamento térmico do forro (EST 04), ressaltando-se que essa última não foi avaliada quantitativamente para o estudo de caso em questão. Todas essas estratégias, além da instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), têm pontuação com impacto entre médio e médio baixo conforme a Tabela 16 do item 3.4.2.1. As demais estratégias têm impacto entre médio e médio alto, com exceção do isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) que tem impacto muito alto, de acordo com os respondentes. Os valores da média ponderada foram considerados como a pontuação de preservação de cada estratégia.

#### 4.4.6 Ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa

Realizando-se uma avaliação integrada dos resultados obtidos a partir das avaliações quantitativa, referente a desempenho térmico e eficiência energética, e qualitativa, relativa ao impacto das estratégias de requalificação em relação aos atributos do patrimônio, pode-se estabelecer alguns parâmetros para o estudo de caso: porcentagem de horas de desconforto; pontuação de preservação; consumo energético anual para climatização (aquecimento e resfriamento); diferença do consumo energético anual total para climatização.

Desta forma, a escolha das melhores estratégias de intervenção ocorre a partir do balanceamento desses parâmetros: redução do consumo energético, melhoria do desempenho térmico e compatibilidade em relação aos atributos de preservação. A Tabela 77 apresenta os parâmetros para as estratégias aplicáveis ao estudo de caso em tela.

Tabela 77 – Resultados das avaliações quantitativas e qualitativas

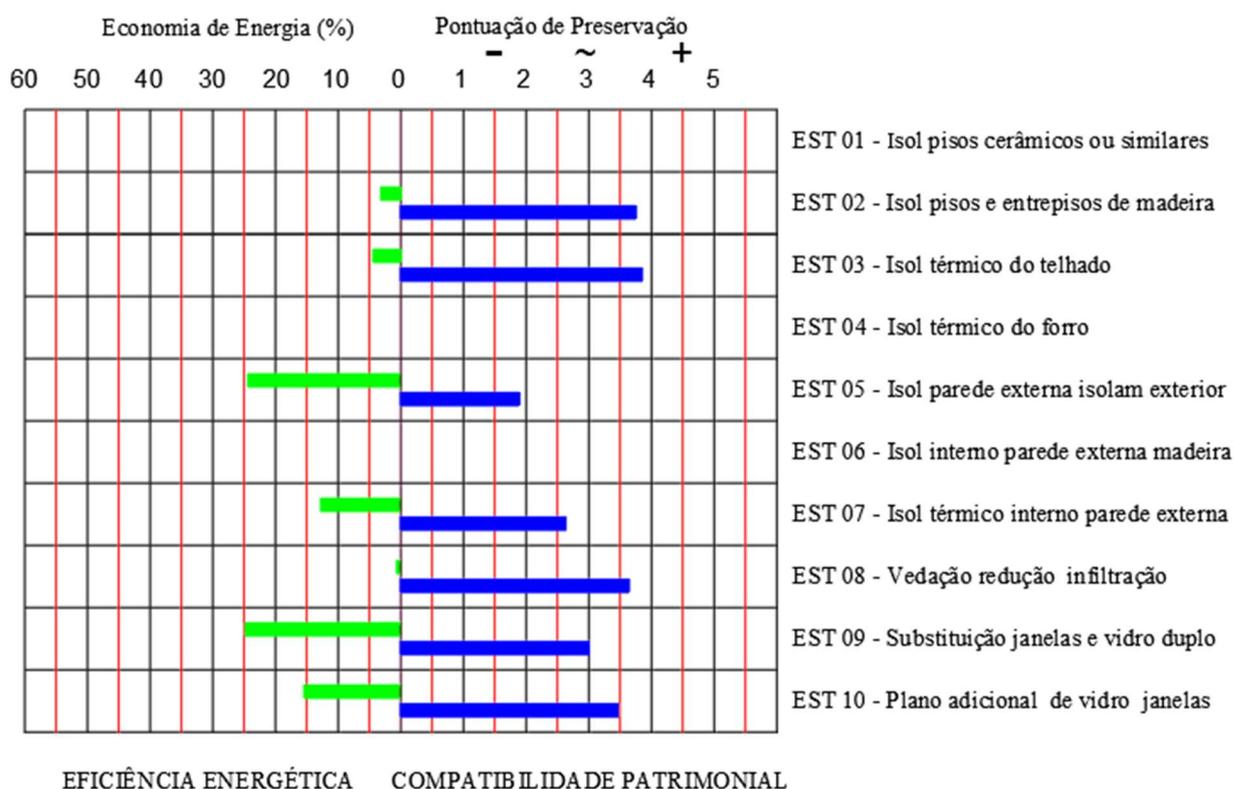
<b>Estratégias de intervenção</b>	<b>Horas de desconforto (%)</b>	<b>Pontuação de preservação</b>	<b>Consumo energético anual (KWh/ano)</b>	<b>Consumo energético diferença anual (%)</b>
MOD-REF	82,9	-	6010,05	-
MOD-EST 02	83,7	3,75	5821,67	-3,13
MOD-EST 03	82,9	3,85	5748,66	-4,35
MOD-EST 05	80,4	1,89	4547,98	-24,33
MOD-EST 07	82,0	2,63	5246,15	-12,71
MOD-EST 08	86,7	3,64	5974,30	-0,59
MOD-EST 09	80,4	3,00	4523,39	-24,74
MOD-EST 10	81,3	3,46	5085,14	-15,39

Fonte: elaborada pelo autor

A partir dessa compilação, em função da pequena variação das horas de desconforto, conforme abordado anteriormente, opta-se como parâmetros, para a ponderação dos resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, os valores referentes à economia de energia das diferentes estratégias em comparação com o modelo de referência e a pontuação de preservação, respectivamente.

Na Figura 139, a seguir, tem-se a apresentação gráfica dos resultados da economia de energia, referente à avaliação quantitativa, e da pontuação de preservação, referente à avaliação qualitativa, das diferentes estratégias, numa análise similar a estabelecida por Grünewald, Will e Pohl (2010). Destaca-se que são apresentadas apenas as estratégias que foram avaliadas para o estudo de caso.

Figura 139 – Economia de energia e pontuação de preservação

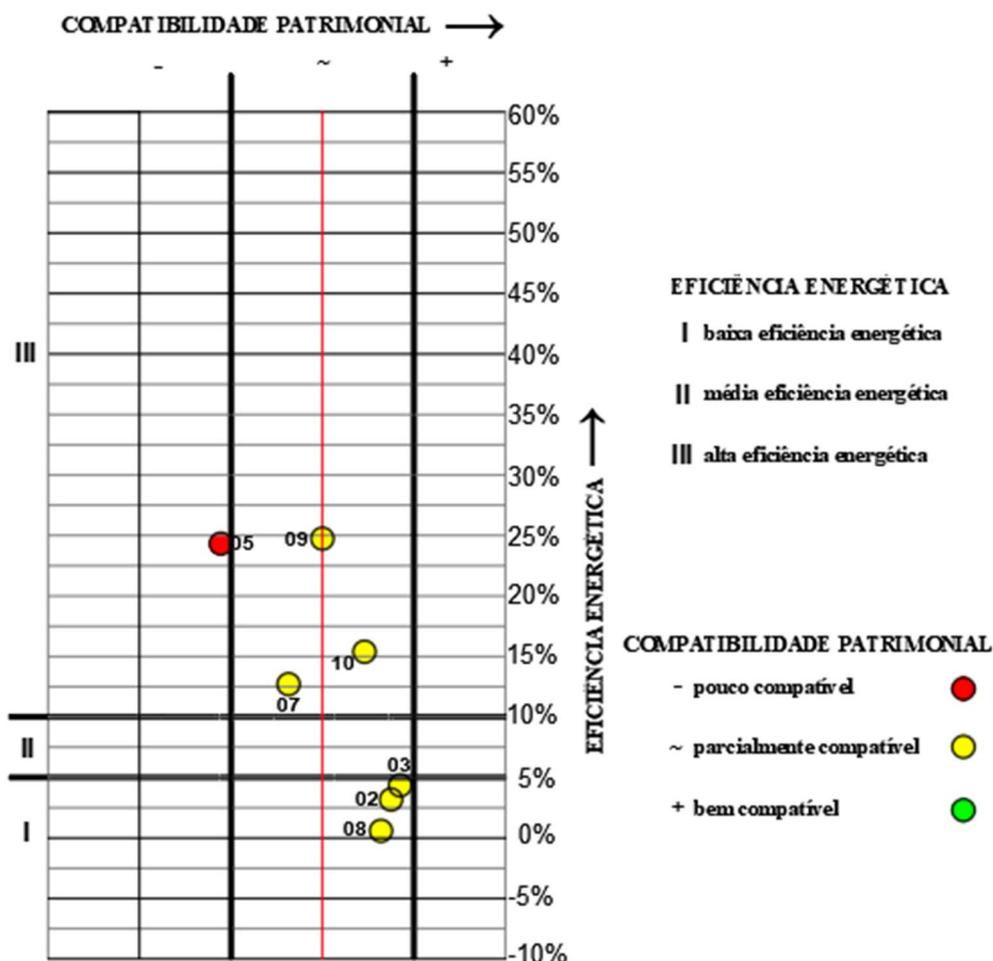


Fonte: elaborada pelo autor

A apresentação integrada dos parâmetros é realizada a partir de uma matriz de avaliação onde são contabilizados e comparados os resultados das avaliações quantitativa e qualitativa, estabelecendo escalas de maior ou menor eficiência e maior ou menor compatibilidade patrimonial para cada estratégia avaliada. Essa matriz tem como referência a apresentação dos resultados das pesquisas de Japiassú (2019) e Grünewald, Will e Pohl (2010). No eixo das ordenadas tem-se a eficiência energética em porcentagem de economia de energia e no eixo das abscissas a pontuação de preservação. Dessa forma as estratégias podem ser plotadas em forma de círculos na matriz em função desses dois valores. Para representar o grau de compatibilidade das diferentes estratégias em relação às questões patrimoniais são aplicadas cores aos círculos conforme legenda. A matriz também estabelece zonas com o grau de compatibilidade em

relação ao patrimônio e o nível de eficiência energética. A Figura 140 mostra a apresentação dos resultados na matriz.

Figura 140 – Matriz de avaliação quantitativa e qualitativa



Fonte: elaborada pelo autor

Partindo-se da visualização desses resultados observa-se, para a edificação estudo de caso, representativa do ecletismo, as estratégias mais recomendáveis, ou seja, aquelas que têm maior eficiência energética e maior compatibilidade patrimonial. No caso, são a instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10), com razoável eficiência energética e razoável compatibilidade patrimonial, a substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09), com boa eficiência energética e razoável compatibilidade patrimonial e o isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) com compatibilidade parcial e razoável eficiência energética. As estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) e vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) têm razoável compatibilidade, porém baixa

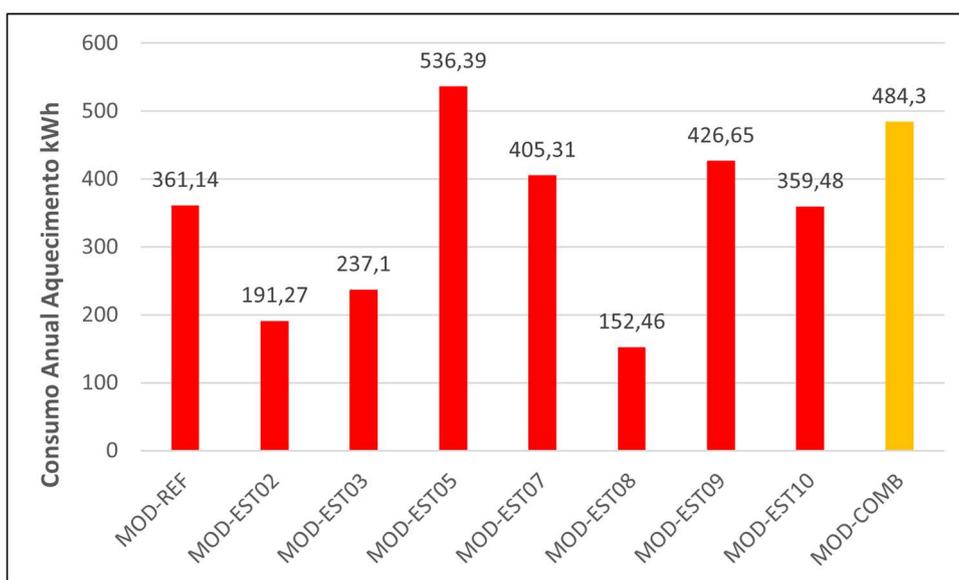
eficiência energética. A estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) tem alta eficiência energética, porém foi considerada pouco compatível com o patrimônio.

#### 4.4.7 Combinação de estratégias

Finalizando as avaliações para o estudo de caso, foi simulado um modelo combinando as medidas mais recomendáveis, ou seja, que melhor atendem aos critérios de eficiência energética e de compatibilidade patrimonial. Dessa forma será simulado um modelo que combine as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07). Apenas a eficiência energética do modelo será avaliada nessa combinação de medidas. Nesse caso, a estratégia de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) foi preterida, pois é similar à estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09), que foi escolhida por apresentar menor transmitância térmica. A estratégia que combina as medidas supracitadas será chamada de EST-COMB.

As Figuras 141, 142 e 143 apresentam os gráficos comparativos do consumo de energia anual para aquecimento, resfriamento e consumo total com climatização do modelo de referência, do modelo das estratégias e do modelo da combinação das estratégias mais eficientes e mais compatíveis com o patrimônio.

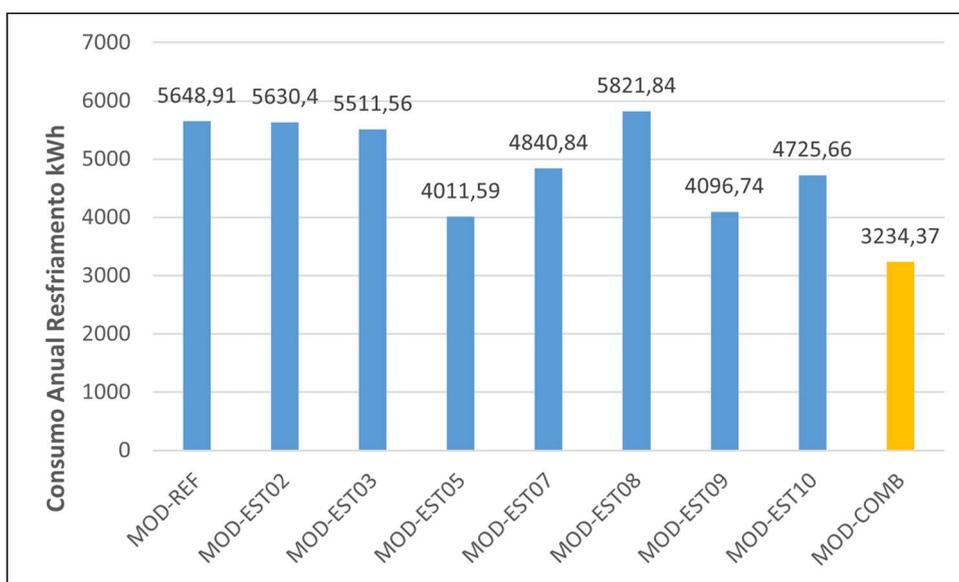
Figura 141 – Consumo de energia elétrica anual para aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

No comparativo, o modelo combinando as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) não traz eficiência energética, em relação ao modelo de referência, já que o consumo de energia anual para aquecimento tem um aumento de 34,10%. Uma explicação é que o vidro com baixo fator solar impede a entrada de radiação solar no inverno, aquecimento solar passivo que é recomendado para a zona bioclimática onde localiza-se a edificação. Já o isolamento das paredes reduz a capacidade térmica (massa térmica para aquecimento). Embora haja aumento do consumo de energia, ressalta-se que o consumo anual é muito baixo.

Figura 142 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento

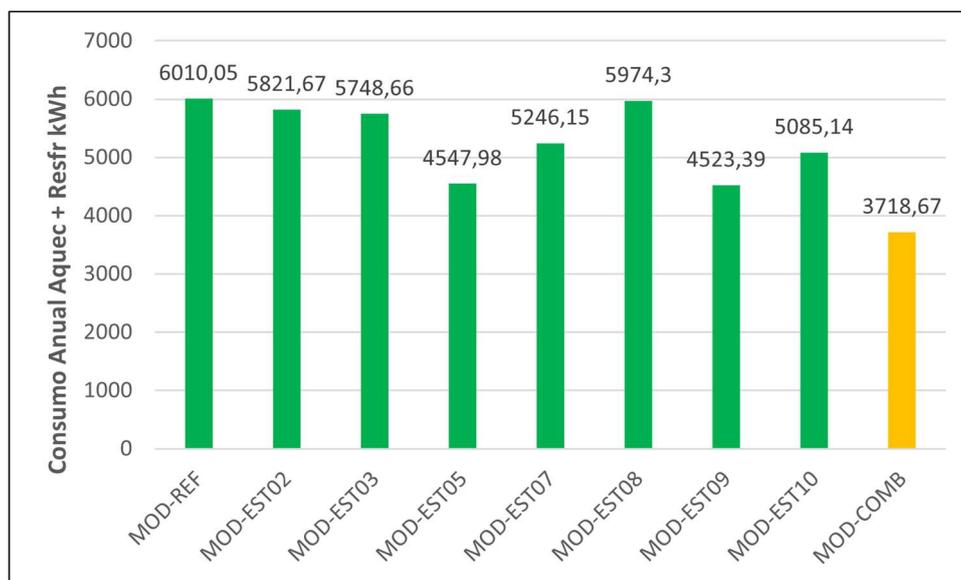


Fonte: elaborada pelo autor

Observando-se os resultados acima, o modelo combinando as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) reduz o consumo de energia anual para resfriamento em 42,74%, em relação ao modelo de referência. Nesse caso o vidro duplo de baixa emissividade está impedindo a entrada de radiação solar. Há uma considerável redução do consumo de energia.

Quando são comparados os resultados do gráfico abaixo, o modelo combinando as estratégias de substituição de janelas com utilização de vidro duplo (EST 09) e isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) reduz o consumo de energia anual total para climatização 38,13%, em relação ao modelo de referência.

Figura 143 – Consumo de energia elétrica anual para resfriamento e aquecimento



Fonte: elaborada pelo autor

Em resumo, vê-se que a combinação de estratégias proposta tem muito boa eficiência energética. Mesmo que para aquecimento não seja eficiente, deve-se considerar que o consumo anual tem valores muito baixos, 484,3 kWh. Ressalta-se que as estratégias combinadas são as mais compatíveis com relação ao patrimônio para o estudo de caso analisado.

#### 4.5 AVALIAÇÃO GERAL

Na comparação e análise dos resultados obtidos para os quatro casos estudados, algumas observações podem ser feitas em relação às estratégias de requalificação propostas, sendo que inicialmente tem-se que especificar quais estratégias foram avaliadas para cada estudo de caso. O Quadro 10 apresenta a relação de estratégias de acordo com os estudos de caso.

Para a avaliação do desempenho térmico foi considerada a porcentagem de horas anuais de desconforto, comparando-se as diferentes estratégias com o modelo de referência, bem como as temperaturas em duas zonas térmicas: uma zona de permanência prolongada diurna e outra de permanência prolongada noturna. Foram observadas as temperaturas para o período de verão e de inverno para cada zona. Nem sempre as estratégias que produzem alguma redução nas horas de desconforto têm comportamento satisfatório quando se verificam as temperaturas, até porque a porcentagem de horas de desconforto é calculada para a edificação como um todo, e as temperaturas para as zonas específicas.

Quadro 10 – Estratégias avaliadas para cada estudo de caso

<b>Estratégia</b>	<b>Luso-brasileira</b>	<b>Teuto-brasileira</b>	<b>Ítalo-brasileira</b>	<b>Ecletismo</b>
EST 01				
EST 02	X	X	X	X
EST 03	X	X	X	X
EST 04	X			
EST 05	X			X
EST 06			X	
EST 07	X	X		X
EST 08	X	X	X	X
EST 09	X	X	X	X
EST 10	X			X

Fonte: elaborado pelo autor

Considerando a avaliação qualitativa, tem-se que determinadas estratégias, independente de terem maior desempenho térmico ou eficiência energética, não são compatíveis com os critérios de preservação. Da mesma forma, estratégias com maior compatibilidade em relação aos critérios de preservação podem ter menor desempenho térmico ou eficiência energética.

No Quadro 11 são apresentadas, para cada estudo de caso, as estratégias com os melhores e os piores resultados de desempenho térmico, eficiência energética e compatibilidade patrimonial. A partir desses dados, para as diferentes estratégias, são feitos comentários sobre seus comportamentos em relação a essas questões, ou seja, dentre as estratégias mais efetivas em quais estudos de caso aparecem, dentre as menos efetivas igualmente em quais estudos de caso aparecem e quais são as razões para sua maior ou menor efetividade.

Quadro 11 – Compilação dos resultados das avaliações para cada estudo de caso

Critério	Luso-brasileira	Teuto-brasileira	Ítalo-brasileira	Ecletismo
	Estratégias			
Maior Desempenho Térmico	EST 04	EST 02	EST 06	EST 05
	EST 03	EST 03	EST 08	EST 09
	EST 05	EST 07	EST 03	EST 10
Menor Desempenho Térmico	EST 02	EST 09	EST 02	EST 03
	EST 07	EST 08	EST 09	EST 02
	EST 09			EST 08
Maior Eficiência Energética	EST 03	EST 07	EST 09	EST 09
	EST 04	EST 03	EST 06	EST 05
	EST 08	EST 08	EST 08	EST 10
Menor Eficiência Energética	EST 02	EST 02	EST 02	EST 08
	EST 07	EST 09	EST 03	EST 02
	EST 05			EST 03
Maior Compatibilidade Patrimonial	EST 02	EST 02	EST 03	EST 03
	EST 08	EST 03	EST 02	EST 02
	EST 03	EST 08	EST 08	EST 08
Menor Compatibilidade Patrimonial	EST 05	EST 07	EST 09	EST 05
	EST 07	EST 09	EST 06	EST 07
	EST 04			EST09

Fonte: elaborado pelo autor

#### 4.5.1 Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares (EST 01)

Esta estratégia, conforme abordado anteriormente, não fará parte da avaliação quantitativa para os estudos de caso, já que ocorreria em apenas um deles (Casa Frasca), mas acaba não tendo uma área significativa que justificasse sua aplicação. Entretanto, fez parte da avaliação qualitativa (questionários). Na edificação representativa da arquitetura luso-brasileira apresentou a segunda pior pontuação de preservação, com impacto entre médio alto e médio.

Na edificação representativa da arquitetura teuto-brasileira, teve a terceira pior pontuação de preservação, também com impacto entre médio alto e médio. Na edificação representativa da arquitetura ítalo-brasileira também apresentou a terceira pior pontuação de preservação, igualmente com impacto entre médio alto e médio. Na edificação representativa do ecletismo teve a quarta pior pontuação de preservação, com impacto próximo do médio. Dessa forma, mesmo que não se tenha uma avaliação quantitativa, pode-se concluir que, de acordo com os especialistas consultados, essa estratégia não tem boa compatibilidade com os critérios de preservação. Explicação para isto é que sua aplicação implica em intervenções um tanto quanto invasivas, já que pressupõe a retirada de pisos para colocação do isolamento térmico.

#### **4.5.2 Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02)**

Avaliada em todos os estudos de caso, apresenta bom desempenho térmico apenas na edificação representativa da arquitetura teuto-brasileira. Nos demais estudos de caso aparece com desempenho térmico ruim em três e baixa eficiência energética em todos os quatro. Ampliar a avaliação quantitativa para mais exemplares de cada categoria seria interessante para uma melhor aferição desses dados, o que poderia trazer resultados mais significativos. Por outro lado, na avaliação qualitativa, aparece com maior compatibilidade nos quatro estudos de caso, já que é uma estratégia pouco invasiva. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, na edificação representativa da arquitetura luso-brasileira, tem alta compatibilidade patrimonial, porém eficiência energética muito baixa. Nos demais estudos de caso tem boa compatibilidade, mas igualmente baixa eficiência energética.

#### **4.5.3 Isolamento térmico do telhado (EST 03)**

Igualmente avaliada em todos os estudos de caso, é uma estratégia amplamente utilizada em intervenções no patrimônio arquitetônico, e apresenta maior desempenho térmico nas edificações representativas da arquitetura luso-brasileira, teuto-brasileira e ítalo-brasileira. Na edificação eclética, aparece com baixo desempenho térmico. Possui maior eficiência energética nas edificações luso-brasileira e teuto-brasileira e menor eficiência nas edificações ítalo-brasileira e eclética. Pelo exposto acima, possui boa compatibilidade patrimonial para os quatro estudos de caso. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa aparece como a melhor estratégia na edificação luso-brasileira e na teuto-brasileira. Nas edificações ítalo-brasileira e eclética tem boa compatibilidade patrimonial, mas baixa eficiência energética.

#### **4.5.4 Isolamento térmico do forro (EST 04)**

Avaliada apenas na edificação luso-brasileira, já que nas demais edificações a estratégia de isolamento de pisos e entrepisos de madeira é avaliada em sua substituição. Também é uma estratégia amplamente utilizada em intervenções no patrimônio edificado. Apresenta o melhor desempenho térmico dentre todas as estratégias, assim como boa eficiência energética na edificação luso-brasileira, onde foi utilizada. Contraditoriamente aparece com menor compatibilidade patrimonial, de acordo com os respondentes dos questionários, justamente nessa categoria de edificação, mas deve-se ressaltar o aspecto positivo de que seu impacto fica entre médio e médio baixo. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, para o estudo de caso, é uma estratégia que apresenta alta eficiência energética e compatibilidade média, o que justifica sua utilização.

#### **4.5.5 Isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05)**

Avaliada nas edificações representativas da arquitetura luso-brasileira e do ecletismo é uma estratégia bastante invasiva, já que interfere diretamente na materialidade externa das edificações. Na edificação luso-brasileira apresenta bom desempenho térmico e na do ecletismo aparece como a de melhor desempenho. Nessa edificação também apresenta boa eficiência energética, ao contrário da luso-brasileira onde tem menor eficiência nesse quesito. Em relação à compatibilidade patrimonial, exatamente pelo exposto acima, para os dois estudos de caso apresenta a pior compatibilidade. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa apresenta baixa compatibilidade e baixa eficiência energética na edificação luso-brasileira. Na edificação eclética, apesar de alta eficiência energética, apresenta baixa compatibilidade patrimonial.

#### **4.5.6 Isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06)**

Avaliada apenas na edificação representativa da arquitetura ítalo-brasileira é uma estratégia ainda não consagrada no contexto de intervenções no patrimônio arquitetônico, mas que é relativamente pouco invasiva, já que preencheria os espaços internos de paredes de madeira. No estudo de caso em que foi avaliada apresenta o melhor desempenho térmico dentre todas as estratégias e a segunda melhor eficiência energética. Exatamente por não haver

familiaridade com seu uso, é apontada com a segunda pior compatibilidade patrimonial pelos especialistas. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, para o estudo de caso, apresenta alta eficiência energética e compatibilidade média, o que justificaria sua utilização.

#### **4.5.7 Isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07)**

Avaliada nas edificações representativas da arquitetura luso-brasileira, teuto-brasileira e do ecletismo é uma estratégia que ainda não é conhecida no contexto de intervenções no patrimônio edificado, apesar de amplamente utilizada no exterior. Apresentou baixo desempenho térmico na edificação luso-brasileira e bom desempenho na teuto-brasileira. Nessa edificação apresentou maior eficiência energética dentre todas as estratégias. Nos três estudos de caso foi apontada pelos especialistas como de baixa compatibilidade patrimonial, pelo fato de não ser utilizada no contexto de intervenções no patrimônio edificado. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, aparece com baixa eficiência energética e compatibilidade patrimonial parcial. Na edificação teuto-brasileira apresenta alta eficiência energética e compatibilidade parcial, o que justificaria sua utilização, o mesmo valendo para a edificação eclética.

#### **4.5.8 Vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08)**

Avaliada em todos os estudos de caso, aparece comportamento distinto, principalmente em relação às temperaturas nas zonas térmicas, exatamente pela redução das trocas térmicas que aumentam as temperaturas internas no verão. Apenas na edificação representativa da arquitetura ítalo-brasileira apresentou bom desempenho térmico. Já em relação à eficiência energética, apresentou boa eficiência nas edificações luso-brasileira, teuto-brasileira e ítalo-brasileira. Na edificação eclética apresentou a pior eficiência. Quando a questão é a compatibilidade patrimonial, a estratégia é apontada como compatível para todos os estudos de caso. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, para a edificação luso-brasileira, apresenta alta eficiência energética aliada à boa compatibilidade patrimonial. Na edificação teuto-brasileira, apresenta compatibilidade parcial, acima da média, com média eficiência energética, o que justificaria sua utilização, o mesmo valendo para a edificação ítalo-brasileira. Já na edificação representativa do ecletismo, apesar da compatibilidade parcial acima da média, a eficiência energética é baixa, pouco significativa, o que não justificaria sua aplicação.

#### **4.5.9 Substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09)**

Também avaliada em todos os estudos de caso, apresentou bom desempenho térmico exatamente na edificação representativa do ecletismo. Como já comentado, a utilização de vidro com baixo fator solar e baixa emissividade na face externa acaba por impedir a entrada de radiação solar, diminuindo as temperaturas externas, principalmente nos períodos quentes. Nos demais estudos de caso mostrou baixo desempenho, como na edificação ítalo-brasileira que está localizada na zona bioclimática 1 (fria), já que pelo baixo fator solar do vidro impede a entrada de radiação solar no inverno (aquecimento solar passivo). Entretanto, nessa mesma zona foi a estratégia de melhor eficiência energética. Na edificação eclética, pelo exposto acima, também é a estratégia de melhor eficiência. Na edificação teuto-brasileira aparece com baixa eficiência energética. Em relação a compatibilidade patrimonial, aparece como de baixa compatibilidade na edificação teuto-brasileira, eclética e ítalo-brasileira. Nessa última apresenta a pior compatibilidade dentre todas as estratégias. Na edificação luso-brasileira aparece com compatibilidade média. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, na edificação luso-brasileira apresenta compatibilidade parcial, acima da média, mas eficiência energética pouco significativa, invalidando sua utilização. Já na edificação teuto-brasileira sua utilização poderia ser justificada pela eficiência energética média e a compatibilidade patrimonial média alta. Na edificação ítalo-brasileira justifica-se sua aplicação pela alta eficiência energética e compatibilidade um pouco acima da média. Na edificação representativa do ecletismo sua aplicação também seria justificável pela alta eficiência energética e compatibilidade média.

#### **4.5.10 Instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10)**

Estratégia avaliada nas edificações representativas da arquitetura luso-brasileira e do ecletismo, é similar a anterior. A diferença é que só pode ser aplicada em paredes com maior espessura, como nos dois estudos de caso em que foi avaliada. Na edificação luso-brasileira ficou em uma situação intermediária, ou seja, não tem desempenho térmico nem bom nem ruim e tampouco baixa ou alta eficiência energética. Nessa edificação também aparece com compatibilidade intermediária. Já na outra edificação, representativa do ecletismo, aparece com bom desempenho térmico, pelos mesmos motivos da estratégia anterior, só que nesse caso o vidro de baixa emissividade está na face interna. Nessa mesma edificação aparece com boa eficiência energética. Nos estudos de caso onde foi avaliada qualitativamente apresenta

compatibilidade patrimonial média. Na ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa, na edificação representativa da arquitetura luso-brasileira, sua aplicação não seria justificada pela baixa eficiência energética, apesar da boa compatibilidade patrimonial. Na edificação eclética apresenta alta eficiência energética e compatibilidade média em relação ao patrimônio, justificando sua aplicação.

Feitas as análises individualizadas para cada estratégia, o Quadro 12 apresenta um resumo das avaliações do desempenho térmico, eficiência energética e compatibilidade patrimonial para as estratégias em cada estudo de caso.

Quadro 12 – Resumo do desempenho térmico, eficiência energética e compatibilidade patrimonial das diferentes estratégias para cada estudo de caso

ESTRATÉGIA	Luso-brasileira			Teuto-brasileira			Ítalo-brasileira			Ecletismo		
	Desempenho Térmico	Eficiência Energética	Compatibilidade Patrimônio	Desempenho Térmico	Eficiência Energética	Compatibilidade Patrimônio	Desempenho Térmico	Eficiência Energética	Compatibilidade Patrimônio	Desempenho Térmico	Eficiência Energética	Compatibilidade Patrimônio
EST 01												
EST 02			x	x		x			x			x
EST 03	x	x	x	x	x	x	x		x			x
EST 04	x	x										
EST 05	x									x	x	
EST 06							x	x				
EST 07				x	x							
EST 08		x	x		x	x	x	x	x			x
EST 09								x		x	x	
EST 10										x	x	

Fonte: elaborado pelo autor

Ao observar-se o quadro resumo, tem-se que para a edificação representativa da arquitetura luso-brasileira as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de isolamento térmico do forro (EST 04) são aplicáveis para melhoria do desempenho térmico e

eficiência energética, sendo essa última apontada com baixa compatibilidade em relação ao patrimônio. Estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) melhora a eficiência energética e tem boa compatibilidade patrimonial. Com baixa compatibilidade, a estratégia de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05) melhora o desempenho térmico dessa edificação.

Para a edificação representativa da arquitetura teuto-brasileira, as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03) e de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07) mostram melhora do desempenho térmico e da eficiência energética, sendo que essa última não tem boa compatibilidade com o patrimônio. A estratégia de isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira (EST 02) melhora o desempenho térmico e tem boa compatibilidade patrimonial e a estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) tem boa eficiência energética e boa compatibilidade.

Na edificação representativa da arquitetura ítalo-brasileira a estratégia de isolamento térmico do telhado (EST 03) melhora o desempenho térmico e tem boa compatibilidade patrimonial. A estratégia de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06) melhora o desempenho térmico e a eficiência energética, mas é apontada pelos especialistas como de baixa compatibilidade patrimonial. A estratégia de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) aumenta o desempenho térmico e a eficiência energética e tem boa compatibilidade. A estratégia de substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09) aumenta a eficiência energética, mas apresenta baixa compatibilidade patrimonial.

A edificação representativa do ecletismo apresenta as estratégias de isolamento térmico das paredes externas com sistema de isolamento exterior (EST 05), de substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09) e de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10) como as que melhoram tanto o desempenho térmico, quanto a eficiência energética, mas todas são apontadas como pouco compatíveis com o patrimônio.

Considerando-se a ponderação entre as avaliações qualitativa e quantitativa, ou seja, da avaliação da eficiência energética e da compatibilidade patrimonial, para as estratégias em todos os estudos de caso, o Quadro 13 apresenta um resumo dessa ponderação.

Quadro 13 – Resultado para os estudos de caso da ponderação das avaliações quantitativa e qualitativa

<b>Estratégia</b>	<b>Luso-brasileira</b>	<b>Teuto-brasileira</b>	<b>Ítalo-brasileira</b>	<b>Ecletismo</b>
EST 01				
EST 02				
EST 03	X	X		
EST 04	X			
EST 05				
EST 06			X	
EST 07		X		X
EST 08	X	X	X	
EST 09		X	X	X
EST 10				X

Fonte: elaborado pelo autor

Vê-se que para a edificação representativa da arquitetura luso-brasileira, as estratégias de isolamento térmico do telhado (EST 03), de isolamento térmico do forro (EST 04) e de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) são as mais aplicáveis considerando-se a ponderação entre as avaliações quantitativa e qualitativa.

Já para a edificação representativa da arquitetura teuto-brasileira, as estratégias mais aplicáveis são a de isolamento térmico do telhado (EST 03), de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09).

Para a edificação representativa da arquitetura ítalo-brasileira as estratégias mais aplicáveis são as de isolamento térmico interno de paredes externas de madeira (EST 06), de vedação e reparação de janelas e portas para redução da taxa de infiltração (EST 08) e de substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09).

A edificação representativa do ecletismo tem como estratégias mais aplicáveis as de isolamento térmico interno das paredes externas (EST 07), de substituição de janelas com utilização de vidro duplo de baixa emissividade (EST 09) e de instalação de um plano adicional interno de vidro nas janelas (EST 10).

A partir dos resumos apresentados nos Quadros 12 e 13 pode-se concluir que algumas estratégias podem ter desempenho térmico satisfatório, assim como boa eficiência energética, mas não serem compatíveis com questões relacionadas à preservação. A maioria das estratégias aplicáveis estão relacionadas à inércia térmica das edificações, mas também as que envolvem as esquadrias, quer em relação aos seus componentes envidraçados, quer a sua estanqueidade. Comparando-se esses resultados com aqueles advindos de outras pesquisas, pode-se ver que, no caso da avaliação de estratégias de requalificação, aplicadas ao patrimônio edificado na Alemanha, aquelas que obtiveram maior potencial de economia de energia foram exatamente as relacionadas com isolamento térmico de paredes, tanto externa quanto internamente. As mais compatíveis em relação ao patrimônio são as de vedação e substituição de esquadrias, bem como de isolamento de pisos (GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010).

A combinação das medidas mais adequadas de acordo com os parâmetros da ponderação mostrou significativa redução no consumo energético em todas as edificações estudo de caso. O Quadro 14 mostra para cada estudo de caso o quantitativo dessa redução.

Quadro 14 – Consumo energético da combinação de medidas

<b>Edificação</b>	<b>Combinação de Estratégias</b>	<b>Consumo Anterior (kWh)</b>	<b>Consumo Final (kWh)</b>	<b>Redução (%)</b>
Luso-brasileira	EST 03 EST 08 EST 04	6975,61	2993,67	57,08
Teuto-brasileira	EST 03 EST 07	4548,91	3200,99	29,63
Ítalo-brasileira	EST 09 EST 06	6109,02	2876,12	52,92
Ecletismo	EST 09 EST 07	6010,05	3718,67	38,13

Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados mostram que a combinação das medidas mais adequadas produziu reduções significativas no consumo anual total de energia para todos os estudos de caso. Em pesquisa de requalificação do patrimônio edificado na Itália, a combinação de estratégias de modificação dos *setpoints* de temperatura de equipamentos, redução da taxa de infiltração, aumento do isolamento térmico de paredes e substituição de equipamentos de aquecimento

produziu uma economia anual de 22% no consumo de energia total, enquanto as medidas individualmente reduziam o consumo em torno de 11%. Isto mostra que a combinação de estratégias mostra-se adequada para requalificações dessa natureza (ASCIONE; DE ROSSI; VANOLI, 2011).

Outra pesquisa realizada na Suécia mostrou que estratégias para requalificação de prédios antigos relacionadas a equipamentos para aquecimento, como bomba de calor de fonte subterrânea e caldeira a “*pellets*”, estratégias relacionadas à estanqueidade de esquadrias como calafetagem e troca de aberturas, estratégias relacionadas à inércia térmica da edificação como adicionar um plano adicional às janelas, isolamento do piso do sótão, isolamento externo e interno de paredes, podem atingir as metas europeias de redução de 20% no consumo de energia (BROSTRÖM et al., 2014).

Finalizando, pode-se ressaltar a importância de uma caracterização adequada das edificações, identificando suas particularidades que, no entanto, nem sempre são disponíveis ou, até mesmo confiáveis, como as informações sobre os detalhes construtivos, os materiais empregados ou o estado de preservação e conservação da edificação histórica. Ou seja, muitos fatores conferem complexidade à caracterização térmica de edificações de interesse cultural (JAPIASSÚ, 2019). Toda essa complexidade, mesmo com uma consideração mais cuidadosa e uma boa base de dados, pode levar a resultados subjetivos. Mudanças nos critérios, na ponderação dos resultados ou mesmo algumas inconsistências nos dados de entrada para as simulações, podem levar a imprecisões (GRÜNEWALD; WILL; POHL, 2010). Essas imprecisões poderiam ser minimizadas na medida em que as avaliações fossem ampliadas para um maior número de exemplares para cada categoria estudo de caso. Uma maior variabilidade com certeza traria maior visibilidade sobre quais as estratégias de requalificação seriam adotadas nesses conjuntos de edificações.

Mesmo assim, os resultados obtidos podem ser destinados à formulação de diretrizes de intervenção em cada categoria de edificação objeto desse estudo, com caráter recomendatório. A avaliação dos aspectos termoenergéticos de cada edificação, aliados à avaliação da sua compatibilidade em relação às questões relacionadas à preservação, pode ser realizada de forma aceitável, mostrando quais estratégias são as mais recomendadas, e onde há um potencial significativo de economia em sua implementação. Ou seja, buscar desempenho térmico e ganhos energéticos sem que haja perdas irreversíveis dos valores históricos e artísticos do patrimônio edificado.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação do desempenho térmico dos estudos de caso representativos das edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul considerou, inicialmente, as horas de desconforto por frio, calor e total anual através do cálculo do índice PMV. Apesar da pouca sensibilidade apresentada pelos modelos de simulação, foi possível identificar aquelas estratégias mais favoráveis nesse quesito, mesmo que a variação da porcentagem de horas de desconforto anuais totais de cada estratégia, em relação ao modelo de referência, tenham sido pequenas. A resistência térmica das vestimentas dos ocupantes das zonas térmicas também pode ter tido influência importante nos resultados. Como o programa de simulação apresenta três possibilidades para o cálculo dessa resistência, somente através da comparação de resultados de simulações com todas as possibilidades poderia ser determinada aquela mais adequada aos resultados esperados, o que não seria possível devido ao tempo e a quantidade de dados a serem analisados, já que foi escolhido o procedimento julgado mais apropriado, quando da entrada dos dados. Independente de possíveis e necessárias correções de rumo, o método para a avaliação do desempenho térmico mostrou-se apropriado às análises e obtenção de resultados.

A avaliação da eficiência energética dos estudos de caso apresentou resultados muito significativos que permitiram uma comparação adequada das diferentes estratégias em relação ao modelo de referência. Na sua maioria, os resultados obtidos ficaram de acordo com o que se pressupõe para as zonas bioclimáticas onde se localizam as edificações. Entretanto, alguns resultados mostraram que determinadas estratégias poderiam ser repensadas como, por exemplo, o uso de vidros duplos com fator solar muito baixo. Isto reduz os ganhos de calor no inverno, ou seja, reduz o aquecimento solar passivo. Entretanto, o uso de vidros com maior fator solar pressupõe ganhos de calor no verão, o que sugere sua aplicação concomitantemente à utilização de dispositivos de sombreamento, o que não é passível de ser realizado em edificações de interesse cultural, pois seriam modificações inadequadas. No estudo de caso representativo do ecletismo, edificação localizada na zona bioclimática 3, essa estratégia mostrou eficiência tanto para o período frio quanto para o período quente, mesmo com o fator solar baixo. O mesmo ocorreu com a edificação localizada na zona bioclimática 1, onde a estratégia de uso de vidro duplo acabou sendo eficiente tanto no período quente quanto no período frio.

A aplicação dos questionários a pesquisadores da área de preservação do patrimônio, com o intuito de avaliar a compatibilidade das estratégias de requalificação em edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul, também se mostrou adequada. Os resultados

permitiram identificar quais as estratégias foram as mais adequadas do ponto de vista da compatibilidade em relação ao patrimônio, que considerou tanto aspectos formais, quanto técnico-funcionais. A quantidade de informações provenientes das respostas dos questionários permitiria inúmeras análises, o que não foi possível devido ao tempo de realização desta pesquisa. Entretanto, a determinação de uma média ponderada, que considera em conjunto os aspectos supracitados, foi suficiente para que os objetivos dessa pesquisa fossem atingidos.

A ponderação das avaliações qualitativa e quantitativa das estratégias de requalificação de edificações de interesse cultural no Rio Grande do Sul foi feita através da criação de uma matriz de avaliação. Esse instrumento de fácil visualização mostrou-se apropriado aos objetivos da pesquisa, já que permitiu a identificação daquelas estratégias com maior eficiência energética e melhor compatibilidade patrimonial, ou seja, as mais adequadas às edificações em estudo. A partir dessa matriz foram criados modelos de simulação com a combinação das estratégias mais compatíveis com o patrimônio e mais energeticamente eficientes.

Os resultados obtidos dessa ponderação podem servir de parâmetro ou mesmo subsidiar normativas para intervenções de requalificação em edificações de interesse cultural. A simulação energética, considerando um modelo com a combinação das medidas mais adequadas, a partir da ponderação dos resultados, trouxe resultados significativos. As estratégias combinadas mostraram redução no consumo total anual de energia, para a climatização das edificações, em todos os estudos de caso. Necessário seria a ampliação desta pesquisa a mais exemplares de cada categoria analisada, replicando o método, o que permitiria uma determinação mais precisa de quais estratégias seriam as mais adequadas. Variações em relação às condições climáticas também poderiam ser verificadas, já que as categorias elencadas podem ocorrer em zonas bioclimáticas distintas.

A escolha das estratégias analisadas levou em consideração, inicialmente, aquelas apontadas pelas principais referências da pesquisa. Em um segundo momento, para cada estudo de caso, uma aproximação inicial foi levada em consideração, a partir das características de cada edificação. Em resumo, as estratégias propostas para os quatro estudos de caso, validadas pelo método adotado na pesquisa, mostraram-se pertinentes tanto para a avaliação do desempenho térmico, quanto para a determinação da eficiência energética dessas edificações.

## REFERÊNCIAS

- AKKURT, G. G. et al. Dynamic thermal and hygrometric simulation of historical buildings: Critical factors and possible solutions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 118, n. October 2019, p. 109509, 2020.
- AMANTES DO TEMPO. **Amantes do Tempo**. Disponível em: <<https://amantesdotempo.blogspot.com/>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE. Public Review Draft Energy Guideline for Historical Buildings**. Atlanta: ASHRAE, 2015.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE Standard 55: thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.
- ANDRADE JÚNIOR, N. V. DE. **Patrimônio Arquitetônico**. Carvalho, Aline Vieira de; Meneghello, Cristina (Org.) Dicionário temático de patrimônio: debates contemporâneos. **Anais...**Campinas: Editora da Unicamp, 2020
- ANNIBALDI, V. et al. An integrated sustainable and profitable approach of energy efficiency in heritage buildings. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, 1 abr. 2020.
- APOLÔNIO, R. M. et al. **Proposta de Retrofit para um edifício histórico seguindo os princípios de sustentabilidade**. Pluris 2010 - 4º Congresso luso-brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. **Anais...**Faro: Universidade do Algarve, 2010
- ASCIONE, F.; DE ROSSI, F.; VANOLI, G. P. Energy retrofit of historical buildings: Theoretical and experimental investigations for the modelling of reliable performance scenarios. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 8, p. 1925–1936, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005c.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15310: Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários - Parte 1: Projetos das instalações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edifícios habitacionais - Desempenho: Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BAKER, P. **Historic Scotland Technical Paper 10 - U values and traditional buildings: In situ measurements and their comparison to calculated values**. Edinburgh: Historic Scotland/Technical Conservation Group, 2011.

BALOCCO, C. Daily natural heat convection in a historical hall. **Journal of Cultural Heritage**, v. 8, n. 4, p. 370–376, 2007.

BALOCCO, C.; GRAZZINI, G. Plant refurbishment in historical buildings turned into museum. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 6, p. 693–701, 2007.

BALOCCO, C.; GRAZZINI, G. Numerical simulation of ancient natural ventilation systems of historical buildings. A case study in Palermo. **Journal of Cultural Heritage**, v. 10, n. 2, p. 313–318, 2009.

BERTUSSI, P. I. Elementos de arquitetura da imigração italiana. In: **WEIMER, G. (Org.) A Arquitetura no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1987. p. 121–154.

BEZERRA, I. M. T. DE O. **Edifícios Históricos Tombados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2003.

BIDNER, T. et al. Material properties, room-climate measurements and building history-an interdisciplinary project to set the conditions of restoration and re-use for the fortress of Kufstein, Tyrol, Austria. **Building and Environment**, v. 38, n. 9–10, p. 1133–1141, 2003.

BOITO, C. **Os Restauradores**. Tradução Beatriz Mugayar Kühl e Paulo Mugayar Kühl. São paulo: Artes & Ofícios, 2008.

BRAGER, G. S. et al. Operable windows, personal control, and occupant comfort. **ASHRAE Transactions**, v. 110 PART I, p. 17–35, 2004.

BRANDI, C. **Teoria da Restauração**. 3. ed. Tradução Beatriz Mugayar Kühl. São Paulo: Artes & Ofícios, 2008.

BRASIL. **Ministério da Cultura. Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural (cadernos técnicos 1)**. Brasília: Programa Monumenta, 2005.

BRASIL. **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2009.

BRASIL. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R)**. Rio de Janeiro: INMETRO, 2012.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 2 de 4 de junho de 2014**. Brasília: SLTI/MPOG, 2014.

BROSTRÖM, T. et al. A method to assess the potential for and consequences of energy retrofits in Swedish historic buildings. **Historic Environment: Policy and Practice**, v. 5, n. 2, p. 150–166, 2014.

BUDA, A. et al. Conservation-compatible retrofit solutions in historic buildings: An integrated approach. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 5, 1 mar. 2021.

CABEZA, L. F.; DE GRACIA, A.; PISELLO, A. L. Integration of renewable technologies in historical and heritage buildings: A review. **Energy and Buildings**, v. 177, p. 96–111, 2018.

CÂMARA MUNICIPAL DE LISBOA. **Carta de Reabilitação Urbana Integrada – Carta de Lisboaº Encontro Luso-Brasileiro de Reabilitação Urbana de Centros Históricos**. Lisboa: Câmara Municipal de Lisboa. Pelouro da Reabilitação Urbana dos Núcleos Históricos, 1995.

CAMUFFO, D. et al. The impact of heating, lighting and people in re-using historical buildings: A case study. **Journal of Cultural Heritage**, v. 5, n. 4, p. 409–416, 2004.

CAMUFFO, D.; BERNARDI, A. Study of the microclimate of the Hall of the Giants in the Carrara Palace in Padua. **Studies in Conservation**, v. 40, n. 4, p. 237–249, 1995.

CANTIN, R. et al. Field assessment of thermal behaviour of historical dwellings in France. **Building and Environment**, v. 45, n. 2, p. 473–484, 2010.

CAROTENUTO, A. R. D. S. **Análise do desempenho termoenergético de um prédio histórico de elevada inércia térmica**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Mecânica) Porto Alegre: PROMEC, Escola de Engenharia, UFRGS, 2009.

CARSALADE, F. L. **A pedra e o tempo: arquitetura como patrimônio cultural**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

CARVALHO, A. R. DE; CUNHA, E. G. DA. Energy retrofit in a historic building in Pelotas, RS, according to RTQ-C and Enerphit. **Arquiteturarevista**, v. 17, n. 1, 2021.

CASSAR, M. **Sustainability and the Historic Environment**. Disponível em: <[http://www.ucl.ac.uk/sustainableheritage/historic\\_environment.pdf](http://www.ucl.ac.uk/sustainableheritage/historic_environment.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2008.

CLUVER, J. H.; RANDALL, B. Saving Energy in Historic Buildings: Balancing Efficiency and Value. **APT Bulletin: Journal of Preservation Technology**, v. 41, n. 1, p. 5–12, 2010.

COLLISCHONN, W. H.; RICHTER, G. H. **Arquitetura em enxaimel (Fachwerk): Lajeado, Forquetinha e Canudos do Vale**. Lajeado: Os Autores, 2000.

COMAS, C. E. D. Rumações Recentes: Reforma, Reciclagem, Restauro. **Summa+**, p. 56–61, jun. 2011.

CONRAD, C. et al. Energetisch und bauphysikalisch optimierte Sanierung eines Baudenkmals in Görlitz. **Bauphysik**, v. 29, n. 3, p. 221–230, 2007.

CORRÊA, M. C. L. **Consideração das variáveis de Conforto Ambiental em Edificações Históricas**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC/ELACAC). **Anais...**São Pedro: ANTAC, 2001

COSTANZO, S. et al. Preservation of the artistic heritage within the seat of the Chancellorship of the University of Palermo. A proposal on a methodology regarding an environmental investigation according to Italian Standards. **Building and Environment**, v. 41, n. 12, p. 1847–1859, 2006.

CUCHÍ BURGOS, A. Patrimonio y sostenibilidad. Las buenas prácticas en la rehabilitación energética de edificios patrimoniales. **Revista PH**, v. 104, p. 164–179, 2021.

CUNHA, C. DOS R. E. **Restauração: Diálogos entre teoria e prática no Brasil nas experiências do IPHAN. 2010**. Tese (Doutorado em História e Fundamentos da Arquitetura e Urbanismo) São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.

CUNHA, G. R. **Estações do Ano**. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/agromet/artigos/estacao.html>>. Acesso em: 10 maio. 2021.

CURTIS, J. N. B. D. **Patrimônio Ambiental Urbano de Porto Alegre**. 1º Ciclo de Palestras sobre Patrimônio Cultural. **Anais...**Porto Alegre: PMPA, SMEC, Conselho Municipal do Patrimônio Histórico e Cultural, 1979

DAUDÉN, J. “**O que são e quais as diferenças entre retrofit, reabilitação e restauro?**” 13 Abr 2020. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/937253/o-que-sao-e-quais-as-diferencas-entre-retrofit-reabilitacao-e-restauro>>. Acesso em: 30 maio. 2021.

DURAN ROCCA, L. **Açorianos no Rio Grande do Sul: antecedentes e formação do espaço urbano do século XVIII**. Tese (Doutorado em Planejamento Urbano e Regional), Porto Alegre: PROPUR - FAU UFRGS, 2009.

EMPTY HOMES AGENCY. **New Tricks with Old Bricks: How reusing old buildings can cut carbon emissions**. London: EHA, 2008.

ENERGYPLUS, 2020. **EnergyPlus Input and Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output**. Version 9.4., Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2020a.

ENERGYPLUS, 2020. **EnergyPlus Engineering Document – The Reference to EnergyPlus Calculations**. Version 9.4., Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2020b.

ESTEVES, A. P.; LOMARDO, L. L. B. **O retrofit de edificações tombadas: possíveis caminhos para a atualização tecnológica de fachadas modernistas e a reforma do edifício IRB**. 8º DOCOMOMO Cidade Moderna e Contemporânea: Síntese e Paradoxo das Artes. **Anais...**Rio de Janeiro: 2009

EUROPEAN NORMS. **EN 16883: Conservation of cultural heritage. Guidelines for improving the energy performance of historic buildings.** 2017.

FANGER, P. O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering.** Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

FEILDEN, B. M. **Conservation of historic buildings.** 3. ed. Oxford: Taylor & Francis Ltd, 2003.

FITCH, J. M. **Historic Preservation: Curatorial Management of the Built World.** Charlottesville: University of Virginia Press, 1990.

FLECK, G. **Porto Alegre precisa conhecer sua própria história: Com quase 130 anos, Casa Frasca é restaurada.** Disponível em: <<https://sul21.com.br/noticias/geral/2018/12/porto-alegre-precisa-conhecer-sua-propria-historia-com-quase-130-anos-casa-frasca-e-restaurada/>>. Acesso em: 28 maio. 2020.

FOUSEKI, K. et al. Energy efficiency, thermal comfort, and heritage conservation in residential historic buildings as dynamic and systemic socio-cultural practices. **Atmosphere**, v. 11, n. 6, 1 jun. 2020.

FRANCO, S. DA C. **Guia Histórico de Porto Alegre.** Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS)/Prefeitura Municipal, 1988.

FREY, P. et al. Building Reuse: Finding a Place on American Climate Policy Agendas. **National Trust for Historic Preservation**, n. September, p. 39, 2008.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Deficit Habitacional e Inadequação de Moradias no Brasil: Principais Resultados para o Período de 2016 a 2019.** Belo Horizonte: FJP, 160 p. Relatório, 2021.

GALATIOTO, A. et al. Energy and economic analysis on retrofit actions for Italian public historic buildings. **Energy**, v. 176, p. 58–66, 2019.

GBC – GREEN BUILDING COUNCIL ITALIA (GBC-ITALIA). **GBC Historic Building.** Disponível em: <<https://www.gbccitalia.org/web/guest/historic-building>>. Acesso em: 17 abr. 2021.

GIRALT, R. P.; PEDROTTI, R. F. **Eficiência energética e qualidade ambiental na restauração do patrimônio arquitetônico.** In: Congreso Arquisur (20.:2016 set. 28-30: Concepción). **Anais...Chile:** Universidad del Bio-Bio, p. 163-175 , il., 2016

GIRALT, R. P.; WEBER, M. E. **Eficiência Energética e Conforto Térmico na Requalificação do Patrimônio Arquitetônico de Imigração Alemã no Rio Grande do Sul: Estudo de Caso Salão Holler.** In: Congreso Arquisur (22. : 2018 set. 26-28: Rosario). **Anais...Argentina:** Universidad Nacional de Rosario, p. 945-955, il., 2018

GRÜNEWALD, J.; WILL, T.; POHL, M. **Pilotstudie zum Modellprojekt des Sächsischen Staatsministeriums des Innern: Energetische Sanierung von Bauwerken.** Technische Universität Dresden, Fakultät Architektur, Professur für Bauphysik/Professur für Denkmalpflege und Entwerfen. Dresden: TU Dresden, 2010.

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

HUYER, A. Os Prédios em Falso Enxaimel e seus Efeitos Nefastos para a Cultura. In: **ARENDETT, I. C.; CUNHA, J. L.; SANTOS, R. L. (Orgs.) Migrações: perspectivas e avanços teórico-metodológicos**. São Leopoldo: Oikos Editora, 2018. p. 306–321.

ICOMOS AUSTRÁLIA. **The Burra Charter: The Australia ICOMOS Charter for Places of Cultural Significance**. Burra: Australia ICOMOS Incorporated, 2013.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. Paris: OECD/IEA, 2017.

INCAPER. **Estações do Ano**. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/estacoes-do-ano>>. Acesso em: 10 maio. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resultados do Censo 2010**. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=14881&t=publicacoes](http://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=14881&t=publicacoes)>. Acesso em: 16 jul. 2020.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO DE ESTADO. **Patrimônio edificado: orientações para sua preservação**. 2. ed. Porto Alegre: IPHAE, 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria**. Geneva: ISO, 2005.

IPHAN. **Carta de Atenas**. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta de Atenas 1931.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Atenas%201931.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2020a.

IPHAN. **Carta de Veneza**. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta de Veneza 1964.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Veneza%201964.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2020b.

IPHAN. **Carta do Restauro**. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta do Restauro 1972.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20do%20Restauro%201972.pdf)>. Acesso em: 24 ago. 2020c.

IPHAN. **Conferência de Nara**. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Conferencia de Nara 1994.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Conferencia%20de%20Nara%201994.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2020d.

IPHAN. **Carta de Brasília**. Disponível em: <[http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta Brasilia 1995.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20Brasilia%201995.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2020e.

IPHAN. **Vila de Santo Amaro do Sul - General Câmara (RS)**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/392/>>. Acesso em: 16 set. 2021.

- IPHAN. **Antônio Prado (RS)**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/1638/>>. Acesso em: 15 jul. 2022.
- IRGA. **Instituto Riograndense do Arroz**. Disponível em: <<https://irga.rs.gov.br/medias-climatologicas>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- JAPIASSÚ, P. **Método para avaliação de retrofit energético em edificações históricas brasileiras**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Brasília: Universidade de Brasília, 2019.
- KNOP, S. **Comportamento termo energético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2012.
- KOHLER, N.; HASSLER, U. The building stock as a research object. **Building Research & Information**, v. 30, n. 4, p. 226–236, 2002.
- KÜHL, B. M. Notas sobre a Carta de Veneza. **Anais do Museu paulista: História e Cultura Material**, v. 18, p. 287–320, 2010.
- LA GENNUSA, M. et al. Control of indoor environments in heritage buildings: Experimental measurements in an old Italian museum and proposal of a methodology. **Journal of Cultural Heritage**, v. 6, n. 2, p. 147–155, 2005.
- LABEEE. **Arquivos Climáticos**. Disponível em: <<https://labee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos>>. Acesso em: 15 mar. 2021.
- LAEFER, D. F.; MANKE, J. P. Building reuse assessment for sustainable urban reconstruction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 134, n. 3, p. 217–227, 2008.
- LAMBERTS, R. **Desempenho Térmico de Edificações**. 7. ed. Curso de Engenharia Civil. Apostila ECV5161. Florianópolis: UFSC, 2016.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.
- LIDELÖW, S. et al. Energy-efficiency measures for heritage buildings: A literature review. **Sustainable Cities and Society**, v. 45, p. 231–242, 2019.
- LINS, E. DE Á.; SANTANA, M. C. DE; **Mestres Artífices: Bahia**. In: **Cadernos de Memória**. 4. ed. Salvador: UFBA, 2017. p. 299.
- LOLI, A.; BERTOLIN, C. Towards zero-emission refurbishment of historic buildings: A literature review. **Buildings**, v. 8, n. 2, 2018.
- LORENZONI, H. DE O. **O Eclético e a Avenida Independência**. XI Semana de Extensão, Pesquisa e Pós-Graduação - SEPesq Centro Universitário Ritter dos Reis. **Anais...**Porto Alegre: 2015

- LUZ, M.; CESA FILHO, P.; WAQUIL, J. Patrimônio Arquitetônico. In: **Posenato, Júlio (Org.) Antônio Prado: cidade histórica**. Porto Alegre: Posenato Arte & Cultura, 1989. p. 29–58.
- MACEDO, F. R. DE. Arquitetura luso-brasileira. In: **WEIMER, G. (Org.) A Arquitetura no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1987. p. 53–94.
- MACHADO, J. J. M. **Retrofit energético em edifícios de interesse histórico estudos de casos: edifícios modernistas em Natal**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.
- MANSFIELD, J. Sustainable refurbishment: policy direction and support in the UK. **Structural Survey**, v. 27, n. 2, p. 148–161, 2009.
- MARTÍNEZ-MOLINA, A. et al. Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 70–85, 2016.
- MAZZAFERRO, L.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. **MANUAL DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE EDIFÍCIOS COM O USO DO OBJETO GROUND DOMAIN NO PROGRAMA ENERGYPLUS**. Florianópolis: UFSC, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 2015.
- MEIRA, A. L. G. NOVO MUNDO , NOVOS PATRIMÔNIOS. NEW WORLD, NEWS HERITAGES. **RIHGRGS - Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul**, p. 165–181, dez. 2020.
- MENDONÇA, A. M. **Caracterização do estoque de edificações históricas de uso institucional ou público localizadas em Florianópolis com relação ao consumo de eletricidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- MENDONÇA, P. J. F. DE A. U. DE. **Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Guimarães: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005.
- MOSTAFAZADEH, F.; EIRDMOUSA, S. J.; TAVAKOLAN, M. Energy & Buildings Energy , economic and comfort optimization of building retrofits considering climate change : A simulation-based NSGA-III approach. **Energy & Buildings**, v. 280, p. 112721, 2023.
- MUNARIM, U.; MARQUES DE MENDONÇA, A.; GHISI, E. Simulação computacional de edificações aplicada ao patrimônio edificado. **XII Congresso Internacional de Reabilitação do Patrimônio Arquitetônico e Edificado. Dimensão Cotidiana do Patrimônio e Desafios para a sua Preservação**, p. 1386–1394, 2014.
- MUNICÍPIO DE ANTÔNIO PRADO. **História**. Disponível em: <<https://www.antonioprado.rs.gov.br/secao.php?id=1>>. Acesso em: 31 jul. 2022.
- MUNIZ-GÄAL, L. P. et al. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 1, p. 503–518, mar. 2018.

OKUTAN, R. S. et al. A socio-mathematical approach to exploring conflicts between energy retrofit and perceived heritage character. **Building and Environment**, v. 138, p. 11–20, 2018.

PAPADOPOULOS, A. M.; AVGELIS, A.; ANASTASELOS, D. Low energy cooling of the White Tower, functioning as a contemporary museum. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 8, p. 1377–1386, 2008.

PAPADOPOULOS, A. M.; AVGELIS, A.; SANTAMOURIS, M. Energy study of a medieval tower, restored as a museum. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 9, p. 951–961, 2003.

PAPAKONSTANTINOY, K. A.; KIRANOUDIS, C. T.; MARKATOS, N. C. Mathematical modeling of environmental conditions inside historical buildings. The case of the archaeological museum of Athens. **Energy and Buildings**, v. 31, n. 3, p. 211–220, 2000.

PEDRINI, A.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R. A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates. **Building and Environment**, v. 37, n. 8–9, p. 903–912, 2002.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, n. 3, p. 1633–1644, 2007.

PEREIRA, F. O. R.; ATANÁSIO, V.; WERLICH, C. **Estudo da Iluminação Natural através da Simulação Computacional em Prédios Históricos**. VI Encontro Nacional e III Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC/ELACAC). **Anais...**São Pedro: ANTAC, 2001

POSENATO, J. **Arquitetura da imigração italiana no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Est/educs, 1983.

POWTER, A.; ROSS, S. Integrating Environmental and Cultural Sustainability for Heritage Properties. **APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology**, v. 36, n. 4, p. 5–11, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE WESTFÁLIA. **História**. Disponível em: <<https://www.westfalia.rs.gov.br/historia>>. Acesso em: 23 ago. 2022.

PROJETEEE. **Projetando Edificações Energeticamente Eficientes. Dados climáticos - Estratégias bioclimáticas**. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br>>. Acesso em: 15 set. 2021.

QU, K. et al. Comprehensive energy, economic and thermal comfort assessments for the passive energy retrofit of historical buildings - A case study of a late nineteenth-century Victorian house renovation in the UK. **Energy**, v. 220, 2021.

RECH, R. **AS CASAS DE MADEIRA DE ANTÔNIO PRADO**. IV ENANPARQ. **Anais...**Porto Alegre: 2016

REIS FILHO, N. G. **Quadro da Arquitetura no Brasil**. 12ª Ed ed. São Paulo: Perspectiva, 2014.

RIBEIRO, M. B. **Conforto ambiental em prédio de valor cultural**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura), Rio de Janeiro: PROARQ, FAU, UFRJ, 1993.

RIBEIRO, M. B. Conforto ambiental em prédios de valor cultural. In: **Oficina de Estudos de Preservação, Coletânea\ I**. Rio de Janeiro: IPHAN-Rio, 2008.

RIBEIRO, R. T. M. **Avaliação Pós-Ocupação em Monumento Histórico – Estudo de Caso: Paço Imperial – RJ**. NUTAU 2000 - Tecnologia e Desenvolvimento. **Anais...São Paulo: FAU-USP, 2000**

RISPOLI, M.; ORGAN, S. The drivers and challenges of improving the energy efficiency performance of listed pre-1919 housing. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 37, n. 3, p. 288–305, 2019.

RODRIGUES, A.; ROSA, M.; REBELO, E. PATRIMÓNIO ARQUITETÓNICO EM ROTAS TURÍSTICAS PEDONAIS: Um contributo para a identidade cultural de Portimão e Loulé. **OMNIA, Volume 10**, p. 13–30, abr. 2020.

RODRIGUES, L. et al. Quantifying airtightness in Brazilian residential buildings with focus on its contribution to thermal comfort. **Building Research & Information**, v. 49, n. 6, p. 639–660, 2021.

RODWELL, D. **Conservation and Sustainability in Historic Cities**. 1. ed. Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2007.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico: contribuição à aplicação prática das normas internacionais**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil), Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2001.

RUGGERI, A. G. et al. Planning energy retrofit on historic building stocks: A score-driven decision support system. **Energy and Buildings**, v. 224, 1 out. 2020.

RUPP, R. F.; GHISI, E. Avaliação de modelos preditivos de conforto térmico em escritórios no clima subtropical brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 2, p. 91–107, 2019.

RUSKIN, J. **A Lâmpada da Memória**. São Paulo: Atelier Editorial, 2008.

RYPKEMA, D. Economics, Sustainability, and Historic Preservation. **Forum Journal - The Journal of the National Trust for Historic Preservation**, v. 20, p. 27–38, 2005.

SACCARO, A. L. **Avaliação de Estratégias de Eficiência Energética para a Reabilitação de um Patrimônio Industrial**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos - Unisinos, 2021.

SAÏD, M. N. A. et al. Monitoring of the building envelope of a heritage house: A case study. **Energy and Buildings**, v. 30, n. 3, p. 211–219, 1999.

SANTOS, A. C. **A ARQUITETURA VERNACULAR E SEU POTENCIAL DE USO EM PROJETOS SOCIAIS**. Brasília, 2020.

SCHÄFFER, B. **Porto Alegre, Arquitetura e Estilo. 1880 a 1930**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Arquitetura). Porto Alegre: PROPARG, UFRGS, 2011.

SCHIAVON, S.; LEE, K. H. Dynamic predictive clothing insulation models based on outdoor air and indoor operative temperatures. **Building and Environment**, v. 59, p. 250–260, 2013.

SCHIBUOLA, L.; SCARPA, M.; TAMBANI, C. Innovative technologies for energy retrofit of historic buildings: An experimental validation. **Journal of Cultural Heritage**, v. 30, p. 147–154, 2018.

SEDOVIC, W.; GOTTHELF, J. H. What Replacement Windows Can't Replace: The Real Cost of Removing Historic Windows. **APT Bulletin: The Journal of Preservation Technology**, v. 36, n. 4, p. 25–29, 2005.

SMITH, B. M. Conserving Energy in Historic Buildings. **Preservation Briefs**, v. 3, n. Washington, DC: U.S. Department of the Interior, p. 14, 1978.

STRADA, M. et al. The microclimate analysis of tezone “105” of the Venetian Arsenale. **Journal of Cultural Heritage**, v. 3, n. 1, p. 89–92, 2002.

TABLADA, A. et al. On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments - the Old Havana case. **Building and Environment**, v. 44, n. 9, p. 1943–1958, 2009.

TOFANI, F. DE P. **Teorias e Práticas Contemporâneas de Restauração , Reabilitação e Requalificação do Patrimônio Cultural Edificado : Uma Experiência de Ensino de Pós-Graduação Interdisciplinar**. 3º Simpósio Científico do ICOMOS Brasil. **Anais...Belo Horizonte: UFMG, 2019** Disponível em: <<http://www.even3.com.br/anais/IIISimpósioICOMOSBrasil%3E>>. Acesso em: 30 maio. 2021

TREICHEL, S. Z.; SILVA, A. C. S. B. DA; OLIVEIRA, A. L. C. DE. **Conforto Térmico da Arquitetura Vernacular Produzida pelos Descendentes da Pomerânia no Sul do Brasil**. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção. **Anais...Campinas: 2018** Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652296>>

TWEED, C.; SUTHERLAND, M. Built cultural heritage and sustainable urban development. **Landscape and Urban Planning**, v. 83, p. 62–69, 2007.

ULUSAM SEÇKINER, S.; KOÇ, A. Agent-based simulation and simulation optimization approaches to energy planning under different scenarios: A hospital application case. **Computers and Industrial Engineering**, v. 169, n. September 2021, p. 108163, 2022.

UNESCO. **Orientações Técnicas para Aplicação da Convenção do Patrimônio Mundial**. Lisboa: Comissão Nacional da Unesco - Portugal, 2017.

VIOLLET-LE-DUC, E. E. **Restauração**. São Paulo: Atelier Editorial, 2000.

VOGTSBAUERNHOF. **Schwarzwälder Freilichtmuseum Vogtsbauernhof**. Disponível em: <<https://www.vogtsbauernhof.de/>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

WEBER, F. DA S. et al. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus**. Florianópolis: UFSC, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, 2017.

WEIMER, G. A arquitetura rural da imigração alemã. In: **WEIMER, G. (Org.) A Arquitetura no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Mercado Aberto, 1987. p. 53–94.

WEIMER, G. **Arquitetura popular da imigração alemã**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.

ZABALBEASCOA, A. **Lacaton & Vassal ganham o Prêmio Pritzker 2021 com uma arquitetura que certifica a mudança**. Disponível em:

<[https://brasil.elpais.com/cultura/2021-03-16/lacaton-vassal-ganham-o-premio-pritzker-2021-com-uma-arquitetura-que-certifica-a-Mudanca.html?utm\\_source=Facebook&ssm=FB\\_BR\\_CM#Echobox=1615938024](https://brasil.elpais.com/cultura/2021-03-16/lacaton-vassal-ganham-o-premio-pritzker-2021-com-uma-arquitetura-que-certifica-a-Mudanca.html?utm_source=Facebook&ssm=FB_BR_CM#Echobox=1615938024)>. Acesso em: 19 mar. 2021.

ZUIDERZEEMUSEUM. **Zuiderzeemuseum**. Disponível em:

<<https://www.zuiderzeemuseum.nl/>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

## APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PERGUNTAS

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

### DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

\*Obrigatório

1. E-mail \*

---

## TCLE – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado Colega,

Estou desenvolvendo pesquisa que tem como objetivo a avaliação de estratégias para o aumento do desempenho térmico e da eficiência energética nas intervenções no patrimônio arquitetônico. O método de pesquisa consiste em avaliações quantitativas e qualitativas das diferentes estratégias propostas. Para a avaliação qualitativa é necessária uma apreciação das estratégias sob os aspectos de compatibilidade patrimonial (referente aos valores históricos e artísticos) e técnico-funcionais. Desta forma, a pesquisa propõe a aplicação de questionários para profissionais arquitetos e urbanistas ligados à área de patrimônio arquitetônico no Brasil, prevendo sua aplicação para categorias como profissionais atuantes em órgãos de patrimônio, escritórios de arquitetura especializados na área e para professores universitários das disciplinas da área.

Isso dito, estou te convidando a responder o questionário que segue, onde inicialmente são apresentadas as edificações representativas das principais correntes migratórias no estado do Rio Grande do Sul. Na sequência são apresentados os aspectos de compatibilidade patrimonial e técnico-funcionais a serem considerados nas avaliações. Finalizando são apresentadas as estratégias a serem analisadas sob os diferentes aspectos. Para tanto, solicita-se a análise de cada estratégia indicando sua avaliação para cada aspecto. O modelo de questionário proposto é constituído somente de perguntas fechadas que utilizam escalas de cinco pontos, sendo que os critérios de avaliação vão do mais positivo (5) ao mais negativo (1), havendo também a opção para quando a avaliação da estratégia não se aplicar àquele tipo de edificação (0). Avalie cada aspecto através de sua experiência pessoal ou do conhecimento das estratégias utilizadas sendo que deve ser marcado apenas um critério para cada aspecto avaliado.

Lembro ao colega que o risco em participar desta pesquisa é mínimo, sendo que o tempo necessário para as respostas pode ser um pouco extenso (em torno de 40 a 50 minutos). Dessa forma, fique à vontade para responder parcialmente os questionários, interromper o preenchimento e retomar quando conveniente ou desistir da empreitada a qualquer momento. Reforço que não haverá qualquer benefício direto na sua participação, mas que você estará contribuindo para uma importante pesquisa acadêmica.

Este termo está sendo enviado em formato digital através de um link juntamente com os questionários que deverão ser preenchidos através de Google Forms. Assim sendo, a devolução do questionário, por si só, será a confirmação de participação. Através do contato pelo e-mail [romulo.giralt@ufrgs.br](mailto:romulo.giralt@ufrgs.br) estarei disponível para quaisquer esclarecimentos ou até mesmo alguma ajuda no preenchimento do questionário.

Muito obrigado.

## ARQUITETURA REPRESENTATIVA DAS PRINCIPAIS CORRENTES MIGRATÓRIAS NO RIO GRANDE DO SUL

### 1. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

Edificações com paredes espessas de alvenaria revestidas com reboco a base de cal. As coberturas são de telhas de barro com estrutura de madeira, mesma estrutura de pisos e entrepisos. No Rio Grande do Sul, estão ligadas ao processo inicial de ocupação do território, geralmente localizadas acompanhando os principais cursos d'água ou junto ao litoral. Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.



Solar Lopo Gonçalves – Porto Alegre/RS

Solte do Almirante Alexandrino, Rio Pardo/RS

Prefeitura Municipal – Trunfo/RS

## ARQUITETURA REPRESENTATIVA DAS PRINCIPAIS CORRENTES MIGRATÓRIAS NO RIO GRANDE DO SUL

### 2. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

Edificações construídas na técnica construtiva “Enxaimel” com a estrutura de madeira aparente preenchida com taipa, barro socado, tijolos maciços rebocados e até mesmo pedra grés cortada. A cobertura inicialmente de “tabuinhas” de madeira foi substituída por telhas de barro ou de zinco. Em geral localizadas de acordo com a localização das colônias alemãs no Rio Grande do Sul, como no Vale do Sinos, Vale do Taquari, Vale do Rio Pardo, bem como na Costa Doce, proximidades de São Lourenço do Sul. Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.



Casa Schmitt-Presser – Novo Hamburgo/RS

Casa em Westfália/RS

Casa em Ivoti/RS

## ARQUITETURA REPRESENTATIVA DAS PRINCIPAIS CORRENTES MIGRATÓRIAS NO RIO GRANDE DO SUL

### 3. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

Nas colônias mais antigas cerca de 85% das residências e quase 100% das estruturas anexas eram construídas em madeira. Muitas vezes, a pedra ou o tijolo eram empregados na base e alicerces e a madeira utilizada nos níveis superiores. Nas colônias mais recentes a madeira foi o material quase exclusivo. As coberturas são de telhas de zinco ou de barro. Em função do processo de demarcação das colônias italianas no Rio Grande do Sul, estas edificações estão localizadas na região da serra do nordeste, bem como na "quarta colônia", nas proximidades de Santa Maria. Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.



Casa em Vista Alegre do Prata/RS

Casa em Antônio Prado/RS

Casa em Santa Tereza/RS

## ARQUITETURA REPRESENTATIVA DAS PRINCIPAIS CORRENTES MIGRATÓRIAS NO RIO GRANDE DO SUL

### 4. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

Edificações com paredes de alvenaria de grande espessura revestidas com reboco. Coberturas em telhas cerâmicas. Pisos e entrepisos em estrutura de madeira ou concreto armado, dependendo do porte e da época de construção. Esquadrias em madeira compostas por planos envidraçados, tampos internos e venezianas internas ou externas, podendo também ser encontradas esquadrias de ferro. No Rio Grande do Sul essas edificações são predominantemente urbanas, localizadas na maioria das cidades. Na sequência são apresentados três exemplares dessa arquitetura, todas com uso original residencial.



Palacete Argentina – Porto Alegre/RS

Palacete Santo Merughetti – Porto Alegre/RS

Casa Torelly – Porto Alegre/RS

### AVALIAÇÃO QUALITATIVA DAS ESTRATÉGIAS PARA DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO

#### ASPECTOS DE COMPATIBILIDADE PATRIMONIAL

##### AUTENTICIDADE

O termo autenticidade identifica a história material do edifício que é transmitida pelo tempo. A autenticidade ultrapassa a aparência externa e o efeito artístico da edificação. São testemunhos de valor, onde estão presentes diversas características históricas como a estrutura e a tipologia de um edifício, seu sistema construtivo, os materiais empregados e sua fabricação, incluindo todos os vestígios da idade e do uso. No âmbito deste estudo trata-se especialmente de influências (modificações ou remoções) na estrutura ou na envoltória do edifício. Este aspecto avalia as estratégias a serem implementadas quanto ao grau relativo de perda da originalidade da edificação.

Critério	
Autenticidade permanece completamente preservada, nenhuma perda do testemunho de valor histórico.	5
Autenticidade permanece consideravelmente preservada, correções, reparos e substituição de partes danificadas são possíveis.	4
Autenticidade parcialmente preservada, reparos com um custo aceitável, ainda possíveis.	3
Autenticidade claramente prejudicada, poucas partes originais permanecem preservadas, reparos posteriores apenas parcialmente possíveis ou aceitáveis.	2
Ampla perda da autenticidade pela substituição de componentes relevantes, perda irreversível do testemunho de valor histórico.	1
Não se aplica	0

#### ASPECTOS DE COMPATIBILIDADE PATRIMONIAL

##### IMAGEM

Ao testemunho de valor criativo e de proteção do edifício, e seu efeito artístico, pertencem também a leitura e a legibilidade de sua proposição formal, que transmitem, ao mesmo tempo, informações culturais e históricas. As intervenções são consideradas, por um lado, em relação ao edifício e, por outro lado, por tratar-se de proposições generalizáveis, com respeito aos possíveis impactos sobre o entorno e outras características urbanas como, por exemplo, a paisagem dos telhados. Este aspecto avalia as estratégias a serem implementadas quanto à interferência na imagem, leitura e legibilidade da edificação.

Critério	
Valor formal/Imagem inalterados.	5
Valor formal/Imagem consideravelmente preservados, interferências no âmbito de detalhes.	4
Valor formal/Imagem parcialmente alterados e prejudicados.	3
Valor formal/Imagem claramente alterados e prejudicados.	2
Valor formal/Imagem gravemente prejudicados ou perdidos.	1
Não se aplica	0

## ASPECTOS DE COMPATIBILIDADE PATRIMONIAL

**REVERSIBILIDADE**

Este aspecto vai além da notoriedade (como a possibilidade de identificação da intervenção), já que para muitas das estratégias de intervenção propostas existem até aqui poucas experiências de médio e longo prazo. Como em monumentos culturais trata-se sempre da questão de sua transmissão para as gerações seguintes, as estratégias também são avaliadas com respeito a sua reversibilidade. Este aspecto avalia as estratégias a serem implementadas quanto ao caráter de recuperabilidade do estado original da edificação.

Critério	
Completamente reversível, sem perda da essência histórica.	5
Reversível com pouca perda da essência histórica.	4
Parcialmente reversível com perda da essência histórica.	3
Difícilmente reversível, somente com maior perda da essência histórica.	2
Irreversível, ou somente com grande destruição da essência histórica.	1
Não se aplica	0

## ASPECTOS TÉCNICO-FUNCIONAIS

**RISCO DE DANOS**

Aqui as estratégias são avaliadas com respeito ao seu risco potencial de danos à estrutura construtiva existente (componentes construtivos), que são esperados no futuro como efeito em longo prazo. Deve ser distinguido do aspecto preservacionista anteriormente definido como perda da autenticidade que é resultado direto das interferências pela implementação das estratégias. Este aspecto avalia a tendência e a previsibilidade de determinadas estratégias provocarem ou aumentarem o risco de danos à edificação.

Critério	
Estrutura construtiva claramente melhorada e valorizada.	5
Estrutura construtiva tendencialmente melhorada e valorizada.	4
Estrutura construtiva nem melhorada nem degradada.	3
Estrutura construtiva com tendência mais provável a danos, risco baixo.	2
Estrutura construtiva com tendência a danos, risco alto.	1
Não se aplica	0

## ASPECTOS TÉCNICO-FUNCIONAIS

**FUNCIONALIDADE**

Sob este aspecto estão reunidos a facilidade, o valor e a capacidade de utilização da edificação, sua operacionalidade bem como o bem estar do usuário. As estratégias são avaliadas através dos critérios que seguem.

Critério	
Funcionalidade claramente melhorada.	5
Funcionalidade tendencialmente melhorada.	4
Funcionalidade nem melhorada nem piorada.	3
Funcionalidade tendencialmente piorada.	2
Funcionalidade claramente piorada.	1
Não se aplica	0

## ASPECTOS TÉCNICO-FUNCIONAIS

**VIABILIDADE**

Este critério avalia a o grau de facilidade ou dificuldade de implementação de determinada estratégia, considerando-se disponibilidade de materiais e de mão-de-obra especializada, podendo referir-se também a custos.

Critério	
Estratégia com implementação nitidamente fácil.	5
Estratégia com implementação tendencialmente fácil.	4
Estratégia com implementação nem fácil nem difícil.	3
Estratégia com implementação tendencialmente difícil.	2
Estratégia com implementação nitidamente difícil.	1
Não se aplica	0

**AVALIAÇÃO DAS  
ESTRATÉGIAS  
PARA  
DESEMPENHO  
TÉRMICO E  
EFICIÊNCIA  
ENERGÉTICA NO  
PATRIMÔNIO  
ARQUITETÔNICO**

Este questionário é constituído de 40 perguntas. São dez perguntas para cada tipo de edificação. É possível interromper o preenchimento e retornar em outro momento, ou mesmo em outro computador, tablet ou smartfone. O preenchimento fica salvo automaticamente. Para cada aspecto marque apenas um critério. Caso seja necessário retomar para relembrar os critérios, basta rolar a tela até o final e utilizar o botão "voltar" até a sessão onde são descritos os aspectos. Utilizando o botão "próxima" retorna-se às sessões de preenchimento referentes a cada tipo de edificação. Você também pode responder parcialmente o questionário, ou seja, responder para somente uma, duas ou três tipos de edificações.

## EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA



## 2. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 1** - Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares assentados sobre contrapisos e/ou lajes de concreto. O isolamento pode ser aplicado entre o piso e uma camada de argamassa de regularização, implicando na remoção e recolocação do piso original.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 3. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 2** - Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira. O isolamento pode ser aplicado abaixo do piso entre o barroteamento, no caso de pisos térreos, ou entre o piso do pavimento superior e o forro do pavimento inferior, no caso de estrutura de entrepisos de madeira.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 4. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 3** - Isolamento térmico do telhado. O isolamento pode ser aplicado entre os caibros, no caso das terças aparentes ou, quando houver forro, entre este e a estrutura do telhado.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 5. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 4** - Isolamento térmico do forro ou laje de cobertura. O isolamento pode ser aplicado acima da laje ou do forro.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 6. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 5** - Isolamento térmico externo das paredes externas com sistema de isolamento térmico exterior. Trata-se de EIFS (Exterior Insulation Finishing System, da sigla em inglês), WDVS (Wärmedämmverbundsystem, da sigla em alemão) ou SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior, da sigla em espanhol). São sistemas compostos de isolamento que têm uma espessura que vai de 4 a no máximo 20 cm. Esta estratégia também inclui rebocos de isolamento térmico.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 7. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 6** - Isolamento térmico das paredes externas sob revestimentos (madeira, etc.). O isolamento pode ser aplicado entre paredes duplas de madeira ou, no caso de revestimento de madeira aplicado sobre alvenaria, entre aquele e a alvenaria.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 8. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 7** - Isolamento térmico interno das paredes externas. Geralmente lã de vidro ou lã de rocha aplicada entre a parede e novo revestimento interno como, por exemplo, camada de gesso acartonado. A espessura do conjunto fica em torno de 50 mm.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 9. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 8** - Vedação e reparação de janelas e portas para redução da infiltração de ar. Esquadrias em más condições aumentam as infiltrações que ocasionam problemas de perda de calor no inverno ou ganhos de calor no verão, implicando no conforto térmico dos usuários e na eficiência de equipamento de aquecimento ou refrigeração.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 10. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 9** - Substituição de janelas utilizando-se a forma original e o mesmo tipo de material, com utilização de vidro duplo, quando for o caso. As novas esquadrias devem utilizar-se dos mesmos materiais das esquadrias originais, porém com melhor vedação.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 11. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

**Estratégia 10** - Instalação de um plano adicional interno de janela. Adequado a esquadrias com vitrais ou vidros decorativos que não permitam sua substituição, por exemplo, por esquadrias com vidro duplo. Geralmente em paredes com grande espessura que permitam a criação de um novo plano de esquadria, interno, instalado no mesmo vão da janela, preferencialmente de vidro para não prejudicar a iluminação natural. Deve ser móvel, para permitir ventilação, quando desejada.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

## EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA



29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 12. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 1** - Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares assentados sobre contrapisos e/ou lajes de concreto. O isolamento pode ser aplicado entre o piso e uma camada de argamassa de regularização, implicando na remoção e recolocação do piso original.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 13. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 2** - Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira. O isolamento pode ser aplicado abaixo do piso entre o barroamento, no caso de pisos térreos, ou entre o piso do pavimento superior e o forro do pavimento inferior, no caso de estrutura de entrepisos de madeira.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 14. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 3 - Isolamento térmico do telhado.** O isolamento pode ser aplicado entre os caibros, no caso das terças aparentes ou, quando houver forro, entre este e a estrutura do telhado.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 15. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 4** - Isolamento térmico do forro ou laje de cobertura. O isolamento pode ser aplicado acima da laje ou do forro.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
<b>0 - Não se Aplica</b>	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 16. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 5** - Isolamento térmico externo das paredes externas com sistema de isolamento térmico exterior. Trata-se de EIFS (Exterior Insulation Finishing System, da sigla em inglês), WDVS (Wärmedämmverbundsystem, da sigla em alemão) ou SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior, da sigla em espanhol). São sistemas compostos de isolamento que têm uma espessura que vai de 4 a no máximo 20 cm. Esta estratégia também inclui rebocos de isolamento térmico.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 17. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 6** - Isolamento térmico das paredes externas sob revestimentos (madeira, etc.). O isolamento pode ser aplicado entre paredes duplas de madeira ou, no caso de revestimento de madeira aplicado sobre alvenaria, entre aquele e a alvenaria.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 18. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 7** - Isolamento térmico interno das paredes externas. Geralmente lã de vidro ou lã de rocha aplicada entre a parede e novo revestimento interno como, por exemplo, camada de gesso acartonado. A espessura do conjunto fica em torno de 50 mm.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 19. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 8** - Vedação e reparação de janelas e portas para redução da infiltração de ar. Esquadrias em más condições aumentam as infiltrações que ocasionam problemas de perda de calor no inverno ou ganhos de calor no verão, implicando no conforto térmico dos usuários e na eficiência de equipamento de aquecimento ou refrigeração.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 20. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 9** - Substituição de janelas utilizando-se a forma original e o mesmo tipo de material, com utilização de vidro duplo, quando for o caso. As novas esquadrias devem utilizar-se dos mesmos materiais das esquadrias originais, porém com melhor vedação.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 21. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA TEUTO-BRASILEIRA

**Estratégia 10** - Instalação de um plano adicional interno de janela. Adequado a esquadrias com vitrais ou vidros decorativos que não permitam sua substituição, por exemplo, por esquadrias com vidro duplo. Geralmente em paredes com grande espessura que permitam a criação de um novo plano de esquadria, interno, instalado no mesmo vão da janela, preferencialmente de vidro para não prejudicar a iluminação natural. Deve ser móvel, para permitir ventilação, quando desejada.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

## EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA



29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 22. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 1** - Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares assentados sobre contrapisos e/ou lajes de concreto. O isolamento pode ser aplicado entre o piso e uma camada de argamassa de regularização, implicando na remoção e recolocação do piso original.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
<b>0 - Não se Aplica</b>	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 23. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 2** - Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira. O isolamento pode ser aplicado abaixo do piso entre o barroteamento, no caso de pisos térreos, ou entre o piso do pavimento superior e o forro do pavimento inferior, no caso de estrutura de entrepisos de madeira.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 24. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 3 - Isolamento térmico do telhado.** O isolamento pode ser aplicado entre os caibros, no caso das terças aparentes ou, quando houver forro, entre este e a estrutura do telhado.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 25. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 4** - Isolamento térmico do forro ou laje de cobertura. O isolamento pode ser aplicado acima da laje ou do forro.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 26. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 5** - Isolamento térmico externo das paredes externas com sistema de isolamento térmico exterior. Trata-se de EIFS (Exterior Insulation Finishing System, da sigla em inglês), WDVS (Wärmedämmverbundsystem, da sigla em alemão) ou SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior, da sigla em espanhol). São sistemas compostos de isolamento que têm uma espessura que vai de 4 a no máximo 20 cm. Esta estratégia também inclui rebocos de isolamento térmico.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 27. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 6** - Isolamento térmico das paredes externas sob revestimentos (madeira, etc.). O isolamento pode ser aplicado entre paredes duplas de madeira ou, no caso de revestimento de madeira aplicado sobre alvenaria, entre aquele e a alvenaria.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 28. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 7** - Isolamento térmico interno das paredes externas. Geralmente lã de vidro ou lã de rocha aplicada entre a parede e novo revestimento interno como, por exemplo, camada de gesso acartonado. A espessura do conjunto fica em torno de 50 mm.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 29. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 8** - Vedação e reparação de janelas e portas para redução da infiltração de ar. Esquadrias em más condições aumentam as infiltrações que ocasionam problemas de perda de calor no inverno ou ganhos de calor no verão, implicando no conforto térmico dos usuários e na eficiência de equipamento de aquecimento ou refrigeração.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 30. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 9** - Substituição de janelas utilizando-se a forma original e o mesmo tipo de material, com utilização de vidro duplo, quando for o caso. As novas esquadrias devem utilizar-se dos mesmos materiais das esquadrias originais, porém com melhor vedação.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 31. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

**Estratégia 10** - Instalação de um plano adicional interno de janela. Adequado a esquadrias com vitrais ou vidros decorativos que não permitam sua substituição, por exemplo, por esquadrias com vidro duplo. Geralmente em paredes com grande espessura que permitam a criação de um novo plano de esquadria, interno, instalado no mesmo vão da janela, preferencialmente de vidro para não prejudicar a iluminação natural. Deve ser móvel, para permitir ventilação, quando desejada.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

## EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO



29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 32. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 1** - Isolamento térmico de pisos cerâmicos ou similares assentados sobre contrapisos e/ou lajes de concreto. O isolamento pode ser aplicado entre o piso e uma camada de argamassa de regularização, implicando na remoção e recolocação do piso original.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 33. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 2** - Isolamento térmico de pisos e entrepisos de madeira. O isolamento pode ser aplicado abaixo do piso entre o barroteamento, no caso de pisos térreos, ou entre o piso do pavimento superior e o forro do pavimento inferior, no caso de estrutura de entrepisos de madeira.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 34. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 3 - Isolamento térmico do telhado.** O isolamento pode ser aplicado entre os caibros, no caso das terças aparentes ou, quando houver forro, entre este e a estrutura do telhado.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 35. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 4** - Isolamento térmico do forro ou laje de cobertura. O isolamento pode ser aplicado acima da laje ou do forro.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 36. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 5** - Isolamento térmico externo das paredes externas com sistema de isolamento térmico exterior. Trata-se de EIFS (Exterior Insulation Finishing System, da sigla em inglês), WDVS (Wärmedämmverbundsystem, da sigla em alemão) ou SATE (Sistema de Aislamiento Térmico Exterior, da sigla em espanhol). São sistemas compostos de isolamento que têm uma espessura que vai de 4 a no máximo 20 cm. Esta estratégia também inclui rebocos de isolamento térmico.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 37. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 6** - Isolamento térmico das paredes externas sob revestimentos (madeira, etc.). O isolamento pode ser aplicado entre paredes duplas de madeira ou, no caso de revestimento de madeira aplicado sobre alvenaria, entre aquele e a alvenaria.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 38. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 7** - Isolamento térmico interno das paredes externas. Geralmente lã de vidro ou lã de rocha aplicada entre a parede e novo revestimento interno como, por exemplo, camada de gesso acartonado. A espessura do conjunto fica em torno de 50 mm.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 39. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 8** - Vedação e reparação de janelas e portas para redução da infiltração de ar. Esquadrias em más condições aumentam as infiltrações que ocasionam problemas de perda de calor no inverno ou ganhos de calor no verão, implicando no conforto térmico dos usuários e na eficiência de equipamento de aquecimento ou refrigeração.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 40. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 9** - Substituição de janelas utilizando-se a forma original e o mesmo tipo de material, com utilização de vidro duplo, quando for o caso. As novas esquadrias devem utilizar-se dos mesmos materiais das esquadrias originais, porém com melhor vedação.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

29/08/2022 13:18

DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA COMO ESTRATÉGIAS DE PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO A...

## 40. EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

**Estratégia 9** - Substituição de janelas utilizando-se a forma original e o mesmo tipo de material, com utilização de vidro duplo, quando for o caso. As novas esquadrias devem utilizar-se dos mesmos materiais das esquadrias originais, porém com melhor vedação.

Marque todas que se aplicam.

	Autenticidade	Imagem	Reversibilidade	Risco de Danos	Funcionalidade	Viabilidade
5	<input type="checkbox"/>					
4	<input type="checkbox"/>					
3	<input type="checkbox"/>					
2	<input type="checkbox"/>					
1	<input type="checkbox"/>					
0 - Não se Aplica	<input type="checkbox"/>					

## APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PONTUAÇÃO E MÉDIA PONDERADA

### Casa das Pestanas

#### EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA LUSO-BRASILEIRA

Estratégia 1	Isolamento Pisos Cerâmicos						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	2	4	3	1	6	1	17	43	2,53	2,65	2,83	50,59		
Imagem	5	6	2	0	3	1	17	58	3,41			68,24	52,94	80-100
Reversibilidade	0	1	4	7	4	1	17	34	2,00	3,20	3,20	40,00	9	70-80
Risco de Danos	2	2	4	3	5	1	17	41	2,41			48,24	60-70	
Funcionalidade	6	7	2	1	0	1	17	66	3,88	2,92	2,92	77,65	63,92	50-60
Viabilidade	4	5	2	5	0	1	17	56	3,29			65,88	< 50	
2,92														
Estratégia 2 Isolamento Pisos-Entrepisos Madeira														
Estratégia 2	Isolamento Pisos-Entrepisos Madeira						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	5	6	4	1	1	0	17	64	3,76	4,14	4,12	75,29		
Imagem	12	2	1	1	1	0	17	74	4,35			87,06	82,75	80-100
Reversibilidade	10	4	2	0	1	0	17	73	4,29	4,10	4,10	85,88	1	70-80
Risco de Danos	4	6	4	1	1	1	17	59	3,47			69,41	60-70	
Funcionalidade	8	7	2	0	0	0	17	74	4,35	4,12	4,12	87,06	81,96	50-60
Viabilidade	9	7	1	0	0	0	17	76	4,47			89,41	< 50	
4,12														
Estratégia 3 Isolamento Cobertura														
Estratégia 3	Isolamento Cobertura						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	4	6	3	3	1	0	17	60	3,53	4,08	4,06	70,59		
Imagem	11	2	2	2	0	0	17	73	4,29			85,88	81,57	80-100
Reversibilidade	9	6	2	0	0	0	17	75	4,41	4,02	4,02	88,24	3	70-80
Risco de Danos	2	6	4	3	2	0	17	54	3,18			63,53	60-70	
Funcionalidade	12	2	2	1	0	0	17	76	4,47	4,05	4,05	89,41	80,39	50-60
Viabilidade	11	3	2	1	0	0	17	75	4,41			88,24	< 50	
4,05														
Estratégia 4 Isolamento Forro ou Laje														
Estratégia 4	Isolamento Forro ou Laje						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	7	4	3	0	1	2	17	61	3,59	3,65	3,69	71,76		
Imagem	9	3	2	0	1	2	17	64	3,76			75,29	72,94	80-100
Reversibilidade	7	4	3	0	1	2	17	61	3,59	3,78	3,78	71,76	6	70-80
Risco de Danos	3	7	2	2	1	2	17	54	3,18			63,53	60-70	
Funcionalidade	12	2	1	0	0	2	17	71	4,18	3,72	3,72	83,53	75,69	50-60
Viabilidade	9	5	1	0	0	2	17	68	4,00			80,00	< 50	
3,72														
Estratégia 5 Isolamento Externo Paredes Externas														
Estratégia 5	Isolamento Externo Paredes Externas						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	0	2	2	5	8	0	17	32	1,88	1,88	2,22	37,65		
Imagem	1	2	2	4	8	0	17	35	2,06			41,18	37,65	80-100
Reversibilidade	0	1	2	5	9	0	17	29	1,71	2,88	2,88	34,12	10	70-80
Risco de Danos	1	3	2	5	5	0	16	38	2,24			44,71	60-70	
Funcionalidade	4	5	6	0	2	0	17	60	3,53	2,38	2,38	70,59	57,65	50-60
Viabilidade	3	3	4	3	4	0	17	49	2,88			57,65	< 50	
2,38														
Estratégia 6 Isolamento Paredes Externas Madeira														
Estratégia 6	Isolamento Paredes Externas Madeira						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	6	4	0	1	2	4	17	50	2,94	3,14	3,14	58,82		
Imagem	9	3	1	0	0	4	17	60	3,53			70,59	62,75	80-100
Reversibilidade	5	5	1	0	2	4	17	50	2,94	3,16	3,16	58,82	7	70-80
Risco de Danos	3	5	2	2	1	4	17	46	2,71			54,12	60-70	
Funcionalidade	8	4	1	0	0	4	17	59	3,47	3,15	3,15	69,41	63,14	50-60
Viabilidade	7	4	1	1	0	4	17	56	3,29			65,88	< 50	
3,15														
Estratégia 7 Isolamento Interno Paredes Externas														
Estratégia 7	Isolamento Interno Paredes Externas						Total			Média Aspecto	Média Ponderada	%	Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação					
Autenticidade	0	3	3	5	5	1	17	36	2,12	2,55	2,87	42,35		
Imagem	1	4	3	5	3	1	17	43	2,53			50,59	50,98	80-100
Reversibilidade	3	4	5	1	3	1	17	51	3,00	3,51	3,51	60,00	8	70-80
Risco de Danos	2	7	2	4	1	1	17	53	3,12			62,35	60-70	
Funcionalidade	6	6	3	0	1	1	17	64	3,76	3,03	3,03	75,29	70,20	50-60
Viabilidade	5	7	2	1	1	1	17	62	3,65			72,94	< 50	
3,03														
60,59														



Estratégia 4 Isolamento Forro ou Laje							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	5	5	4	0	1	1	16	58	3,41			68,24	
Imagem	9	2	3	0	1	1	16	63	3,71	3,47		74,12	69,41
Reversibilidade	4	4	6	1	0	1	16	56	3,29		3,58	65,88	4
Risco de Danos	4	8	3	0	0	1	16	61	3,59			71,76	60-70
Funcionalidade	10	3	2	0	0	1	16	68	4,00	3,78		80,00	75,69
Viabilidade	7	5	3	0	0	1	16	64	3,76			75,29	< 50
									3,63			72,55	
Estratégia 5 Isolamento Externo Paredes Externas							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	0	1	3	2	9	1	16	26	1,53			30,59	
Imagem	1	0	3	4	7	1	16	29	1,71	1,65		34,12	32,94
Reversibilidade	0	1	4	3	7	1	16	29	1,71		1,97	34,12	10
Risco de Danos	2	2	4	3	4	1	16	40	2,35			47,06	60-70
Funcionalidade	4	4	4	2	1	1	16	53	3,12	2,61		62,35	52,16
Viabilidade	1	3	4	4	3	1	16	40	2,35			47,06	< 50
									2,13			42,55	
Estratégia 6 Isolamento Paredes Externas Madeira							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	2	6	2	1	1	4	16	43	2,53			50,59	
Imagem	8	1	1	0	1	4	15	48	2,82	2,73		56,47	54,51
Reversibilidade	4	4	4	0	0	4	16	48	2,82		2,79	56,47	8
Risco de Danos	2	5	5	0	0	4	16	45	2,65			52,94	60-70
Funcionalidade	8	2	2	0	0	4	16	54	3,18	2,92		63,53	58,43
Viabilidade	5	4	3	0	0	4	16	50	2,94			58,82	< 50
									2,82			56,47	
Estratégia 7 Isolamento Interno Paredes Externas							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	1	1	3	3	7	1	16	31	1,82			36,47	
Imagem	1	2	2	4	6	1	16	33	1,94	2,12		38,82	42,35
Reversibilidade	0	5	6	2	2	1	16	44	2,59		2,39	51,76	9
Risco de Danos	1	6	3	4	1	1	16	47	2,76			55,29	60-70
Funcionalidade	4	7	2	1	1	1	16	57	3,35	2,92		67,06	58,43
Viabilidade	1	6	2	4	2	1	16	45	2,65			52,94	< 50
									2,52			50,39	
Estratégia 8 Redução Infiltração							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	6	4	3	1	2	0	16	59	3,47			69,41	
Imagem	7	3	5	0	1	0	16	63	3,71	3,51		74,12	70,20
Reversibilidade	3	6	5	1	1	0	16	57	3,35		3,59	67,06	3
Risco de Danos	3	5	5	3	0	0	16	56	3,29			65,88	60-70
Funcionalidade	10	4	2	0	0	0	16	72	4,24	3,76		84,71	75,29
Viabilidade	6	5	4	1	0	0	16	64	3,76			75,29	< 50
									3,64			72,75	
Estratégia 9 Vidro Duplo							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	1	5	3	3	4	0	16	44	2,59			51,76	
Imagem	4	8	2	1	1	0	16	61	3,59	3,04		71,76	60,78
Reversibilidade	2	7	2	1	4	0	16	50	2,94		3,27	58,82	6
Risco de Danos	4	6	3	0	3	0	16	56	3,29			65,88	60-70
Funcionalidade	8	7	1	0	0	0	16	71	4,18	3,73		83,53	74,51
Viabilidade	4	8	3	1	0	0	16	63	3,71			74,12	< 50
									3,38			67,65	
Estratégia 10 Plano Adicional Vidro							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	4	3	5	3	1	0	16	54	3,18			63,53	
Imagem	2	5	8	0	1	0	16	55	3,24	3,37		64,71	67,45
Reversibilidade	6	5	3	2	0	0	16	63	3,71		3,49	74,12	5
Risco de Danos	3	6	6	1	0	0	16	59	3,47			69,41	60-70
Funcionalidade	7	6	2	1	0	0	16	67	3,94	3,73		78,82	74,51
Viabilidade	5	7	3	1	0	0	16	64	3,76			75,29	< 50
									3,55			70,98	

## Casa da Neni

## EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DA ARQUITETURA ÍTALO-BRASILEIRA

Estratégia 1 Isolamento Pisos Cerâmicos							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	3	4	4	0	3	1	15	46	2,71	2,57	2,70	54,12				80-100
Imagem	4	3	5	0	2	1	15	49	2,88			57,65	51,37			
Reversibilidade	1	2	4	4	3	1	15	36	2,12			42,35		8		60-70
Risco de Danos	2	2	8	1	1	1	15	45	2,65			52,94				50-60
Funcionalidade	6	4	4	0	0	1	15	58	3,41	2,96		68,24				< 50
Viabilidade	3	3	5	3	0	1	15	48	2,82			56,47				
									2,76			55,29				
Estratégia 2 Isolamento Pisos-Entrepisos Madeira							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	5	6	3	0	1	0	15	59	3,47	3,71	3,73	69,41				80-100
Imagem	11	0	2	1	1	0	15	64	3,76			75,29	74,12			
Reversibilidade	7	7	1	0	0	0	15	66	3,88			77,65		2		60-70
Risco de Danos	4	6	2	2	1	0	15	55	3,24			64,71				50-60
Funcionalidade	9	5	1	0	0	0	15	68	4,00	3,76		80,00				< 50
Viabilidade	10	4	1	0	0	0	15	69	4,06			81,18				
									3,74			74,71				
Estratégia 3 Isolamento Cobertura							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	5	5	4	0	1	0	15	58	3,41	3,73	3,77	68,24				80-100
Imagem	11	2	1	1	0	0	15	68	4,00			80,00	74,51			
Reversibilidade	6	7	2	0	0	0	15	64	3,76			75,29		1		60-70
Risco de Danos	5	5	4	1	0	0	15	59	3,47			69,41				50-60
Funcionalidade	11	3	1	0	0	0	15	70	4,12	3,86		82,35				< 50
Viabilidade	11	2	1	1	0	0	15	68	4,00			80,00				
									3,79			75,88				
Estratégia 4 Isolamento Forro ou Laje							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	5	6	2	0	1	1	15	56	3,29	3,33	3,39	65,88				80-100
Imagem	9	1	4	0	0	1	15	61	3,59			71,76	66,67			
Reversibilidade	3	5	6	0	0	1	15	53	3,12			62,35		4		70-80
Risco de Danos	5	5	3	1	0	1	15	56	3,29			65,88				60-70
Funcionalidade	9	3	2	0	0	1	15	63	3,71	3,51		74,12				50-60
Viabilidade	7	4	3	0	0	1	15	60	3,53			70,59				< 50
									3,42			68,43				
Estratégia 5 Isolamento Externo Paredes Externas							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	0	0	2	3	9	1	15	21	1,24	1,35	1,69	24,71				80-100
Imagem	0	1	2	2	9	1	15	23	1,35			27,06	27,06			
Reversibilidade	1	1	1	3	7	2	15	25	1,47			29,41		10		60-70
Risco de Danos	3	1	2	5	3	1	15	38	2,24			44,71				50-60
Funcionalidade	3	7	1	1	2	1	15	50	2,94	2,35		58,82				< 50
Viabilidade	0	2	4	4	4	1	15	32	1,88			37,65				
									1,85			37,06				
Estratégia 6 Isolamento Paredes Externas Madeira							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	3	7	2	1	1	1	15	52	3,06	3,29	3,32	61,18				80-100
Imagem	7	4	3	0	0	1	15	60	3,53			70,59	65,88			
Reversibilidade	4	6	4	0	0	1	15	56	3,29			65,88		6		70-80
Risco de Danos	2	6	6	0	0	1	15	52	3,06			61,18				60-70
Funcionalidade	8	5	1	0	0	1	15	63	3,71	3,37		74,12				50-60
Viabilidade	5	6	2	1	0	1	15	57	3,35			67,06				< 50
									3,33			66,67				
Estratégia 7 Isolamento Interno Paredes Externas							Total		Média		Média		%		Média	
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média			
Autenticidade	1	3	2	3	5	1	15	34	2,00	2,27	2,55	40,00				80-100
Imagem	3	2	1	4	4	1	15	38	2,24			44,71	45,49			
Reversibilidade	3	3	4	1	3	1	15	44	2,59			51,76		9		70-80
Risco de Danos	5	2	5	1	1	1	15	51	3,00			60,00				60-70
Funcionalidade	7	4	2	0	1	1	15	58	3,41	3,10		68,24				50-60
Viabilidade	3	6	2	1	2	1	15	49	2,88			57,65				< 50
									2,69			53,73				

Estratégia 8							Redução Infiltração							Total			Média			
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média							
Autenticidade	6	6	1	0	2	0	15	59	3,47	3,61	3,69	69,41	72,16	3	80-100					
Imagem	8	4	3	0	0	0	15	65	3,82			76,47				70,59	70-80			
Reversibilidade	6	5	3	0	1	0	15	60	3,53	3,86	3,86	69,41	77,25	3	60-70					
Risco de Danos	5	6	2	2	0	0	15	59	3,47			69,41				60-70				
Funcionalidade	11	4	0	0	0	0	15	71	4,18	3,74	3,74	83,53	77,25	3	50-60					
Viabilidade	8	6	1	0	0	0	15	67	3,94			78,82				< 50				
												74,71								

Estratégia 9							Vidro Duplo							Total			Média			
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média							
Autenticidade	1	4	3	4	3	0	15	41	2,41	2,78	3,12	48,24	55,69	7	80-100					
Imagem	5	5	2	2	1	0	15	56	3,29			65,88				52,94	70-80			
Reversibilidade	3	5	1	1	5	0	15	45	2,65	3,80	3,80	69,41	76,08	7	60-70					
Risco de Danos	5	6	3	0	1	0	15	59	3,47			69,41				60-70				
Funcionalidade	10	5	0	0	0	0	15	70	4,12	3,29	3,29	82,35	76,47	7	50-60					
Viabilidade	6	8	1	0	0	0	15	65	3,82			76,47				< 50				
												65,88								

Estratégia 10							Plano Adicional Vidro							Total			Média			
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média							
Autenticidade	5	3	4	2	1	0	15	54	3,18	3,25	3,37	63,53	65,10	5	80-100					
Imagem	4	3	5	2	1	0	15	52	3,06			61,18				70,59	70-80			
Reversibilidade	6	6	1	1	1	0	15	60	3,53	3,61	3,61	64,71	72,16	5	60-70					
Risco de Danos	3	6	5	0	1	0	15	55	3,24			64,71				60-70				
Funcionalidade	7	6	2	0	0	0	15	65	3,82	3,43	3,43	76,47	75,29	5	50-60					
Viabilidade	7	5	3	0	0	0	15	64	3,76			75,29				< 50				
												68,63								

## Casa Frasca

### EDIFICAÇÕES REPRESENTATIVAS DO ECLETISMO

Estratégia 1							Isolamento Pisos Cerâmicos							Total			Média			
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média							
Autenticidade	3	2	6	1	4	0	16	47	2,76	2,75	2,94	55,29	54,90	7	80-100					
Imagem	5	5	4	0	2	0	16	59	3,47			69,41				40,00	70-80			
Reversibilidade	0	1	5	5	5	0	16	34	2,00	3,33	3,33	56,47	66,67	7	60-70					
Risco de Danos	2	3	6	3	2	0	16	48	2,82			56,47				50-60				
Funcionalidade	5	8	3	0	0	0	16	66	3,88	3,04	3,04	77,65	60,78	7	< 50					
Viabilidade	2	7	4	3	0	0	16	56	3,29			65,88				< 50				
												60,78								

Estratégia 2							Isolamento Pisos-Entrepisos Madeira							Total			Média			
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média							
Autenticidade	6	7	1	0	1	0	15	62	3,65	3,71	3,75	72,94	74,12	2	80-100					
Imagem	10	1	3	0	1	0	15	64	3,76			75,29				70-80				
Reversibilidade	5	8	2	0	0	0	15	63	3,71	3,82	3,82	74,12	76,47	2	60-70					
Risco de Danos	4	6	4	0	1	0	15	57	3,35			67,06				50-60				
Funcionalidade	10	4	1	0	0	0	15	69	4,06	3,76	3,76	81,18	75,29	2	< 50					
Viabilidade	10	4	1	0	0	0	15	69	4,06			81,18				< 50				
												75,29								

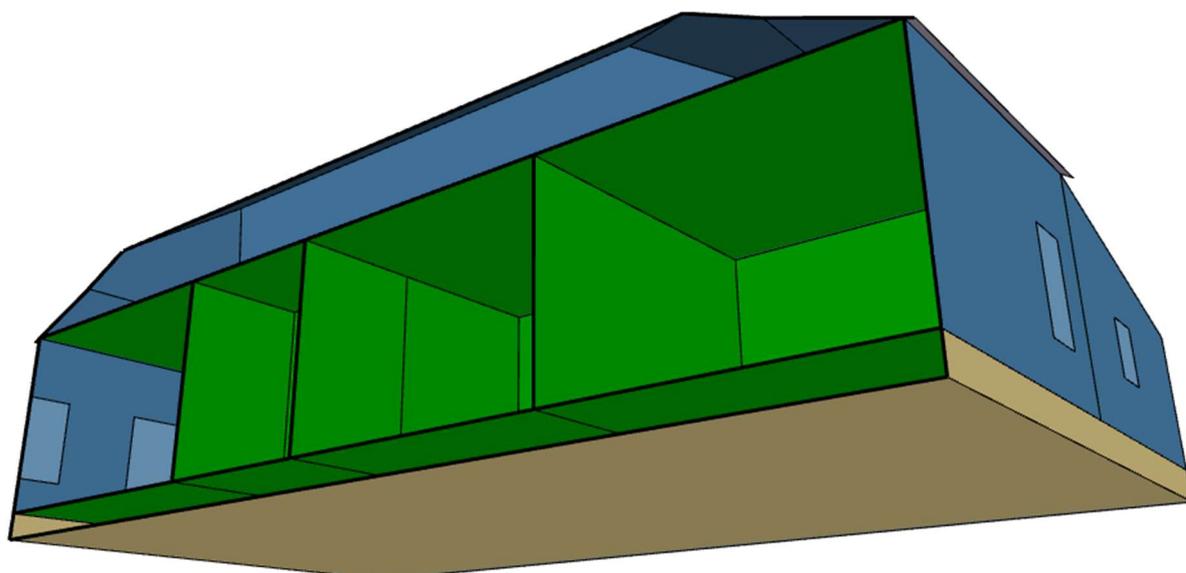
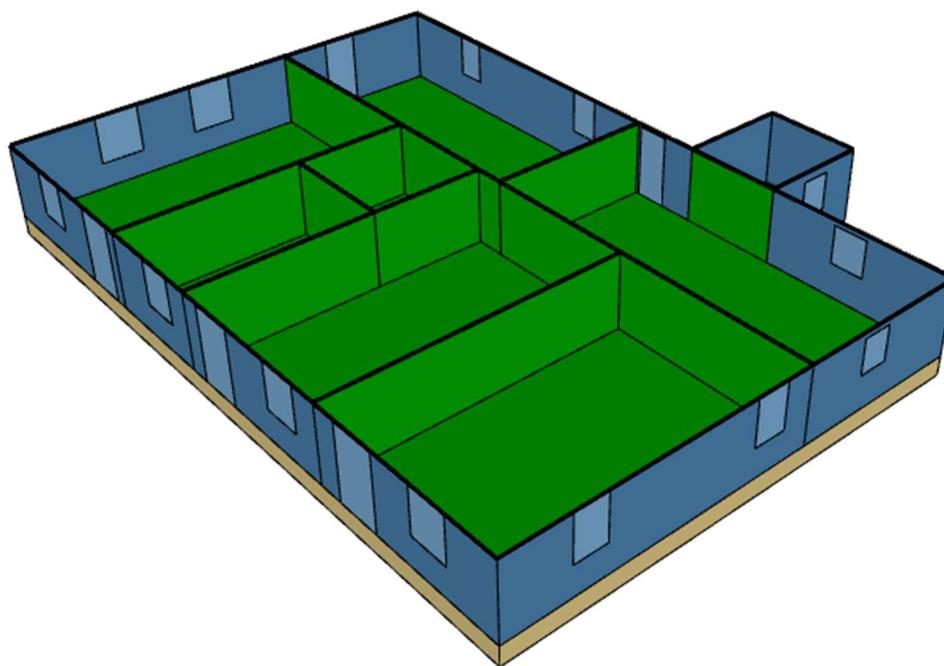
  

Estratégia 3							Isolamento Cobertura							Total			Média			
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média							
Autenticidade	6	7	1	0	1	0	15	62	3,65	3,84	3,85	72,94	76,86	1	80-100					
Imagem	11	3	0	0	1	0	15	68	4,00			80,00				70-80				
Reversibilidade	8	5	2	0	0	0	15	66	3,88	3,86	3,86	77,65	77,25	1	60-70					
Risco de Danos	6	5	3	0	1	0	15	60	3,53			70,59				50-60				
Funcionalidade	12	1	2	0	0	0	15	70	4,12	3,85	3,85	82,35	77,06	1	< 50					
Viabilidade	9	4	2	0	0	0	15	67	3,94			78,82				< 50				
												77,06								

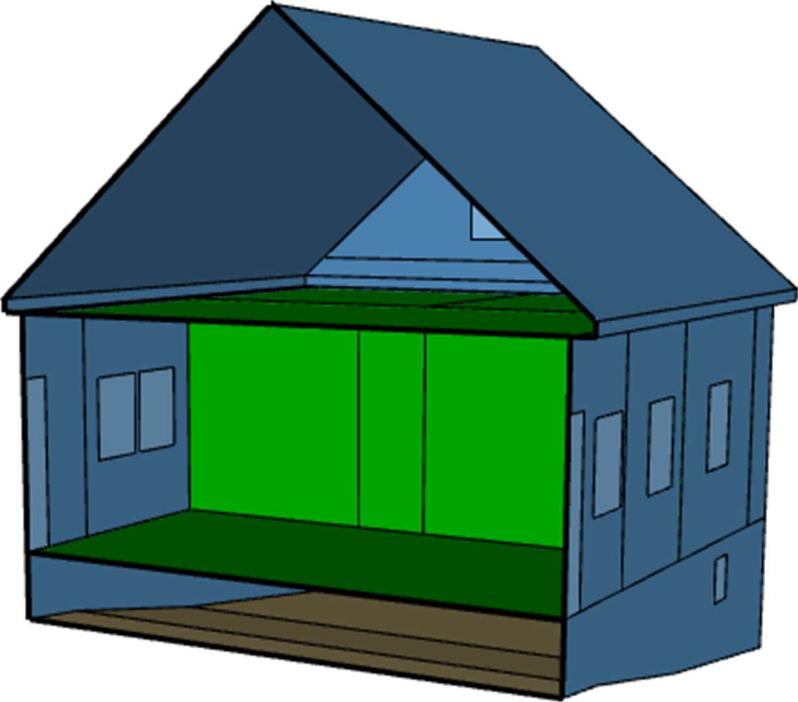
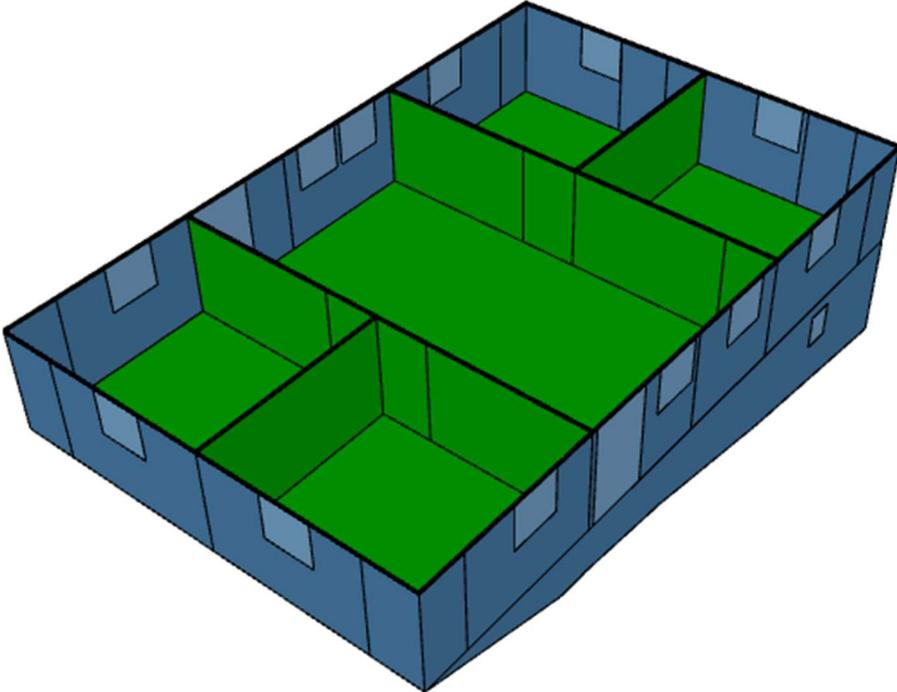
Estratégia 4 Isolamento Forro ou Laje							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	5	7	2	0	1	0	15	60	3,53			70,59	
Imagem	9	2	2	1	1	0	15	62	3,65	3,51		72,94	70,20
Reversibilidade	5	5	3	1	1	0	15	57	3,35		3,59	67,06	70-80
Risco de Danos	5	6	1	2	1	0	15	57	3,35			67,06	4
Funcionalidade	10	4	1	0	0	0	15	69	4,06	3,76		81,18	75,29
Viabilidade	8	5	2	0	0	0	15	66	3,88			77,65	60-70
									3,64			72,75	50-60
													< 50
Estratégia 5 Isolamento Externo Paredes Externas							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	0	0	3	5	7	0	15	26	1,53			30,59	
Imagem	0	1	2	6	6	0	15	28	1,65	1,65		32,94	32,94
Reversibilidade	0	0	5	5	5	0	15	30	1,76		1,89	35,29	70-80
Risco de Danos	2	1	3	4	4	1	15	35	2,06			41,18	10
Funcionalidade	2	5	6	0	2	0	15	50	2,94	2,37		58,82	47,45
Viabilidade	0	3	4	4	4	0	15	36	2,12			42,35	50-60
									2,01			40,20	< 50
Estratégia 6 Isolamento Paredes Externas Madeira							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	1	6	2	1	1	3	14	38	2,24			44,71	
Imagem	4	4	2	0	1	3	14	43	2,53	2,41		50,59	48,24
Reversibilidade	2	6	2	1	0	3	14	42	2,47		2,49	49,41	70-80
Risco de Danos	1	7	2	1	0	3	14	41	2,41			48,24	9
Funcionalidade	6	4	1	0	0	3	14	49	2,88	2,65		57,65	52,94
Viabilidade	6	1	3	1	0	3	14	45	2,65			52,94	50-60
									2,53			50,59	< 50
Estratégia 7 Isolamento Interno Paredes Externas							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	0	5	2	3	4	1	15	36	2,12			42,35	
Imagem	2	4	2	4	2	1	15	42	2,47	2,45		49,41	49,02
Reversibilidade	0	9	3	0	2	1	15	47	2,76		2,63	55,29	70-80
Risco de Danos	1	7	4	1	1	1	15	48	2,82			56,47	8
Funcionalidade	6	5	2	0	1	1	15	57	3,35	3,00		67,06	60,00
Viabilidade	2	7	2	1	2	1	15	48	2,82			56,47	< 50
									2,73			54,51	
Estratégia 8 Redução Infiltração							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	8	3	2	0	2	0	15	60	3,53			70,59	
Imagem	8	4	3	0	0	0	15	65	3,82	3,55		76,47	70,98
Reversibilidade	5	4	4	1	1	0	15	56	3,29		3,64	65,88	70-80
Risco de Danos	4	5	5	1	0	0	15	57	3,35			67,06	3
Funcionalidade	12	3	0	0	0	0	15	72	4,24	3,82		84,71	76,47
Viabilidade	8	5	2	0	0	0	15	66	3,88			77,65	< 50
									3,69			73,73	
Estratégia 9 Vidro Duplo							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	1	3	4	3	4	0	15	39	2,29			45,88	
Imagem	4	7	1	3	0	0	15	57	3,35	2,71		67,06	54,12
Reversibilidade	2	5	2	0	6	0	15	42	2,47		3,00	49,41	70-80
Risco de Danos	4	5	4	0	2	0	15	54	3,18			63,53	6
Funcionalidade	10	4	1	0	0	0	15	69	4,06	3,59		81,18	71,76
Viabilidade	6	4	4	1	0	0	15	60	3,53			70,59	< 50
									3,15			62,94	
Estratégia 10 Plano Adicional Vidro							Total			Média	Média		
	5	4	3	2	1	0	Resp	Total	Pontuação	Aspecto	Ponderada	%	Média
Autenticidade	5	4	4	1	1	0	15	56	3,29			65,88	
Imagem	3	5	5	2	0	0	15	54	3,18	3,43		63,53	68,63
Reversibilidade	7	6	2	0	0	0	15	65	3,82		3,46	76,47	70-80
Risco de Danos	2	7	5	1	0	0	15	55	3,24			64,71	60-70
Funcionalidade	8	4	3	0	0	0	15	65	3,82	3,53		76,47	70,59
Viabilidade	5	5	5	0	0	0	15	60	3,53			70,59	< 50
									3,48			69,61	

## APÊNDICE C – CONDIÇÕES DE CONTORNO

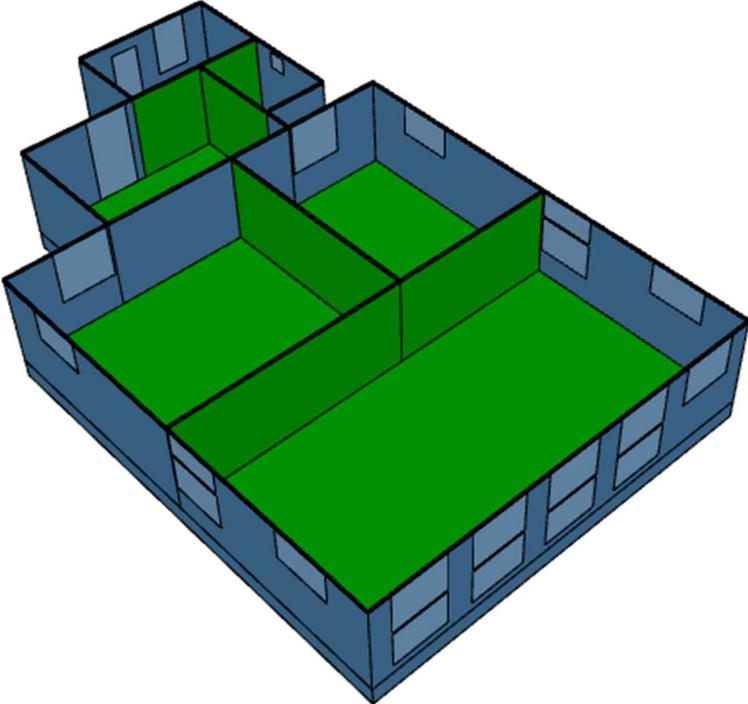
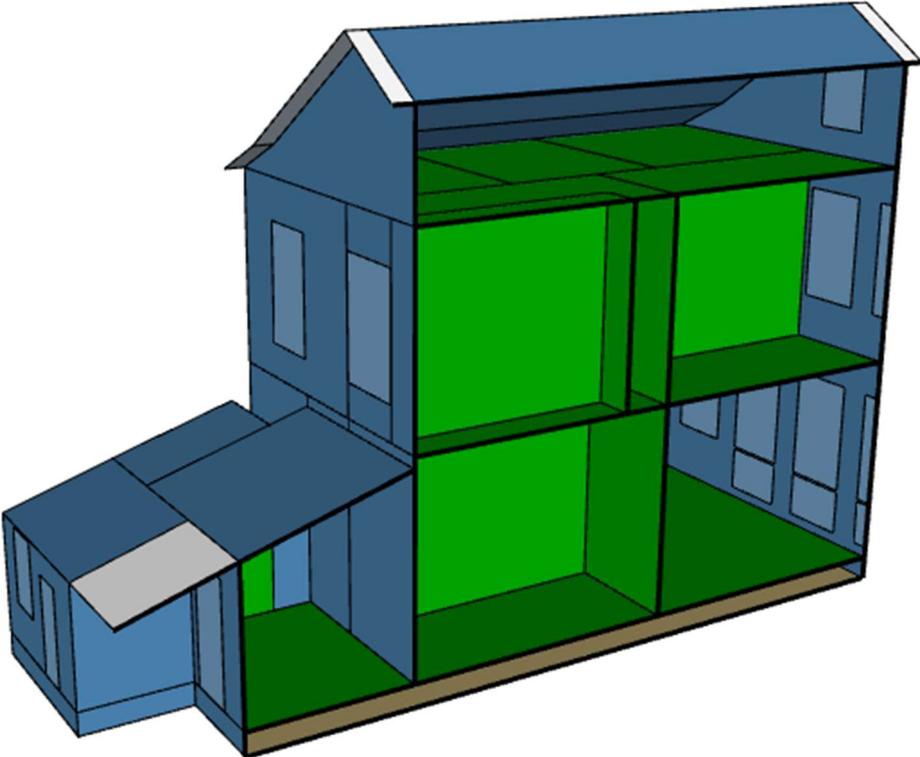
### Casa das Pestanas



Casa Withölder



Casa da Neni



Casa Frasca

