



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE PAINÉIS CLT NACIONAIS PARA
O CLIMA DE FOZ DO IGUAÇU-PR**

KARINE HILGENBERG MARTINS

Foz do Iguaçu
2022



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO
(ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL (PPG ECI)**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE PAINÉIS CLT NACIONAIS PARA
O CLIMA DE FOZ DO IGUAÇU-PR**

KARINE HILGENBERG MARTINS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Helenice Maria Sacht

Foz do Iguaçu
2022

KARINE HILGENBERG MARTINS

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE PAINÉIS CLT NACIONAIS PARA
O CLIMA DE FOZ DO IGUAÇU-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Helenice Maria Sacht

UNILA

Prof. Dr. Egon Vettorazzi

UNILA

Prof^a. Dr^a. Kelen Almeida Dornelles

IAU/USP

Foz do Iguaçu, 03 de junho de 2022.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

M386a

Martins, Karine Hilgenberg.

Análise do desempenho térmico e energético de painéis CLT nacionais para o clima de Foz do Iguaçu-PR /
Karine Hilgenberg Martins. - Foz do Iguaçu, 2022.

239 fls.: il.

Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Centro Acadêmico de Engenharia Civil de
Infraestrutura, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Helenice Maria Sacht.

1. Lâminas de madeira. 2. Materiais - Propriedades térmicas. 3. Edifícios - Propriedades térmicas. I. Sacht,
Helenice Maria. II. Título.

CDU 699.8

RESUMO

A construção civil é responsável por provocar consideráveis impactos ambientais, sociais e econômicos negativos. Por consequência, a busca por soluções que melhorem esse cenário, tanto do ponto de vista construtivo, quanto do ponto de vista do conforto dos usuários, é elemento essencial à sustentabilidade. O Brasil possui excelente potencial para produzir madeira legal em larga escala e, com relação a sustentabilidade, é um material que oferece inúmeras vantagens devido às suas propriedades físicas e mecânicas. Diante desses aspectos, foram avaliados o desempenho térmico e a eficiência energética de um sistema construtivo largamente empregado na Europa, porém, recente no Brasil, denominado *Cross Laminated Timber* (CLT). A análise desse sistema foi realizada por meio de simulação computacional de modelos representativos, com diferentes tipologias e configurações de painéis CLT, considerando as características climáticas da cidade de Foz do Iguaçu - PR e comparando os resultados com o desempenho térmico dos sistemas construtivos em alvenaria convencional e *wood frame*. O emprego desses painéis autoportantes em território nacional demanda estudos aprofundados quanto à suas características e seus desempenhos térmico, acústico e estrutural, além de sua adequação aos diferentes climas. Os resultados indicam que esse sistema construtivo pode ser favorável para climas quentes e úmidos, como o da cidade de Foz do Iguaçu - PR, especialmente quando aliado ao uso de vidros de alto desempenho térmico e à projetos de arquitetura bioclimática. Além disso, os resultados também apontam para o melhor desempenho térmico dos sistemas construtivos em madeira nos períodos de inverno.

Palavras-chave: *Cross Laminated Timber* (CLT). Painéis de madeira. Eficiência Energética. Desempenho Térmico. Vedações Verticais Externas.

ABSTRACT

Civil construction is responsible for causing considerable negative environmental, social and economic impacts. Consequently, the search for solutions that improve this scenario, both from a constructive point of view and from the point of view of user comfort, is an essential element for sustainability. Brazil has excellent potential to produce legal wood on a large scale and, in terms of sustainability, it is a material that offers numerous advantages due to its physical and mechanical properties. Given these aspects, the thermal performance and energy efficiency of a construction system widely used in Europe, however, recent in Brazil, called Cross Laminated Timber (CLT) were evaluated. The analysis of this system was performed by computer simulation of representative models, with different typologies and configurations of CLT panels, considering the climatic characteristics of the city of Foz do Iguaçu - PR and comparing the results with the thermal performance of construction systems in conventional masonry and wood frame. The use of these self-supporting panels in the national territory demands in-depth studies regarding their characteristics and thermal performance; acoustic and structural, in addition to its suitability for different climates. The results indicate that this construction system can be favorable for hot and humid climates, such as the city of Foz do Iguaçu - PR, especially when combined with the use of high thermal performance glass and bioclimatic architecture projects. In addition, the results also point to the best thermal performance of wood construction systems in winter periods.

Key words: Cross Laminated Timber (CLT). Wood panels. Energy Efficiency. Thermal Performance. Exterior Walls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Colagem e camadas do painel CLT	19
Figura 1.2. Residência Village Visconde De Itamaracá, Valinhos - SP	19
Figura 3.1. Sede do IPHAN em Curitiba - PR (2018).....	23
Figura 3.2. Varanda da Sede do IPHAN em Curitiba - PR (2018)	23
Figura 3.3. Edificações datadas entre 1930 e 1940, no sistema construtivo em tábuas e mata-juntas, com configuração sem ornamentações e sem pintura	24
Figura 3.4. Edificação no sistema construtivo em tábuas e mata-juntas.....	26
Figura 3.5. Edificação no sistema construtivo em toras.....	26
Figura 3.6. Edificação no sistema misto em madeira e alvenaria.....	27
Figura 3.7. Edificação no sistema de encaixe macho fêmea.....	27
Figura 3.8. Edificação no sistema construtivo em wood frame.....	28
Figura 3.9. Sistema misto com lajes e paredes em CLT e vigas e pilares em MLC.....	29
Figura 3.10. Sistema misto com lajes e paredes em CLT e vigas e pilares em MLC.....	30
Figura 3.11. Imagem 3D da obra em CLT e MLC - Foz do Iguaçu-PR.....	31
Figura 3.12. Imagem da execução da obra em CLT - Foz do Iguaçu-PR	32
Figura 3.13. Sistema misto em MLC e CLT (piso inferior)	32
Figura 3.14. Sistema misto em MLC e CLT (piso superior)	32
Figura 3.15. Painel CLT içado pelo guindaste.....	33
Figura 3.16. Montagem do painel CLT na obra.....	33
Figura 3.17. Etiqueta de identificação do painel para laje em CLT.....	34
Figura 3.18. Etiqueta de identificação do painel para vedação vertical em CLT	34
Figura 3.19. Esquema de montagem dos painéis CLT	34
Figura 3.20. Painéis CLT com 3 lamelas.....	35
Figura 3.21. Emenda estilo “finger-joints”	35
Figura 3.22. Escoras sustentando a laje de cobertura do subsolo	36
Figura 3.23. Conexão entre painel vertical e radier	36
Figura 3.24. Conexão entre Painéis verticais e laje de piso em CLT	36
Figura 3.25. União entre painéis verticais e laje com fita para isolamento acústico	37
Figura 3.26. Painéis CLT instalados sobre vigas de baldrame	38

Figura 3.27. Painéis CLT instalados sobre chapa de aço.....	38
Figura 3.28.Fachada principal com membrana impermeável (pintura amarela)	38
Figura 3.29. Laje em CLT impermeabilizada.....	39
Figura 3.30. Tubulação de água quente e fria do banheiro	40
Figura 3.31. Tubulação de esgoto que será embutida em shaft e forro de drywall	40
Figura 3.32. Tubulação e fiação embutida no forro de drywall	40
Figura 3.33. Banheiro revestido com placas de drywall resistente à umidade e revestimento cerâmico	40
Figura 3.34. Revestimento em drywall áreas, úmidas (verde), secas (cinza) e quentes (churrasqueira) (rosa).....	41
Figura 3.35. Parede com barrotes, eletroduto corrugados e drywall	42
Figura 3.36. Parede com barrotes em uma das faces para passagem de eletroduto corrugado	42
Figura 3.37. Parede interna sem barrotes e com drywall em ambas as faces.....	43
Figura 3.38. Parede interna sem barrotes e com drywall em uma face e drywall e revestimento cerâmico na outra face.....	43
Figura 3.39. Etapa de acabamentos cozinha.....	44
Figura 3.40. Etapa de acabamentos banheiro	44
Figura 3.41. Aplicação de EPS e argamassa paredes externas.....	44
Figura 3.42. Detalhe fachada principal com EPS e tela de fibra de vidro.....	45
Figura 3.43. Fachada principal com argamassa e elementos decorativos.....	45
Figura 3.44. Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Foz do Iguaçu - PR.....	52
Figura 3.45. Normais climatológicas (1961 – 1990) – Foz do Iguaçu - PR	53
Figura 3.46. Variação de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar	53
Figura 3.47. Carta psicrométrica para Foz do Iguaçu - PR	54
Figura 3.48. Efeitos da aplicação de “materiais frios”	63
Figura 3.49. Tipos de vidro e composições com vidros	65
Figura 4.1. Etapas da pesquisa.....	71
Figura 4.2. Detalhamento sistema aderido EIFS	72
Figura 4.3. Detalhamento sistema aderido com placa cimentícia	72
Figura 4.4. Detalhamento paredes internas sistema não aderido áreas úmidas	73
Figura 4.5. Detalhamento paredes internas sistema não aderido áreas secas.....	73

Figura 4.6. Configuração para simulação de paredes externas sistema EIFS.....	76
Figura 4.7. Configuração para simulação de paredes externas sistema EIFS.....	76
Figura 4.8. Configuração para simulação de paredes externas com placas cimentícias.....	77
Figura 4.9. Configuração para simulação de paredes externas com placas cimentícias.....	77
Figura 4.10. Configuração para simulação de paredes internas.....	78
Figura 4.11. Configuração para simulação de paredes internas.....	78
Figura 4.12. Configuração para simulação de paredes em alvenaria convencional.....	79
Figura 4.13. Dimensões do bloco cerâmico e da argamassa de assentamento (cm).....	79
Figura 4.14. Detalhamento cobertura CLT.....	81
Figura 4.15. Detalhamento cobertura wood frame.....	82
Figura 4.16. Detalhamento cobertura alvenaria convencional.....	82
Figura 4.17. Planta das casas geminadas à serem construídas em Foz do Iguaçu.....	85
Figura 4.18. Perspectiva da fachada principal.....	85
Figura 4.19. Implantação do conjunto habitacional no bairro Lagoa Dourada em Foz do Iguaçu.....	86
Figura 4.20. Mosaico de fachadas de anúncios de casas térreas à venda em Foz do Iguaçu - PR....	89
Figura 4.21. Planta modelo habitacional de UH unifamiliar em condomínio.....	90
Figura 4.22. Perspectiva fachada leste.....	90
Figura 4.23. Perspectiva fachadas oeste e sul.....	90
Figura 4.24. Planta do modelo de UH multifamiliar geminada.....	99
Figura 4.25. Fachadas leste (principal) e norte.....	99
Figura 4.26. Fachadas oeste (posterior) e sul.....	99
Figura 4.27. Planta do modelo de UH unifamiliar em condomínio.....	101
Figura 4.28. Fachadas leste (principal) e norte.....	102
Figura 4.29. Fachadas oeste (posterior) e sul.....	102
Figura 5.1. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo em CLT.....	116
Figura 5.2. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT.....	117
Figura 5.3. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT.....	118
Figura 5.4. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com o	

sistema construtivo CLT	119
Figura 5.5. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional	120
Figura 5.6. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional.....	121
Figura 5.7. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional	122
Figura 5.8. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional	123
Figura 5.9. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional	125
Figura 5.10. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional	126
Figura 5.11. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional.....	126
Figura 5.12. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional	127
Figura 5.13. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo em CLT	129
Figura 5.14. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT	130
Figura 5.15. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT.....	131
Figura 5.16. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT	133
Figura 5.17. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional	134
Figura 5.18. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional.....	134
Figura 5.19. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional	136
Figura 5.20. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional	136
Figura 5.21. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional	139

Figura 5.22. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional	139
Figura 5.23. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional.....	140
Figura 5.24. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional	140
Figura 5.25. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	144
Figura 5.26. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde....	145
Figura 5.27. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	147
Figura 5.28. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	147
Figura 5.29. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	149
Figura 5.30. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde....	150
Figura 5.31. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	151
Figura 5.32. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	152

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Estratégias indicadas para Foz do Iguaçu por ordem de importância.....	55
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Taxas metabólicas em diferentes atividades	57
Tabela 4.1. Sistemas de vedações verticais externos e seus respectivos sistemas de vedações verticais internos.....	74
Tabela 4.2. Espessura e propriedades térmicas dos materiais que compõem as vedações verticais .	75
Tabela 4.3. Espessura e propriedades térmicas dos materiais que compõe as coberturas.....	83
Tabela 4.4. Análise dos dados dos anúncios de imóveis	86
Tabela 4.5. Média das áreas e do número de quartos, suítes, banheiros e lavabos das UHs.....	87
Tabela 4.6. Média e desvio padrão dos anúncios antes e depois do teste de Grubbs.....	87
Tabela 4.7. Análise dos dados dos anúncios de casas térreas	88
Tabela 4.8. Média das áreas totais das UHs térreas	88
Tabela 4.9. Propriedades térmicas de paredes, pisos e coberturas para o modelo de referência.....	94
Tabela 4.10. Critérios para classificação de desempenho térmico de uma UH multifamiliar (Térrea) conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	96
Tabela 4.11. Critérios para classificação de desempenho térmico de uma UH unifamiliar conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	97
Tabela 4.12. Etapas para procedimento de simulação computacional - NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)	97
Tabela 4.13. Tipos de aberturas da UH multifamiliar geminada	100
Tabela 4.14. Tipos de aberturas da UH unifamiliar em condomínio	103
Tabela 4.15. Taxa metabólica e fração radiante para os usuários	105
Tabela 4.16. Padrões de ocupação diários dos APP	105
Tabela 4.17. Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação artificial	105
Tabela 4.18. Padrão de uso do sistema de iluminação artificial dos APP	106
Tabela 4.19. Período de uso, densidade de cargas interna e fração radiante para equipamentos dos APP	106
Tabela 4.20. Parâmetros da ventilação natural para portas e janelas nos APP e APT	106
Tabela 4.21. Características dos vidros utilizados nas simulações	107
Tabela 5.1. Propriedades térmicas dos sistemas de vedações verticais externas e internas	109
Tabela 5.2. Propriedades térmicas dos sistemas de coberturas	110
Tabela 5.3. Sistemas de vedações verticais externos e seus respectivos sistemas de vedações verticais	

internos e coberturas.....	114
Tabela 5.4. Limites estabelecidos pela NBR 15575-1, para determinar o nível de desempenho térmico da UH multifamiliar com base nos resultados da simulação do modelo de referência	115
Tabela 5.5. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)	116
Tabela 5.6. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	118
Tabela 5.7. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)	121
Tabela 5.8. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	123
Tabela 5.9. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	124
Tabela 5.10. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021 ^a).....	125
Tabela 5.11. Limites estabelecidos pela NBR 15575-1, para determinar o nível de desempenho térmico da UH unifamiliar com base nos resultados da simulação do modelo de referência	128
Tabela 5.12. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)	130
Tabela 5.13. Resultados das simulações sem ventilação natural UH unifamiliar em condomínio com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	132
Tabela 5.14. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	135
Tabela 5.15. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	135
Tabela 5.16. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com	

os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	137
Tabela 5.17. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).....	138
Tabela 5.18. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde 8 mm.....	143
Tabela 5.19. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde 8 mm.....	146
Tabela 5.20. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	148
Tabela 5.21. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde.....	151

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	17
2.	OBJETIVOS.....	21
2.1.	OBJETIVO GERAL	21
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1.	SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA NO BRASIL	22
3.2.	SISTEMA CONSTRUTIVO EM CLT	30
3.3.	PROPRIEDADES FÍSICAS E COMPORTAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA	46
3.4.	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU	50
3.5.	CONFORTO TÉRMICO, DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	56
3.6.	PROGRAMAS PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	66
3.7.	CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO	68
4.	METODOLOGIA.....	71
4.1.	CARACERÍSTICAS E TIPOLOGIAS DE PAINÉIS CLT PRODUZIDOS NO BRASIL	71
4.2.	MODELOS HABITACIONAIS PARA SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO	84
4.3.	PARÂMETROS PARA ANÁLISE SIMPLIFICADA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO TÉRMICO ESTABELECIDOS PELA NBR 15575 (ABNT, 2021)	91
4.4.	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO TÉRMICO DOS MODELOS HABITACIONAIS.....	98
4.4.1.	Modelo habitacional “UH multifamiliar geminada”	98
4.4.2.	Modelo habitacional “UH unifamiliar em condomínio”	101
4.4.3.	Configurações para simulação computacional dos modelos	104
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	108
5.1.	RESULTADOS DOS CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS.....	108
5.2.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS HABITACIONAIS	111
5.2.1.	Resultados das simulações do modelo “UH multifamiliar geminada”	114
5.2.2.	Resultados das simulações do modelo “UH unifamiliar em Condomínio”	127
5.3.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS HABITACIONAIS COM A SUBSTITUIÇÃO DOS VIDROS.....	141
5.3.1.	Resultados das simulações do modelo UH multifamiliar geminada com o vidro verde.142	
5.3.2.	Resultados das simulações do modelo “UH unifamiliar em condomínio” com o vidro verde duplo.....	148
6.	CONSIDERAÇÕES	153
6.1.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	153
6.2.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	160

REFERÊNCIAS	162
Apêndices	171

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Reconhecidamente, a construção civil é um dos setores industriais que mais provocam impactos ambientais negativos, seja pela exploração de grandes quantidades de matéria-prima não renovável, seja pela geração de resíduos (perdas no canteiro de obras e na própria produção dos materiais), ou ainda, pela produção de gases geradores do efeito estufa. Dados divulgados no *International Resource Panel*, e analisados pelos pesquisadores Lutter et al. (2018), apontam que houve um aumento de 240% na extração de matérias-primas entre os anos de 1970 a 2017. Somente no ano de 2017 foram extraídos 92 bilhões de toneladas, e 42,2% desses materiais foram destinados à indústria da construção civil (WIT et al; 2020).

Além do impacto dos processos e materiais empregados na construção, observa-se que a maioria das obras no Brasil desperdiça considerável parcela de energia, devido a não incorporação de equipamentos e tecnologias construtivas voltadas para eficiência energética. De acordo com dados divulgados pelo Balanço Energético Nacional (BEN) 2021, ano base 2020, as edificações no Brasil são responsáveis por 51,2% do consumo total de energia elétrica do país, considerando-se os setores residencial (27,6%), comercial (15,7%) e público (7,9%) (Brasil, 2021).

O consumo energético das edificações se torna fator ainda mais preponderante em localidades nas quais o clima não proporciona conforto de maneira natural. Essa situação é evidente na cidade de Foz do Iguaçu-PR, onde, de acordo com a série histórica do período de 1970 a 2015, disponível no site do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR-EMATER (2019), a média das temperaturas máximas anuais registradas foi de 28,1°C – 29°C e a média das temperaturas mínimas anuais registradas foi de 18,1°C – 19°C, o que evidencia a grande amplitude térmica da cidade (NITSCHKE et al; 2019). Assim sendo, o estudo de materiais que proporcionem maior conforto térmico aos usuários das edificações de maneira passiva se faz necessário, para contribuir com a diminuição da demanda por energia elétrica.

Um material que tem destaque na construção civil, tanto na Europa quanto na América do Norte, é a madeira. De acordo com Araújo et al. (2016) países como Estados Unidos, Canadá, Alemanha, Austrália, Escandinávia, e Reino Unido tem investido em estruturas em madeira

pela agilidade na construção, eficiência na produção e menores impactos ambientais. Dados da Indústria Brasileira de Árvores (2020) destacam que, em 2019 as florestas plantadas (de reflorestamento, próprias para utilização comercial) ocupavam 9 milhões de hectares, sendo esse número equivalente a 1,06 % do território nacional. Essa floresta, além de abastecer quase todo o mercado nacional de madeira e celulose, tem potencial de estoque de 4,8 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂-eq.) e ainda, contribui para a conservação da biodiversidade, preservação do solo, regulação dos recursos hídricos, recuperação de áreas degradadas e geração de energia renovável.

Apesar do expressivo potencial florestal do Brasil, o país enfrenta desafios quanto ao uso da madeira na construção civil. Para Fogaça e Pedrozo (2018), as características históricas de colonização exploratória, a utilização de métodos construtivos de alvenaria portuguesa (pedra e tijolo), a mão de obra escrava (desqualificada) e a associação do uso da madeira a construções de baixa renda contribuíram para o detrimento do uso desse material como principal elemento construtivo. Leite, Santos e Valle (2017) acrescentam que o ensino da arquitetura e da engenharia tem privilegiado o estudo de materiais construtivos que produzem grande impacto ambiental, desvalorizando todo o potencial construtivo e sustentável que a madeira oferece. Tal desinteresse pelo estudo da madeira como elemento construtivo, culmina no uso de técnicas inadequadas que promovem a associação do produto à baixa qualidade das edificações. Além disso, a produção de madeira serrada oferece produtos com alto custo e baixo controle de qualidade no que diz respeito a aspectos relacionados à secagem, densidade e defeitos.

Para Mello, (2007), no entanto, os benefícios do emprego da madeira como componente principal são: o baixo custo do transporte e montagem em comparação com elementos pré-moldados em concreto; a melhor trabalhabilidade da madeira, exigindo ferramentas mais simples e a possibilidade de confecção de peças de diversas formas e seções. Além disso, de acordo com Punhagui (2014) a madeira provinda de áreas de florestas plantadas pode ser considerada como carbono neutro, pois além de absorver carbono durante seu crescimento a floresta é constituída por uma única espécie exótica que não favorece o surgimento de biomassa ao redor da árvore, culminando na redução da emissão de CO₂ na fase de extração.

Um tipo de material construtivo obtido a partir da madeira maciça é o *Cross Laminated Timber* (CLT), ou Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC) em português. Os painéis CLT, são compostos por lâminas de madeira maciça coladas no sentido perpendicular entre si, formando sempre um número ímpar de camadas (3, 5 ou 7). De acordo com Oliveira (2018), tais painéis podem ser utilizados como lajes de piso ou cobertura e para vedações internas ou externas, com ou sem função estrutural. O início de sua utilização em escala ocorreu na Europa, na década de 1990. No Brasil, os primeiros painéis CLT começaram a ser produzidos a partir de 2012 e, desde então, foram construídas mais de 30 edificações, sendo a maioria de residências unifamiliares. A Figura 1.1 apresenta as camadas e colagem do painel CLT e a Figura 1.2 uma residência que faz uso desse sistema construtivo.

Figura 1.1. Colagem e camadas do painel CLT



Fonte: Oliveira (2018).

Figura 1.2. Residência Village Visconde De Itamaracá, Valinhos - SP



Fonte: Home Projetos e Obras (2018).

Com relação ao desempenho térmico desse sistema construtivo, Nunes et al. (2020) concluíram que, no geral, ao comparar os resultados obtidos dos sistemas em CLT com um sistema em alvenaria convencional, nas condições climáticas de três cidades brasileiras: Curitiba – PR (ZB1), São Paulo – SP (ZB3) e Belém – PA (ZB8), os painéis CLT, apresentam os melhores resultados de desempenho térmico. Contudo, analisando os resultados apresentados na pesquisa, ficou evidente que o comportamento térmico desses sistemas é mais favorável a climas com temperaturas amenas ou mais frias, do que em climas mais quentes como o da cidade de Belém.

Embora o emprego do sistema construtivo em painéis CLT esteja consolidado na Europa, a produção dos painéis no Brasil tem especificidades que culminam na diferenciação do produto final em relação ao europeu. Uma dessas especificidades diz respeito à necessidade de tratamento da matéria-prima contra biodegradação, tendo em vista o clima predominantemente tropical brasileiro. Conforme Oliveira e Oliveira (2017) descrevem, a matéria-prima utilizada no Brasil para a fabricação dos painéis CLT é o Pinus da espécie *Pinus taeda*, proveniente de áreas de reflorestamento localizadas na região sul do país. Tal material exige processo de secagem em estufa, adquirindo umidade de aproximadamente 12%; em seguida, ou são tratadas em autoclave por meio da impregnação do preservante CCB (Borato de Cobre Cromado), ou são aplicados inseticidas como o Cipermetrina. Dessa forma, a madeira chega pronta e tratada para a confecção dos painéis.

Tendo em vista essas características peculiares dadas ao material produzido no Brasil, a utilização dos painéis CLT pode ser considerada ainda incipiente em território nacional. Oliveira (2018) destaca ainda que a sua utilização demanda estudos a respeito de seu desempenho no panorama brasileiro e durante todo o período de vida útil das edificações. Também aponta que grande parte das pesquisas desenvolvidas em escala global foram “elaboradas com base em métodos de produção e matéria-prima adotados especialmente em países europeus” e que as diferenças de espécies vegetais, do clima, dos meios de transporte, da legislação e da mão de obra influenciam diretamente no processo de fabricação do CLT.

Logo, observa-se que ainda existe um gigantesco potencial produtivo a ser explorado no que diz respeito à oferta de madeira no mercado nacional. Pesquisar produtos derivados da madeira, com vistas a ampliar a base de conhecimento em novos métodos de industrialização e utilização, é um incentivo de forma que construtores e projetistas favoreçam, por sua vez, a demanda por essa matéria-prima, culminando na associação entre os aspectos ambientais e econômicos da sustentabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho térmico e a eficiência energética obtidos com a aplicação do sistema construtivo em painéis CLT produzidos no Brasil, em comparação com os sistemas construtivos em alvenaria convencional e *wood frame*, considerando as características climáticas da cidade de Foz do Iguaçu-PR e em tipologias residenciais.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Elaborar um histórico do uso da madeira como sistema construtivo no Brasil;
- b) Analisar características específicas, o funcionamento e a aplicação dos painéis CLT como lajes (pisos e forros) e paredes autoportantes;
- c) Estudar o fenômeno de transferência de calor com o uso do sistema de painéis CLT e suas particularidades, tanto para o elemento isolado, quanto para sua aplicação;
- d) Analisar por meio de simulação computacional, o desempenho térmico e a eficiência energética, devido a aplicação dos três sistemas construtivos e compará-los.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA NO BRASIL

O uso da madeira na construção civil variou de acordo com cada civilização, influenciado pelos diferentes tipos de clima, terreno e cultura dos povos (MEIRELLES et al; 2007). Os primeiros sistemas construtivos em madeira eram associados a outros materiais como terra, palha e pedra, para compor os sistemas de vedações das paredes e coberturas (ESPÍNDOLA, 2017). No Brasil, a abundante cobertura florestal impulsionou diversas etnias indígenas a utilizar a madeira como principal material de construção (SHIGUE, 2018).

No final do século XIX, os imigrantes centro-europeus e asiáticos, oriundos principalmente de países como Alemanha, Itália, Polônia, Ucrânia e Japão, trouxeram novas tecnologias construtivas em madeira, consolidando o uso desse material na arquitetura popular brasileira (ESPÍNDOLA, 2017). Para Punhagui (2014), o uso da madeira na construção das moradias dos imigrantes foi impulsionado pela rapidez da execução e pelo fácil acesso à madeira das florestas nacionais. As principais espécies utilizadas na construção civil eram o pinho-do-paraná (*Araucaria angustifolia*) e a peroba-rosa (*Aspidosperma polyneuron*), extraídos das florestas nativas das Regiões Sul e Sudeste do país (IPT, 2009).

Calil Junior (2014) destaca que os imigrantes que vieram para o Brasil eram indivíduos altamente qualificados para o trabalho de carpintaria. A qualidade das edificações e seu caráter permanente são evidenciados pelo requinte de detalhes e elementos decorativos. Além de construir suas casas, os imigrantes usaram a madeira para construção de edifícios para religião, trabalho e lazer. Essas obras eram edificadas com um sistema de vedação constituído de tábuas de aproximadamente 22 cm de largura recobertas com mata-juntas de aproximadamente 5 cm de largura (ZANI, 2013).

Um exemplo desse sistema construtivo é a sede do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) em Curitiba, conforme apresentado nas Figuras 3.1 e 3.2. Sua edificação data de 1918, com localização no bairro Portão. Na década de 1980, estava

abandonada e corria risco de ser demolida. Então a Fundação Nacional Pró-Memória adquiriu a residência; a trasladou para o bairro Juvevê e a restaurou. Esse processo teve início no ano de 1984 e foi concluído em 1986, quando se tornou a 10ª Superintendência Regional do IPHAN. Em 2018, passou por novo processo de restauro (ARQUIVO ARQUITETURA, 2022).

Figura 3.1. Sede do IPHAN em Curitiba - PR (2018)



Figura 3.2. Varanda da Sede do IPHAN em Curitiba - PR (2018)



Fonte: Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), 2018.

A exploração desenfreada das florestas brasileiras, especialmente nas Regiões Sul e Sudeste provocou o esgotamento das espécies nativas, culminando na substituição da madeira nativa por espécies exóticas, em especial o *Eucalyptus* spp, original da Oceania, e o *Pinus* spp, original da América do Norte (SILVA, 2010). Isso também provocou o aumento do custo da madeira nativa, que passou a vir de regiões cada vez mais distantes, dando início, em meados da década de 1970, à decadência da arquitetura em madeira no Brasil (SHIGUE, 2018).

Por outro lado, com o baixo custo da madeira plantada (*Pinus* e *Eucalyptus*) houve uma apropriação dos sistemas construtivos em madeira pela população de baixa renda. Como o principal objetivo era suprir a necessidade por habitação, não haviam preocupações com conforto, durabilidade e nem estética das casas. Isso levou a associação das construções em madeira à população de baixa renda (PUNHAGUI, 2014). A riqueza espacial e a estética das edificações foi

cedendo lugar a volumetrias mais simplificadas e a diminuição dos elementos decorativos (CLARO, 1991 e SHIGUE, 2018), conforme ilustra a Figura 3.3. Além disso, passaram a utilizar materiais, como telhas de fibrocimento e esquadrias metálicas, o que provocou a descaracterização da arquitetura produzida pelos imigrantes (SHIGUE, 2018).

Figura 3.3. Edificações datadas entre 1930 e 1940, no sistema construtivo em tábuas e mata-juntas, com configuração sem ornamentações e sem pintura



Fonte: Zani, 2013.

A associação do uso da madeira na construção civil com o desmatamento, com moradias para população de baixa renda e com a falta de qualidade, durabilidade e estética das edificações fortaleceu o preconceito que a população nutria com esses sistemas desde o período colonial. A forte tradição do uso da alvenaria de blocos e a valorização do uso do concreto pelo movimento Modernista, contribuíram para que escolas de arquitetura e engenharia priorizassem o ensino desses materiais, relegando o uso da madeira, a qual passa a ser utilizada apenas para fins de acabamentos, mobiliário, esquadrias e estrutura para coberturas (ESPÍNDOLA, 2017; MEIRELLES et al., 2007; MELLO, 2007 e SHIGUE, 2018).

Calil Junior (2014) acrescenta que o tempo dedicado ao ensino de tecnologias construtivas em madeira, nos cursos de engenharia civil do país, é cerca de 90% menor que o tempo dedicado aos sistemas em aço e concreto armado. Para Passarelli (2014) a falta de conhecimento provoca o uso inadequado da madeira e ajuda a fortalecer os preconceitos existentes no país. Além disso, as normas técnicas brasileiras não favorecem o uso da madeira na construção civil, o que desmotiva a cadeia produtiva da madeira plantada para abastecimento do mercado interno e os agentes financiadores de sistemas compostos por madeira (LIMA, 2017).

Como resultado, construir em alvenaria ou concreto tornou-se popularmente associado a edificações mais seguras e eficientes, passando a possuir status de superioridade, que

deu origem ao termo “casa de material” (ESPÍNDOLA, 2017). De acordo com Punhagui (2014), isso ficou evidente em edificações que foram construídas ou reformadas com a fachada principal em alvenaria e o restante da casa em madeira. Para a autora, a intenção era agregar valor ao imóvel quando a madeira não podia ser completamente substituída pela alvenaria.

Contudo, Araujo et al. (2016) acreditam que os impactos ambientais produzidos pelo uso de recursos naturais não renováveis no setor da construção civil, irão impulsionar o ser humano a buscar outras alternativas além da alvenaria convencional e do aço para os campos da arquitetura e da engenharia civil. Os autores acrescentam que o uso de cimento e pedras deve ser restrito à grandes estruturas como arranha-céus, pontes, represas e sistemas viários, enquanto que as habitações e edificações comerciais e de serviços devem utilizar a madeira para compor seus sistemas de vedações externas.

Para Fogaça e Pedroso (2018), os benefícios do emprego de sistemas construtivos em madeira são o aumento do índice de produtividade, a padronização do material, a facilidade do manejo, o menor desperdício de materiais, a redução do peso próprio das estruturas e fundações, a qualidade e uniformização do material de construção final, a facilidade no processo de construção e a qualidade na estética das edificações. Além do mais, Costa Filho (2017) e Lima (2017) acrescentam que a madeira é um material renovável, que demanda pouca energia para seu beneficiamento e contribui com a redução das emissões de CO₂, causando menos impactos ambientais, quando extraída de maneira legal.

Atualmente, os sistemas construtivos em madeira produzidos no Brasil são: o de tábuas e mata-juntas (Figura 3.4); toras (Figura 3.5), estruturas mistas em madeira e alvenaria (Figura 3.6); de encaixe macho-fêmea (Figura 3.7), *wood frame* (Figura 3.8), estruturas em madeira laminada colada (MLC) e o *Cross Laminated Timber* (CLT) (ARAUJO et al., 2019 e ROVARIS, 2019). As técnicas construtivas se ramificaram em duas vertentes, uma ainda voltada à população de baixa renda e que se caracteriza pela autoconstrução (favelas e palafitas) (ROVARIS, 2019) e outra que faz uso de tecnologias de pré-fabricação, com alto desempenho estrutural e estético, e que servem para atender à demanda por moradias de veraneio ou casas de campo para as populações de média e alta renda (ARAUJO et al., 2019 e ESPÍNDOLA, 2017).

Figura 3.4. Edificação no sistema construtivo em tábuas e mata-juntas



Fonte: João da madeira, 2018.

Figura 3.5. Edificação no sistema construtivo em toras



Fonte: Construtora Casa Rápida, 2020.

Figura 3.6. Edificação no sistema misto em madeira e alvenaria



Fonte: Faz Casa, 2022.

Figura 3.7. Edificação no sistema de encaixe macho fêmea



Fonte: Faz Casa, 2022.

Figura 3.8. Edificação no sistema construtivo em *wood frame*



Fonte: Reforma Casa de Madeira, 2019.

Em 2020 foi construído o primeiro edifício com sistema misto em CLT e MLC no Brasil, conforme ilustram as Figuras 3.9 e 3.10. Com 1500 m² e quatro pavimentos, a edificação foi projetada pelo escritório de arquitetura Matheus Farah e Manoel Maia, para abrigar a fábrica de chocolates Dengo em São Paulo (AMATABRASIL, 2021). Apesar do sistema em painéis CLT ser autoportante, é comum associá-lo a outros sistemas estruturais, como MLC, aço e até mesmo concreto.

De acordo com Dias (2020), existem cinco formas de se utilizar o CLT: como estrutura pura, seguindo a lógica do sistema construtivo em concreto (paredes e lajes estruturais); com o MLC como estrutura principal e o CLT nas lajes e paredes como estrutura adicional de contraventamento e para vedação; com estrutura híbrida de pilares e vigas em aço e paredes e lajes em CLT para contraventamento e vedação; com lajes mistas em CLT e concreto pré-moldado ou não e com estruturas híbridas utilizando concreto, aço, MLC e CLT.

No tópico 3.2 será apresentado de maneira detalhada o processo construtivo com painéis CLT.

Figura 3.9. Sistema misto com lajes e paredes em CLT e vigas e pilares em MLC



Fonte: Pedro Kok in A Mata Brasil, 2021.

Figura 3.10. Sistema misto com lajes e paredes em CLT e vigas e pilares em MLC



Fonte: Pedro Kok in A Mata Brasil, 2021.

3.2. SISTEMA CONSTRUTIVO EM CLT

O sistema construtivo em *Cross Laminated Timber* (CLT), ou Madeira Laminada Colada Cruzada (MLCC) em português, surgiu na Europa, na década de 1990, apresentando uma grande similaridade com o sistema estrutural conhecido como *Glued Laminated Timber* (Glulam), ou Madeira Laminada Colada (MLC) em português. As duas tecnologias são compostas por lamelas (camadas) de madeira coladas entre si. As diferenças são que o Glulam é produzido para formar peças lineares ou curvas para serem utilizadas como pilares ou vigas e suas lamelas são coladas no mesmo sentido, enquanto que o CLT é produzido em formato de painéis autoportantes para vedações verticais ou lajes e suas lamelas são coladas no sentido perpendicular entre si (CHACON, 2020).

A tecnologia de painéis CLT, também conhecida como “X-LAM” ou do original em alemão “*Brettsper Holz*” (BSP) foi desenvolvida em colaboração entre Alemanha, Áustria e Suíça. Atualmente, é empregada em vários países da Europa, como Itália, Reino Unido e em seus países de origem. Além da Europa, os painéis têm recebido destaque em países como, Canadá, Estados Unidos e Japão (CROSSLAM, 2020; OLIVEIRA, 2018; SHIGUE, 2018).

No Brasil, a primeira fábrica de painéis CLT foi instalada no Estado de São Paulo e iniciou suas atividades no ano de 2012. De acordo com Oliveira (2018), a maioria dos projetos executados no Brasil são de residências unifamiliares e estão concentrados no Estado de São Paulo. Destaca-se que, na região de Foz do Iguaçu – PR, existe uma empresa, que importa os painéis da Áustria e está finalizando a construção de sua fábrica própria.

Em 2018 foi edificada a primeira obra em CLT na cidade de Foz do Iguaçu-PR. Trata-se de uma residência unifamiliar de aproximadamente 585 m², construída em um condomínio de alto padrão. A segunda obra, também residencial e localizada em condomínio de alto padrão, está em processo de execução e contará com uma área de 750 m². Em visita técnica à obra, foi possível levantar informações e imagens das etapas de construção desse sistema ainda incipiente no Brasil. As Figuras 3.11 e 3.12 apresentam a residência em construção, na cidade de Foz do Iguaçu-PR.

Figura 3.11. Imagem 3D da obra em CLT e MLC - Foz do Iguaçu-PR



Fonte: Liogi, 2021.

Figura 3.12. Imagem da execução da obra em CLT - Foz do Iguaçu-PR



Fonte: A autora, 2021.

A obra está sendo executada com um sistema misto de vigas em MLC e paredes e lajes em CLT, conforme apresentado nas Figuras 3.13 e 3.14. No momento da visita técnica, a obra havia iniciado há aproximadamente um mês e a previsão de entrega final era de 10 meses (PISOSSUL, 2020).

Figura 3.13. Sistema misto em MLC e CLT (piso inferior)



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.14. Sistema misto em MLC e CLT (piso superior)



Fonte: A autora, 2021.

A agilidade da execução das obras em CLT é atribuída ao processo de construção pré-fabricado. Todas as peças são confeccionadas antes de chegar à obra, e as aberturas para portas, janelas e dutos são feitas por equipamentos de alta precisão. “Depois de prontos, os painéis são transportados para o canteiro de obras e montados com guindastes e uma pequena equipe de construção” (CROSSLAM, 2020; SHIGUE, 2018). As Figuras 3.15 e 3.16 apresentam uma peça sendo içada pelo guindaste e conduzida ao pavimento superior.

Figura 3.15. Painel CLT içado pelo guindaste



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.16. Montagem do painel CLT na obra



Fonte: A autora, 2021.

Por se tratar de uma tecnologia pré-fabricada, é essencial a compatibilidade entre os projetos arquitetônico, elétrico, hidráulico e estrutural. Para isso, é indicada a utilização de ferramentas BIM (*Building Information Modeling*), que previnem possíveis incompatibilidades entre os sistemas da edificação e um detalhamento minucioso do projeto antes da fabricação dos painéis. Apesar de demandar mais dedicação na etapa de projeto, a execução da obra é realizada em tempo inferior ao de sistemas convencionais, como alvenaria ou concreto, o que resulta em expressiva economia em mão-de-obra (CROSSLAM, 2020; PISOSSUL, 2021).

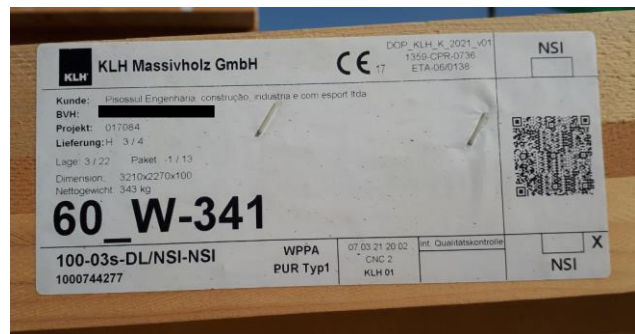
Os painéis saem de fábrica com uma etiqueta de identificação e um código, conforme apresentado nas Figuras 3.17 e 3.18. Os painéis com código “F” de *floor* (piso em inglês) são para lajes, enquanto que os painéis com código “W” de *wall* (parede em inglês) são para as vedações verticais. O processo de montagem também é preciso e cada painel fabricado apresenta um posicionamento específico para a montagem na obra. Para isso, são elaborados desenhos e esquemas de montagem conforme ilustrado na Figura 3.19.

Figura 3.17. Etiqueta de identificação do painel para laje em CLT



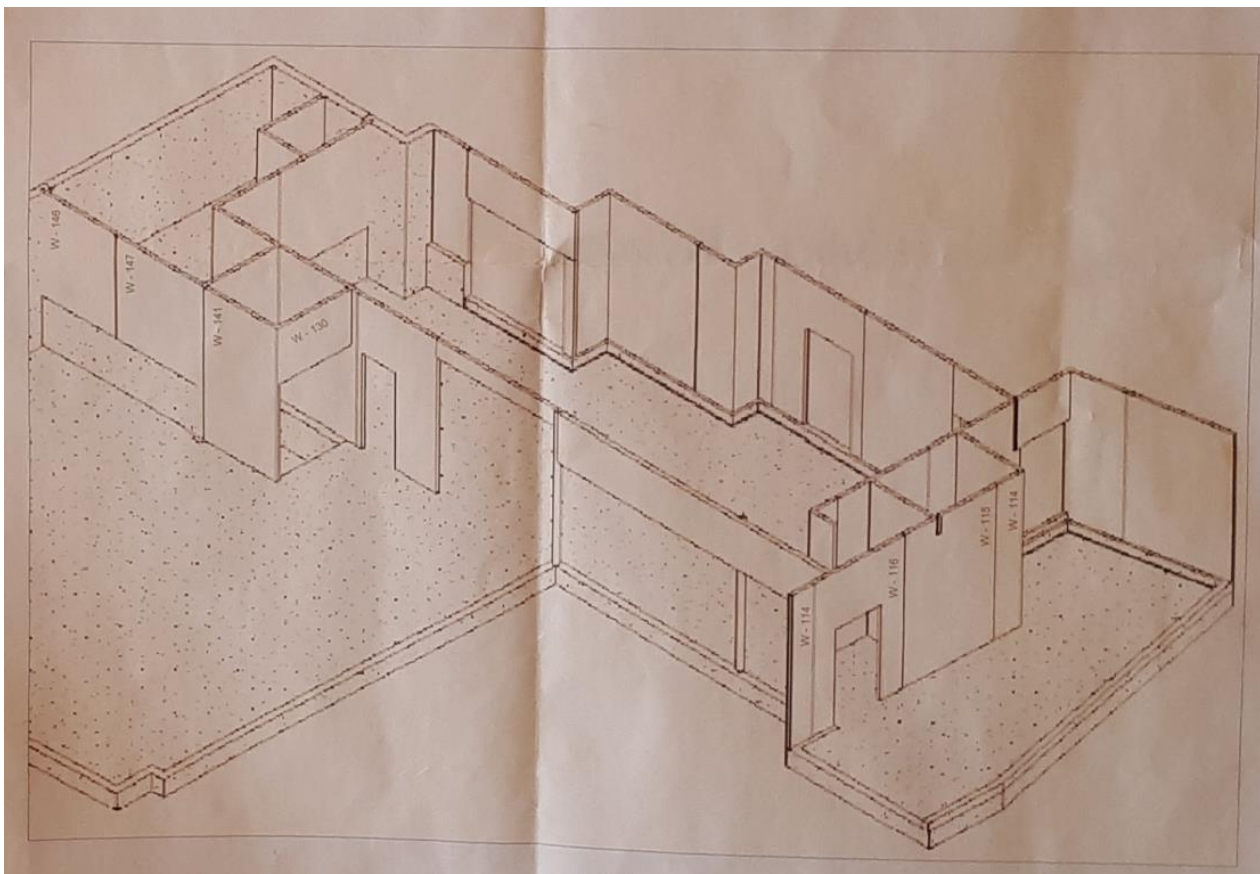
Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.18. Etiqueta de identificação do painel para vedação vertical em CLT



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.19. Esquema de montagem dos painéis CLT



Fonte: Pisossul, 2021.

O sistema construtivo em CLT apresenta ampla variabilidade, quanto a configuração de seus painéis em relação à configuração das camadas e espessuras. No Brasil, as peças são fabricadas com madeira de *Pinus Taeda*, com umidade em torno de 12% e tratadas em autoclave ou por imersão em solução inseticida. Os painéis podem possuir 3, 5 ou 7 lamelas, com espessuras de 19 mm, 20 mm, 30 mm, 35 mm e 40 mm. A união dessas camadas produz painéis que podem variar de 57 mm à 300 mm de espessura. O tamanho das peças depende do maquinário que as fabricam, atingindo dimensões entre 2,44 m e 3,00 m de largura por 8,05 m e 12 m de comprimento (CROSSLAM, 2020). A Figura 3.20 ilustra dois painéis de 60 mm de espessura (3 lamelas de 20 mm de espessura).

A união entre as lamelas é feita por meio da aplicação de um adesivo à base de poliuretano, seguida de prensagem hidráulica, à vácuo ou através de parafusos, pregos e sargentos (CROSSLAM, 2020). A emenda utilizada para obter o comprimento desejado das peças, conforme apresentado na Figura 3.21, é feita por meio do corte da madeira em pequenos triângulos, que possuem a finalidade de aumentar a superfície de aplicação da cola. Esse tipo de emenda é denominado “*finger-joints*” (OLIVEIRA, 2018).

Figura 3.20. Painéis CLT com 3 lamelas



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.21. Emenda estilo “*finger-joints*”



Fonte: A autora, 2021.

Enquanto os painéis são montados, são utilizadas escoras metálicas ou em madeira para dar sustentação (Figura 3.22). As escoras só serão removidas após a montagem completa das paredes, lajes e da cobertura que dará o travamento final na estrutura da edificação.

Além disso, são conferidas todas as conexões para verificar se estão devidamente parafusadas, antes de proceder com a remoção das escoras. Essas conexões entre os painéis verticais e os painéis de lajes em CLT ou do *radier* são feitas por meio de chapas metálicas, conforme apresentado nas Figuras 3.23 e 3.24.

Figura 3.22. Escoras sustentando a laje de cobertura do subsolo



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.23. Conexão entre painel vertical e radier



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.24. Conexão entre Painéis verticais e laje de piso em CLT



Fonte: A autora, 2021.

Na conexão entre os painéis verticais e as lajes em CLT foi fixada a fita “*Construction Sealing*” da fabricante *Rothoblaas*. Trata-se de uma fita de EPDM (borracha à base de etileno, propileno e dieno), com 3 mm de espessura, para isolamento acústico, com o objetivo de evitar a propagação sonora produzida pela queda de objetos, batidas ou vibrações (ROTHOBLAAS, 2022). A Figura 3.25 apresenta a união entre dois painéis de vedação vertical e a laje em CLT. Também é possível observar a fita para tratamento acústico (fita preta).

Figura 3.25. União entre painéis verticais e laje com fita para isolamento acústico



Fonte: A autora, 2021.

Conforme será apresentado no tópico 3.3, a madeira é um material higroscópico e não deve estar em contato direto com a água. Sendo assim, no pavimento em que há contato com o solo, os painéis externos são montados sobre vigas baldrame e os internos sobre uma chapa de aço. Além disso, é aplicada uma membrana impermeabilizante (pintura preta) entre o painel e a viga ou a chapa (Figuras 3.26 e 3.27). Além desses cuidados na instalação dos painéis, após a conclusão da montagem, os painéis externos recebem a aplicação de uma membrana impermeável (pintura amarela) (Figura 3.28). Essa membrana protege o painel da umidade e da entrada de ar, permitindo que o sistema permaneça exposto às intempéries até a conclusão da obra sem comprometer a estrutura (STOBRASIL, 2017).

Figura 3.26. Painéis CLT instalados sobre vigas de baldrame



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.27. Painéis CLT instalados sobre chapa de aço



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.28. Fachada principal com membrana impermeável (pintura amarela)



Fonte: A autora, 2022.

As lajes em CLT de áreas externas também recebem sistemas de impermeabilização, antes da aplicação dos revestimentos para acabamento (Figura 3.29), ou da cobertura com telhas. Como o acabamento da cobertura dessa obra é em platibandas, optou-se por utilizar telhas metálicas termo acústicas, ou seja, telha de aço + EPS + telha de aço.

Figura 3.29. Laje em CLT impermeabilizada



Fonte: A autora, 2022.

As instalações de tubulações elétricas e hidráulicas podem ser acondicionadas em *shafts*, entre barrotes ou nos próprios painéis. Cabe destacar que, caso os painéis sejam recortados por fresadoras para embutir a tubulação, deve-se prever a influência desses recortes no desempenho estrutural da edificação. Ao passo que, ao utilizar barrotes, deve-se prever largura suficiente para que o ambiente não perca demasiada área útil. A Figura 3.30 apresenta tubulações que ficarão embutidas entre barrotes, a Figura 3.31, tubulação de esgoto que será embutida em *shaft* e forro de gesso acartonado (*drywall*) e a Figura 3.32 ilustra a passagem de tubulação e fiação acima do forro de *drywall*. Na Figura 3.30, que apresenta um banheiro, também é possível observar

que os painéis das paredes e a laje de piso receberam a aplicação de manta impermeabilizante (pintura branca). Depois da instalação dos barrote, as paredes serão revestidas com placas de *drywall* resistente à umidade (verde) e revestimento cerâmico (Figura 3.33).

Figura 3.30. Tubulação de água quente e fria do banheiro



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.31. Tubulação de esgoto que será embutida em *shaft* e forro de *drywall*



Fonte: A autora, 2021.

Figura 3.32. Tubulação e fiação embutida no forro de *drywall*



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.33. Banheiro revestido com placas de *drywall* resistente à umidade e revestimento cerâmico



Fonte: A autora, 2022.

Em áreas secas e internas da edificação, os painéis não precisam receber nenhum tipo de acabamento para proteger a madeira, diferente das áreas úmidas que são revestidas com uma camada de impermeabilizante, placas cimentícias ou placas de gesso acartonado, resistente à umidade. Por fim, podem receber acabamentos variados em peças cerâmicas ou porcelanatos. A Figura 3.34 apresenta a área de churrasqueira da residência. Nela é possível observar a aplicação dos painéis de gesso resistente à umidade nas áreas úmidas (verde), o painel para áreas secas (cinza) e o painel com resistência ao fogo no local onde será instalada a churrasqueira (rosa).

Figura 3.34. Revestimento em *drywall* áreas, úmidas (verde), secas (cinza) e quentes (churrasqueira) (rosa)



Fonte: A autora, 2022.

O revestimento de paredes internas de áreas secas não é necessário, contudo, Nunes et al. (2020) destacam que as mesmas acabam sendo revestidas com placas de gesso acartonado, para tornar a aparência mais familiar aos usuários, pois ainda existe resistência ao uso da madeira e de sistemas construtivos não convencionais no Brasil. Além disso, em edificações

residenciais, é comum o revestimento dos painéis CLT para ocultar a passagem de eletrodutos corrugados (Figuras 3.35 e 3.36).

Figura 3.35. Parede com barrotes, eletroduto corrugados e *drywall*



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.36. Parede com barroto em uma das faces para passagem de eletroduto corrugado



Fonte: A autora, 2022.

Nas Figuras 3.37 e 3.38 é possível observar que nem todas as paredes precisam ser barroteadas. Além do cálculo estrutural que definirá a espessura dos painéis CLT, o uso ou não de barrotes definirá a espessura final de cada parede. Dessa forma, as esquadrias devem ser produzidas sob encomenda, com a devida especificação das espessuras das janelas e do batente de cada porta.

Por fim, são aplicados os revestimentos para acabamentos finais. Externamente, as paredes podem ser revestidas com placas cimentícias ou com um sistema utilizado com o objetivo de aumentar o desempenho térmico das edificações, tanto para construção em CLT, quanto para *wood frame* denominado *Exterior Insulation and Finish Systems* (EIFS). Esse sistema de acabamento para fachadas é constituído por: uma membrana impermeabilizante (pintura amarela);

uma placa de espuma de poliestireno de alta densidade (EPS); uma tela de fibra de vidro resistente à impacto e uma camada de argamassa (STOBRASIL, 2017).

Figura 3.37. Parede interna sem barrotes e com *drywall* em ambas as faces



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.38. Parede interna sem barrotes e com *drywall* em uma face e *drywall* e revestimento cerâmico na outra face



Fonte: A autora, 2022.

As Figuras 3.39 e 3.40 apresentam respectivamente a etapa de acabamentos finais da cozinha e de um dos banheiros da residência. A Figura 3.41, a aplicação do revestimento externo com EPS e argamassa.

Na Figura 3.42 é possível observar o detalhe da fachada principal, com aplicação de EPS e tela de proteção. A espessura do EPS utilizado nessa residência foi de 50 mm, porém, esse isolante térmico pode variar de 25 mm a 100 mm de espessura (STOBRASIL, 2017). A Figura 3.43 apresenta a fachada com argamassa sobre o EPS e com as volumetrias decorativas. Essas volumetrias também foram executadas com EPS. Nessa etapa, faltava a aplicação de pintura nas fachadas e a finalização dos acabamentos internos, ou seja, instalação de luminárias, conclusão de pintura das paredes e forros e instalação de piso de madeira.

Figura 3.39. Etapa de acabamentos cozinha



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.40. Etapa de acabamentos banheiro



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.41. Aplicação de EPS e argamassa paredes externas



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.42. Detalhe fachada principal com EPS e tela de fibra de vidro



Fonte: A autora, 2022.

Figura 3.43. Fachada principal com argamassa e elementos decorativos



Fonte: A autora, 2022.

Apesar das peculiaridades de se trabalhar com sistemas construtivos em madeira e com tecnologia pré-fabricada, Chacon (2020), destaca que os sistemas construtivos em MLC e CLT são: sustentáveis (a madeira são originadas de florestas de reflorestamento); inovadores (possibilidade de construir grandes estruturas e edifícios); tecnológicos (produção mecanizada e pré-fabricada); limpos (pouca produção de resíduos no canteiro de obras); reutilizáveis (as edificações podem ser desmontadas e montadas em outro local) e seguros (resistentes ao fogo).

3.3. PROPRIEDADES FÍSICAS E COMPORTAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA

O uso da madeira na construção civil requer um estudo aprofundado sobre as características botânicas das árvores e sobre as condições ambientais do local do projeto, pois elas influenciarão nas propriedades físicas da madeira. Existem dois principais grupos de plantas utilizados para extração de madeira, as *Gymnospermas* e as *Angiospermas*. No grupo das *Gymnospermas*, destacam-se as Coníferas, classificadas como madeiras moles, e que tem como principais espécies, na América do Sul, o Pinus e a Araucária. No grupo das Angiospermas, destacam-se as Dicotiledônias, classificadas como madeiras duras, ou madeira de lei, por apresentarem maior resistência mecânica. De acordo com Calil Junior e Brito (2010), “nesta categoria encontram-se as principais espécies utilizadas na construção civil no Brasil” (CALIL JUNIOR e BRITO, 2010; COSTA FILHO, 2017).

Neste tópico, serão apresentadas algumas das propriedades físicas mais importantes da madeira para fins de construção civil. De acordo com Valle et al. (2012), as principais são: umidade; densidade; resistência ao fogo e durabilidade natural. Mello (2007) também acrescenta, o comportamento térmico e acústico da madeira.

Com relação à umidade, a madeira é classificada como um material higroscópico, ou seja, realiza trocas de água com o ambiente, tendendo a manter sua umidade em equilíbrio com a umidade relativa do ar onde está inserida (NUMAZAWA, 2009). De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT (2009), quando a madeira consegue obter esse equilíbrio, é

considerada seca. A falta de controle sobre seu teor de umidade pode provocar empenamentos e rachaduras nas peças, pois interfere em diversas propriedades físicas desse material (IPT, 2009).

A norma brasileira NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 1997) apresenta 4 classes de umidade que variam de acordo com a umidade relativa do ar e determinam a porcentagem de umidade que a madeira deve possuir. Contudo, os valores de resistência, de rigidez e de densidade, determinados pela norma, consideram que a madeira pertence à classe 1 e, portanto, seu teor de umidade de equilíbrio com o ambiente deve ser igual a 12%.

Quanto à densidade, para Moreschi (2014), essa é uma das características mais importantes, pois ela interfere nas demais propriedades físicas da madeira. De acordo com o autor, madeiras mais pesadas costumam ser mais resistentes, elásticas e duras que as mais leves, contudo, essas características as tornam mais difíceis quanto a trabalhabilidade. O autor ainda acrescenta, que os valores de densidade variam conforme cada espécie e entre uma mesma espécie florestal.

Apesar da madeira ser um material combustível, ela apresenta boa resistência ao fogo. Após alguns minutos em chamas, uma camada externa da peça de madeira é carbonizada e se torna um isolante térmico, não permitindo a entrada de oxigênio e extinguindo o fogo antes de atingir camadas mais profundas da madeira. A espessura de carbonização da peça dependerá da espécie da madeira e das condições de exposição ao fogo. Conhecendo o comportamento da madeira sob a ação de um incêndio, é possível prever uma espessura de carbonização que não comprometa seu desempenho estrutural. De acordo com Valle et al. (2012), as Coníferas queimam a uma taxa de aproximadamente 0,7 mm/min (VALLE et al; 2012).

Outra característica da madeira, que interfere na sua resistência ao fogo, é a baixa expansão térmica. A variação dimensional causada pelo aumento da temperatura é praticamente anulada pela variação dimensional provocada pela diminuição do seu teor de umidade. Sendo assim, estruturas de madeira se expandem menos que outros sistemas estruturais, diminuindo os riscos de colapso das estruturas (desabamento). Estruturas metálicas, por exemplo, perdem resistência mecânica em cerca de 10 minutos, quando submetidas a temperaturas acima de 500°C (CALIL JUNIOR e BRITO, 2010; MORESCHI, 2014; VALLE et al; 2012).

Com relação a durabilidade natural da madeira, Numazama (2009) afirma que, dependerá das propriedades físicas e mecânicas da espécie vegetal; das condições climáticas do local a ser empregada; das especificações de projeto, do uso atribuído a ela; das cargas solicitantes e de sua conservação. Entretanto, a autora destaca que um dos principais fatores que comprometem a durabilidade dos projetos em madeira é a falta de conhecimento técnico sobre o material por parte dos projetistas e a falta de manutenções preventivas e corretivas nas edificações.

Por ser um material orgânico, a madeira também está sujeita a deterioração pela ação de organismos vivos, denominada de biodeterioração (ABNT, 1997). Dessa forma, sua durabilidade natural está associada à sua capacidade de resistir aos agentes de deterioração e de biodeterioração (MELLO, 2007). Mello (2007) acrescenta que existem espécies de madeiras tropicais que apresentam melhor resistência a biodeterioração, reforçando a importância do estudo sobre as características particulares de cada espécie e do ambiente em que ela será empregada.

Quando a madeira está exposta a altos teores de umidade, cria-se um ambiente propício para o desenvolvimento de fungos. Em ambientes que possuem umidade relativa do ar inferior a 20%, a madeira não sofre biodeterioração. Castro e Guimarães (2018) destacam que o ataque de fungos é mais comum em toras recém-cortadas ou em peças que acabaram de ser serradas, devido à maior umidade da madeira nessas condições. Os principais defeitos ocasionados por fungos são: a perda de resistência, o amolecimento, a desintegração e a descoloração da madeira. Para se prevenir o ataque desses organismos é necessário fazer a correta secagem das peças, armazená-las em condições adequadas de temperatura e umidade e utilizar tratamentos químicos (CALIL JUNIOR e BRITO, 2010; CASTRO e GUIMARÃES, 2018).

No entanto, os principais agentes de biodeterioração da madeira são os insetos xilófagos (insetos que se alimentam de madeira), com destaque para os cupins e para as brocas-de-madeira (IPT, 2009). De acordo com o IPT (2009), tanto madeiras que apresentam alta durabilidade, quanto baixa durabilidade natural devem passar por processos de tratamento contra organismos xilófagos antes de serem empregadas no setor da construção civil.

A preservação da madeira, contra a biodeterioração, pode ser feita por meio de ceras, óleos, resinas naturais ou sintéticas, fungicidas, inseticidas e solventes, porém o tratamento

mais efetivo e duradouro é por meio da autoclave; que consiste na aspersão ou pulverização de preservativos na madeira sob alta pressão (CASTRO e GUIMARÃES, 2018).

Sendo assim, para se obter uma maior durabilidade da madeira, Calil Junior e Brito (2010) acrescentam que é necessário fazer um melhor detalhamento do projeto, especificando mecanismos de proteção contra chuva e raios solares; drenagem rápida da água; secagem das áreas úmidas; tratamento preservativo adequado, por meio de impregnação de produtos químicos sob pressão em autoclave; tratamento superficial e inspeções para manutenção e reparos.

Com o objetivo de tornar o projeto de estruturas em madeira menos complexo, devido à vasta variabilidade de espécies vegetais, a NBR 7190 estabeleceu classes de resistência de acordo com espécies que apresentem propriedades semelhantes entre si. Foram estabelecidas três classes de resistência para as Coníferas e quatro classes para as Dicotiledôneas (ABNT, 1997). Calil Junior (2014) declara que a utilização dessas classes proporciona maior segurança das estruturas e que se forem utilizadas outras espécies florestais, deve-se considerar as especificidades de suas propriedades físicas e aumentar o coeficiente de segurança das estruturas.

A NBR 7190 (ABNT, 1997) também determina, que é preciso garantir a durabilidade mínima compatível com o projeto a ser realizado, considerando a ação de organismos xilófagos e diferentes condições ambientais em que a madeira esteja inserida. A recomendação é que se utilize espécies com boa permeabilidade aos líquidos preservativos e que se considere os diferentes tipos de ambiente para prever as situações de risco de biodeterioração.

Além dessas propriedades físicas da madeira, conhecer seu comportamento térmico e acústico é fundamental para projetar edificações confortáveis e eficientes. A edição de 2008 da NBR 15220-2 (ABNT, 2008) apresentava uma tabela com propriedades térmicas e densidade dos materiais de construção civil. Nela, é possível observar que a condutividade térmica da madeira e de seus derivados é pequena ($0,058 < \lambda < 0,29$ W/mK) quando comparada à argamassa comum ($\lambda = 1,15$ W/mK); à blocos cerâmicos ($0,70 < \lambda < 1,05$ W/mK) e ao aço ($\lambda = 55$ W/mK) (ABNT, 2008).

Além disso, a madeira possui um calor específico relativamente alto em relação a outros materiais. “Isto significa que, ao se aplicar uma determinada quantidade de calor à madeira,

ela se aquecerá muito menos que os materiais possuidores de menor calor específico, como metais, concreto, tijolos, etc” (MORESCHI, 2014).

Por fim, quanto ao comportamento acústico, Moreschi (2014) observa que a madeira possui um grau de absorção favorável em relação a outros materiais, pois absorve melhor as frequências mais baixas, o que produz um efeito agradável à audição. Essa característica é importante em ambientes como salas de aula, auditórios e teatros. Contudo, paredes com pouca massa de madeira (pequena espessura) apresentam desempenho acústico insatisfatório. Nesse caso, recomenda-se utilizar paredes compostas por várias camadas, contendo ar entre elas ou materiais que sirvam como isolantes acústicos (MORESCHI, 2014).

3.4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA CIDADE DE FOZ DO IGUAÇU

Conforme será detalhado a seguir, Foz do Iguaçu - PR é uma cidade com características climáticas desafiadoras para se obter conforto térmico de maneira passiva; o que demanda uma série de estratégias para alcançar melhor desempenho térmico e energético das edificações.

A cidade está localizada no extremo oeste do estado do Paraná. Pertence a tríplice fronteira com *Ciudad Del Este*, no Paraguai e *Puerto Iguazú* na Argentina, tem altitude média de 192 metros e está na latitude de 25° 32' 49" Sul e longitude de 54° 35 18" Oeste. (CIDADE BRASIL, 2021).

A Classificação de Köppen-Geiger para a região de Foz do Iguaçu - PR é “Cfa” (clima temperado úmido com verão quente). O grupo “C” indica que o clima é temperado quente, com temperatura média do ar nos meses de inverno variando entre -3°C e 18°C; temperatura média do mês mais quente acima de 10°C e as estações de verão e inverno bem definidas. A classe “f” indica que o clima é úmido, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano e inexistência de uma estação seca definida. A subclasse “a” indica verão quente, com temperatura média do ar no mês mais quente acima de 22°C (KOTTEK, et al; 2006).

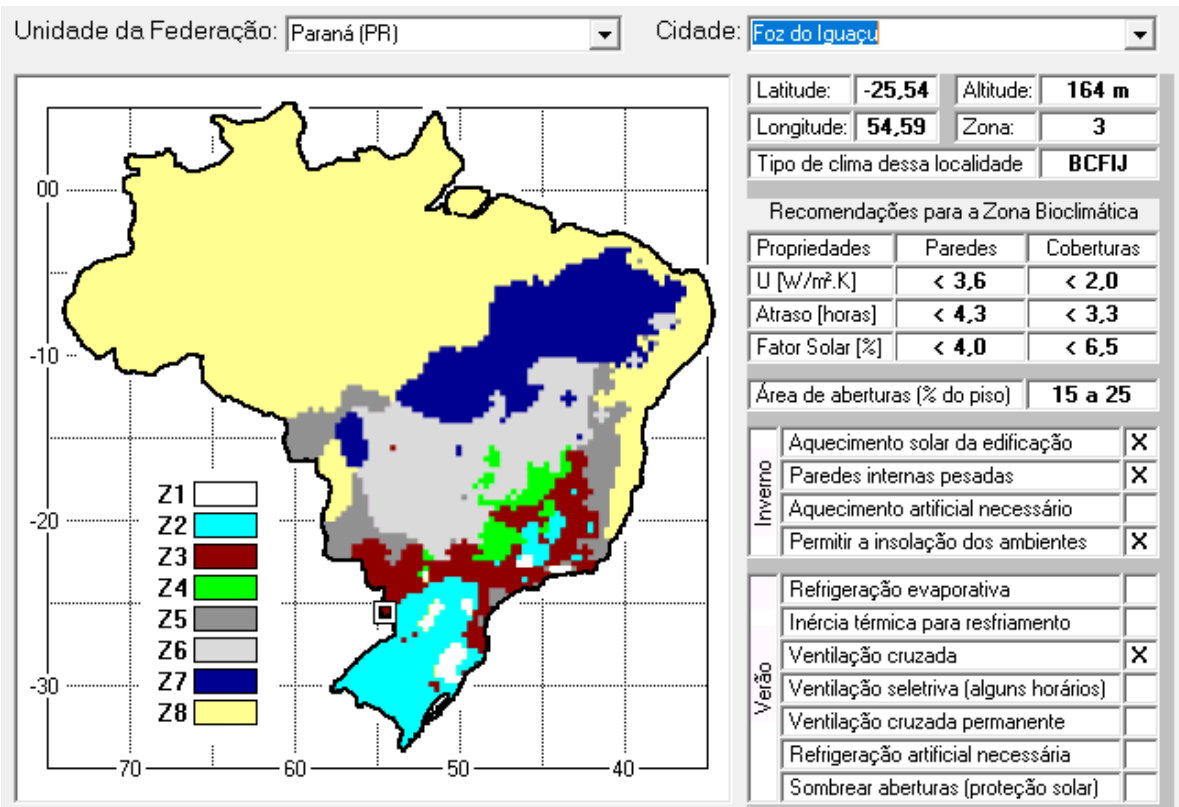
De acordo com a série histórica do período de 1970 a 2015, apresentada no Atlas Climático do Estado do Paraná (NITSCHE, et al; 2019), a média de temperatura anual nesse período foi de 22,1°C - 23°C; no entanto, a cidade apresenta grande variação térmica ao longo do ano, o que se dilui nas médias anuais e torna esse dado pouco significativo para a análise da demanda por estratégias adequadas ao clima.

Nesse mesmo período foram registrados 1,1°C - 2°C de temperatura mínima absoluta e 38,1°C - 39°C de temperatura máxima absoluta. Embora esses dados representem medidas extremas, é comum Foz do Iguaçu registrar temperaturas acima dos 34°C no verão e temperaturas abaixo de 10°C no inverno. Uma comparação um pouco mais significativa é entre a média de temperatura máxima anual (28,1°C - 29°C) e a média de temperatura mínima anual (18,1°C - 19°C). Sendo assim, Foz do Iguaçu apresenta uma amplitude térmica média anual de 10°C entre o inverno e o verão (NITSCHE, et al., 2019).

O *software* ZBBR - Classificação Bioclimática dos Municípios Brasileiros apresenta diretrizes projetuais para as diferentes zonas bioclimática brasileiras. A classificação utilizada por esse software é a mesma atribuída pela norma NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005). A norma classifica a cidade de Foz do Iguaçu como pertencente à zona bioclimática 3. Esse zoneamento é definido pelos parâmetros: médias mensais das temperaturas máximas, médias mensais de temperaturas mínimas e médias mensais de umidade relativa do ar (BAVARESCO, et al; 2017).

Dessa forma, a norma e o software sugerem algumas estratégias para Foz do Iguaçu - PR, conforme apresentado Figura 3.44. É possível observar que existem mais orientações para atender as exigências no período de inverno do que para o período de verão. Ou seja, para os períodos de inverno: aquecimento solar da edificação; paredes internas pesadas e permitir a insolação dos ambientes. Enquanto que, para o verão, apenas o uso de ventilação cruzada. Fica evidente que trabalhar considerando a média anual das temperaturas é inadequado para a cidade de Foz do Iguaçu - PR, tanto para os períodos frios quanto para os períodos quentes.

Figura 3.44. Estratégias Bioclimáticas para a Cidade de Foz do Iguaçu - PR

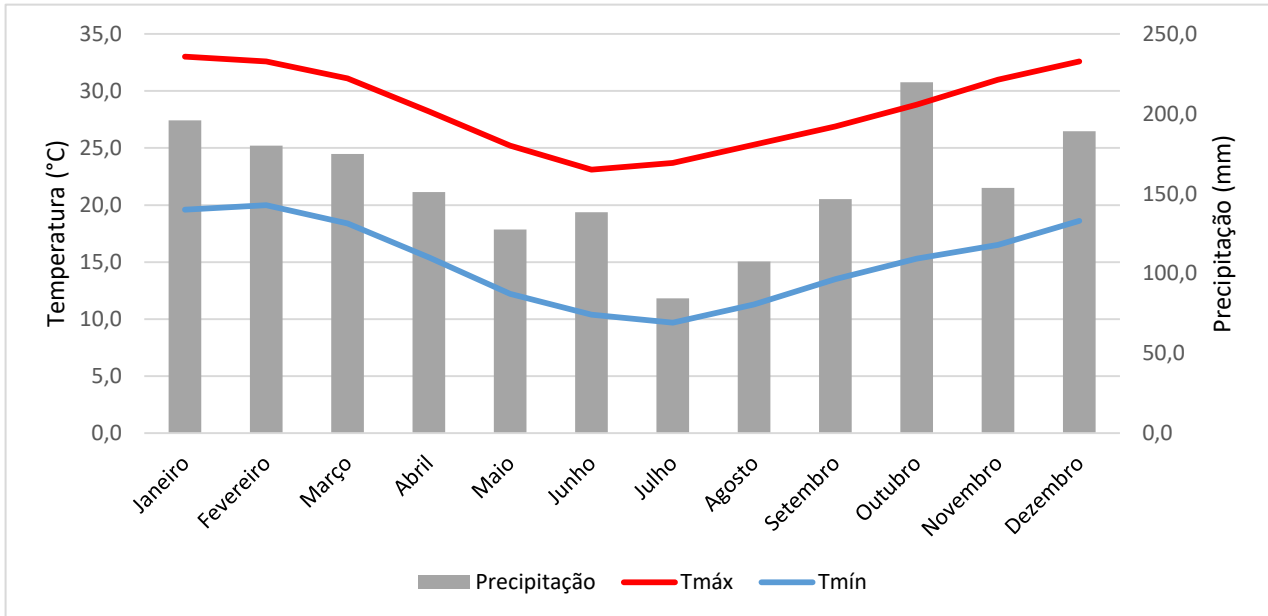


Além disso, analisando-se os dados das normais climatológicas disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) percebe-se a falta de período de estação seca, conforme previsto pela classificação Köppen-Geiger. As chuvas costumam ser bem distribuídas ao longo do ano, apresentando maior redução nos meses de inverno. A média de precipitação anual é de 1600,1mm a 1800mm (NITSCHKE, et al; 2019). Com relação às temperaturas anuais, é possível observar que a cidade apresenta grande amplitude térmica diária, sendo as maiores variações registradas nos meses de julho e novembro (14°C e 14,5°C respectivamente). A Figura 3.45 apresenta a distribuição mensal de chuvas e temperaturas ao longo do ano.

Para concluir a análise climática da cidade de Foz do Iguaçu - PR, utilizou-se o programa *Climate Consultant* 6.0. O modelo de conforto selecionado para a análise foi o Modelo de Conforto Adaptativo – ASHRAE Standard 55 de 2010. O arquivo climático aplicado ao programa foi fornecido pelo INMET (2018) em formato *.epw, considerando o padrão de 80% de limite de aceitabilidade da ASHRAE, conforme será apresentado no item 3.5. Sendo assim, a temperatura operativa mínima ficou em 18,7°C e a máxima em 29,6°C. A mínima temperatura média mensal

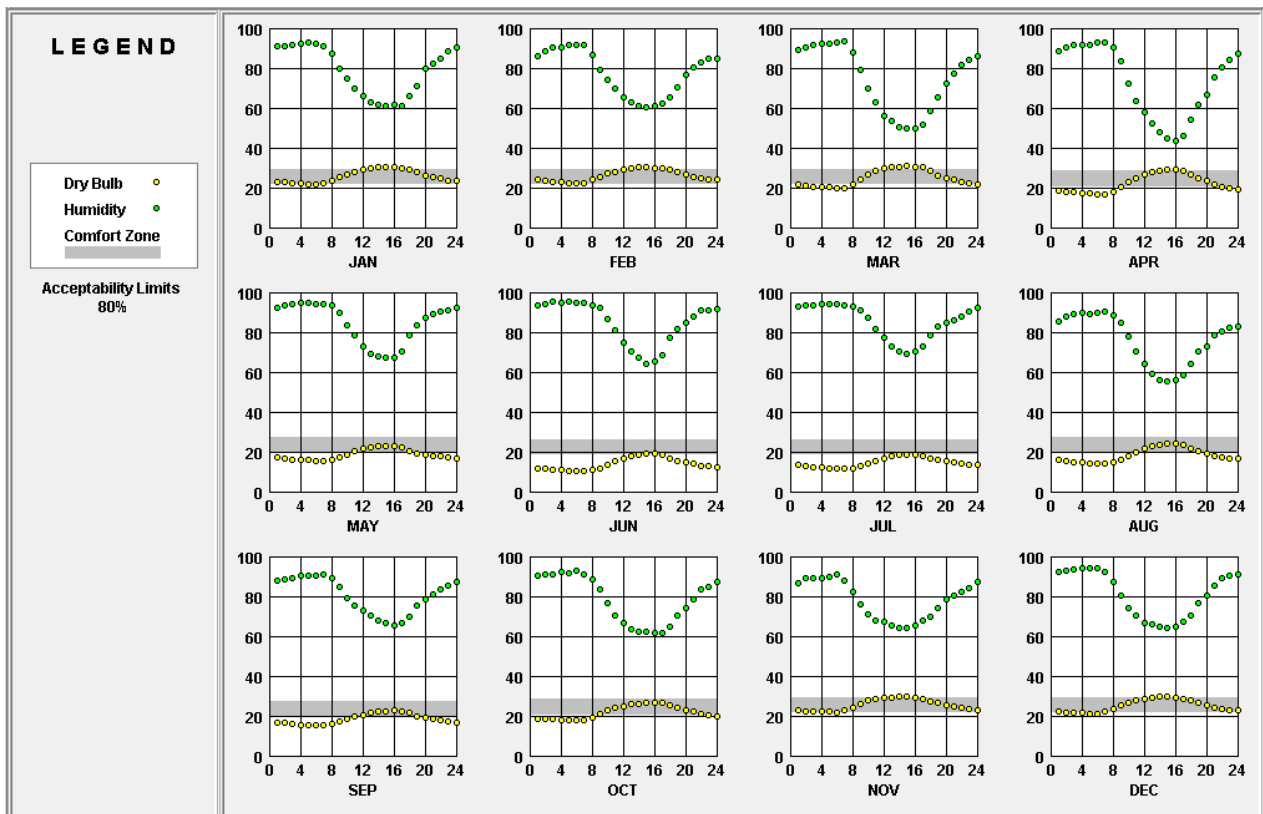
exterior ficou em 14,1°C e a máxima temperatura média mensal exterior em 26,7°C. A Figura 3.46 apresenta as médias de temperatura de bulbo seco (pontos amarelos) e a umidade relativa do ar (pontos verdes) ao longo do dia, para cada mês do ano.

Figura 3.45. Normais climatológicas (1961 – 1990) – Foz do Iguaçu - PR



Fonte: Elaborado a partir das Normais Climatológicas (1961 – 1990) do INMET, 2021.

Figura 3.46. Variação de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ar

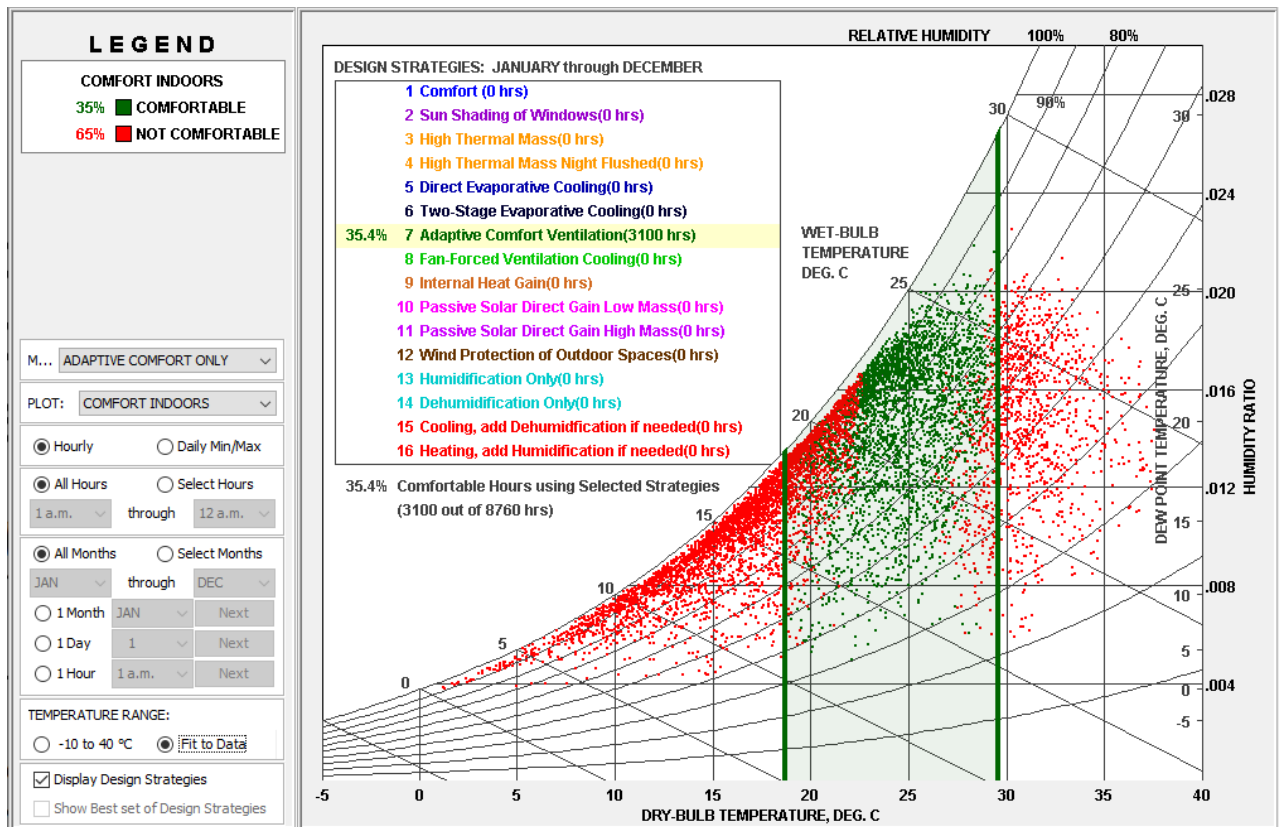


Fonte: *Climate Consultant 6.0*, 2021.

Destaca-se no gráfico que a faixa em cor cinza representa a zona de conforto térmico. É possível observar que as temperaturas ficam fora da zona de conforto em boa parte dos meses do ano e ao longo das horas do dia. De novembro a abril as temperaturas tendem a ficar acima da zona de conforto, e entre os meses de maio a setembro elas ficam abaixo da linha de conforto durante todo o dia ou parte dele.

Outro dado relevante que o programa fornece é a carta psicrométrica, conforme apresentado na Figura 3.47. A carta relaciona a temperatura de bulbo seco (eixo das abcissas) com a umidade relativa do ar (eixo das ordenadas) e fornece as principais estratégias para obter conforto de maneira passiva. Para a cidade analisada e considerando o limite de 80% de aceitabilidade da ASHRAE 55, observa-se que sem o uso de sistemas de climatização artificial, seria possível alcançar apenas 35% de horas em conforto térmico por meio de ventilação.

Figura 3.47. Carta psicrométrica para Foz do Iguaçu - PR



Fonte: *Climate Consultant 6.0*, 2021.

Após a apresentação da carta, o programa lista as estratégias indicadas para a Foz do Iguaçu - PR, conforme mostra o Quadro 3.1.

Quadro 3.1. Estratégias indicadas para Foz do Iguaçu por ordem de importância

35	Uma boa ventilação pode reduzir ou eliminar o ar-condicionado em climas quentes, se as janelas forem bem sombreadas e orientadas para as brisas predominantes.	34	Para capturar a ventilação natural, a direção do vento pode ser alterada em até 45 graus em direção ao edifício utilizando <i>wing walls</i> (paredes inclinadas) nas fachadas externas e vegetação.
33	Uma planta baixa longa e estreita pode ajudar a maximizar a ventilação cruzada em climas temperados e climas quentes e úmidos.	36	Para facilitar a ventilação cruzada, as aberturas de portas e janelas devem ser posicionadas em lados opostos do edifício, com aberturas maiores voltadas para os ventos predominantes, se possível.
56	Varandas e pátios com tela podem fornecer conforto passivo em climas quentes por meio do resfriamento proporcionado pela ventilação e ainda, prevenir problemas com insetos.	42	Em dias quentes, os ventiladores de teto ou a movimentação do ar interno podem diminuir a sensação térmica em 2,8°C ou mais, diminuindo a necessidade do ar-condicionado.
47	Usar ambientes integrados para promover a ventilação natural cruzada ou usar portas com venezianas, ou ainda, dutos de ventilação se a privacidade for necessária.	49	Para produzir ventilação com efeito chaminé, mesmo quando a velocidade dos ventos for baixa, maximizar a altura vertical entre a entrada e a saída de ar (escadarias abertas, espaços com pé direito duplo, aberturas no telhado).
39	Um sistema de ventilação central ou ventilação natural cruzada associado a uma grande inércia térmica das superfícies internas pode prolongar as temperaturas mais frias do período noturno e reduzir ou eliminar o ar-condicionado.	58	Proteger as aberturas para evitar o superaquecimento, aproveitar a brisa no verão e utilizar o ganho solar passivo no inverno.
62	Casa passivas tradicionais em climas temperados devem usar sistemas construtivos leves com <i>radier</i> , paredes móveis e espaços externos sombreados (varandas, pátios).	65	Casas passivas tradicionais em climas quentes e úmidos devem ter pé-direito alto e janelas altas operáveis (francês) protegidas por beirais, brises, ou venezianas e varandas largas.
53	Áreas externas sombreadas (varandas, pátios, sacadas) orientadas para as brisas predominantes podem estender as áreas de estar e de trabalho em climas quentes ou úmidos.	54	Na fachada norte, projetar aberturas suficiente para equilibrar a iluminação natural e permitir ventilação cruzada (cerca de 5% da área do piso).
55	Telhados com baixa inclinação e beirais largos funcionam bem em climas temperados.	17	Usar vegetação (arbustos, árvores, paredes cobertas de hera), especialmente no oeste para minimizar o ganho de calor.
25	Em climas úmidos, sótãos bem ventilados com telhados inclinados funcionam bem para escoar a chuva e podem ser estendidos para proteger entradas, varandas e áreas de trabalho ao ar livre.	27	Se o solo for úmido, elevar a edificação acima do solo para minimizar a umidade e maximizar a ventilação natural embaixo do edifício.
32	Minimizar ou eliminar o envidraçamento na fachada oeste para reduzir o ganho de calor nas tardes de verão.	37	Brises horizontais (projetados para esta latitude) ou outros sistemas de proteção solar operáveis (toldos que se estendem no verão) podem reduzir ou eliminar o uso de ar-condicionado.

Fonte: *Climate Consultant* 6.0, 2021.

A ordem de importância das estratégias é fornecida pelo próprio *software*. As estratégias se concentram em soluções para proporcionar melhor ventilação aos ambientes, com ênfase no aproveitamento da ventilação cruzada e no maior sombreamento nas fachadas, principalmente na fachada oeste, com poucas aberturas translúcidas, uso de vegetação, grandes beirais, varandas, sacadas ou brises.

É importante ressaltar que as estratégias apresentadas pelo programa têm ênfase na melhora do conforto térmico nos períodos de calor, contudo, além das altas temperaturas, a cidade também é fria. O uso de vegetação caducifólia pode ser uma excelente opção, pois nos períodos frios a planta perde suas folhas, o que permitiria o aproveitamento solar nas fachadas. Outra opção é detalhar brises ou outros tipos de proteções solares que venham a ser propostas, permitindo a entrada de sol no edifício nos períodos de inverno.

Com base nas características climáticas expostas nesse tópico, fica claro o grande desafio em projetar edificações sustentáveis, que forneçam conforto térmico e que sejam energeticamente em Foz do Iguaçu - PR.

3.5. CONFORTO TÉRMICO, DESEMPENHO TÉRMICO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Após compreender como funciona o sistema construtivo em CLT, as propriedades físicas da madeira e o clima de Foz do Iguaçu – PR, faz-se necessário entender os conceitos de “conforto térmico”, “desempenho térmico” e “eficiência energética”, e como que eles se relacionam entre si. Nesse tópico serão abordados esses temas, as principais normativas que regem as edificações nacionais, e algumas estratégias construtivas adequadas para climas quentes.

O ser humano é classificado como homeotérmico, ou seja, o corpo é mantido a uma temperatura interna relativamente constante de cerca de 37°. A perda excessiva de calor é denominada hipotermia, e o ganho excessivo de calor é denominado hipertermia. Os limites de temperatura inferior e superior, que o organismo suporta internamente, são respectivamente 35°C e 41°C (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007 e LECHNER, 2015).

A energia térmica produzida pelos organismos homeotérmicos é obtida por meio de reações químicas advindas principalmente da alimentação. O processo de obtenção de energia por meio de combustíveis orgânicos é denominado metabolismo (LECHNER, 2015). A Tabela 3.1 apresenta algumas taxas metabólicas típicas que são expressas como densidade de potência, por unidade de área de superfície corporal (W/m^2) ou em forma de produção de calor por unidade de área da pele, conhecido como “met”. 1,0 met é igual a $58,2 W/m^2$ (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007).

Tabela 3.1. Taxas metabólicas em diferentes atividades

Atividade	met	W/m^2
Dormindo	0,7	40
Reclinado, deitado na cama	0,8	46
Sentado, em repouso	1,0	58
Em pé, trabalhando parado	1,2	70
Trabalho leve	1,6	93
Trabalho doméstico	2,0	116
Dançando	3,0	175
Trabalho pesado	6,0	350
Trabalho muito pesado	7,0	410

Fonte: Adaptado e traduzido de Auliciems e Szokolay, 2007.

A temperatura corporal depende, portanto, do metabolismo; e o sistema que controla os ganhos e perdas de calor é denominado aparelho termorregulador. Quando a temperatura do ambiente está baixa, o corpo passa a perder calor, dessa forma o aparelho termorregulador trabalha para aumentar a resistência térmica da pele por meio da vasoconstrição, produzindo arrepios e tremor. Quando a temperatura do ambiente está alta, o corpo tem dificuldade para liberar calor, dessa forma o aparelho termorregulador trabalha para diminuir a resistência térmica da pele por meio da vasodilatação e da exsudação (PREK, 2006).

A sensação de **conforto térmico** ocorre quando o indivíduo perde calor para o ambiente sem a necessidade de recorrer ao aparelho termorregulador, ou seja, o calor que é produzido pelo seu metabolismo está adequado a atividade realizada e às condições climáticas do local (PREK, 2006). Além dessas condições metabólicas e ambientais, existe uma série de fatores que interfere nas condições de conforto de um indivíduo, tais como o sexo, a idade, a saúde, a vestimenta e o estilo de vida (AULICIEMS e SZOKOLAY, 2007).

De acordo com a ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 2020), conforto térmico é a condição mental que expressa satisfação com o ambiente e é avaliada de maneira subjetiva. Apesar disso, é possível analisar as condições ambientais para projetar edificações que proporcionem conforto térmico à maioria dos usuários. Vale ressaltar que o padrão de conforto térmico será diferente para cada condição climática, ou seja, pessoas aclimatadas em um local frio e seco se adequarão a uma faixa de conforto térmico diferente de pessoas oriundas de clima quente e úmido, por exemplo (GIVONI, 1992 e DEAR e BRAGER, 1998).

A análise das condições climáticas pode ser apresentada por meio de um gráfico denominado “carta psicrométrica”, onde é feita a correlação entre as temperaturas externas e a umidade relativa do ar. Nesse gráfico, também são sugeridas estratégias de projeto que visam maximizar as condições de conforto térmico no interior da edificação, sem considerar o uso de sistemas de climatização artificiais (GIVONI, 1992).

A carta psicrométrica ainda apresenta uma zona de conforto térmico. Essa zona varia de acordo com as condições climáticas do local e com a capacidade de adaptação dos indivíduos (GIVONI, 1992). Ao considerar essa capacidade humana de adaptação ao clima, surgem os modelos de conforto adaptativo, que para Pereira e Assis (2010), são o melhor caminho para projetos de arquitetura bioclimática. De acordo com Sorgato (2015), as normas mais respeitadas que utilizam o modelo de conforto adaptativo são a ASHRAE Standard 55 e a Norma de Conforto Europeia EN 15251 (EUROPEAN STANDARD, 2007). Essas normas foram formuladas com base em pesquisas em edificações reais e em condição de ventilação natural (sem o uso de climatização artificial).

A contribuição que a edificação fornece para o conforto térmico dos usuários pode ser mensurada por meio do comportamento térmico dos materiais constituintes das fachadas e coberturas, da exposição à radiação, da orientação solar das fachadas, da porcentagem de aberturas para ventilação e da estratégia de implantação adotada. Ou seja, edificações com melhor **desempenho térmico** proporcionarão maior quantidade de horas no intervalo de temperatura definido como zona de conforto térmico, sem utilizar sistemas de condicionamento de ar artificial (LECHNER, 2015).

No Brasil, a norma que apresentava as propriedades térmicas dos materiais das envoltórias, bem como, os métodos de cálculo dessas propriedades era a NBR 15220-2 Desempenho térmico de edificações, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2008). Em fevereiro de 2022 essa parte da norma foi atualizada e reformulada para (NBR 15220-2. Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações - Resistência e transmitância térmica - Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD) (ABNT, 2022). A parte 3 da mesma norma apresenta o zoneamento bioclimático brasileiro e as diretrizes construtivas para edificações habitacionais unifamiliares (ABNT, 2005).

Além disso, em 2013 a ABNT publicou a norma NBR 15575 - Edificações habitacionais. Essa norma aborda de maneira holística todos os sistemas que compõe uma edificação e estabelece limites mínimos de desempenhos estrutural, térmico, acústico e de habitabilidade. Nela foram estabelecidos os parâmetros e requisitos necessários para a realização de simulações computacionais de desempenho térmico, seguindo as diretrizes construtivas e o zoneamento bioclimático brasileiro estabelecidos pela norma NBR 15220-3.

Tendo em vista que grande parte das edificações brasileiras foi projetada e construída antes da edição das normas citadas anteriormente e que existem condições climáticas nas quais as estratégias de arquitetura adequada ao clima não são suficientes para proporcionar conforto térmico aos usuários, o uso de sistemas de aquecimento ou resfriamento artificiais torna-se necessário, acrescentando o conceito de **eficiência energética** na análise de desempenho térmico das edificações. Sendo assim, o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) publicou em 2009 o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R). Seu objetivo foi promover a eficiência energética de edificações residenciais por meio de etiquetagem com níveis de desempenho. (PBE, 2022).

O tema eficiência energética tornou-se relevante a partir da década de 1970 devido às crises do petróleo. A escassez de combustível, associada ao incremento tecnológico contribuíram para que os “serviços de energia”, como iluminação, condicionamento ambiental, força

eletromotriz e equipamentos eletroeletrônicos, bem como seus hábitos de uso, fossem questionados em relação ao consumo energético e cobrados por melhorias na eficiência (BRASIL, 2007). Em 2001 foi publicada no Brasil a Lei nº 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética. Nela foram estabelecidos requisitos mínimos para estimular o desenvolvimento de produtos com maior eficiência energética no mercado nacional. Dessa maneira, o setor industrial, destacando-se o de refrigeração e condicionamento de ar, estabeleceu índices mínimos de eficiência energética para todas as classes de equipamentos, em acordo com o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) (BRASIL, 2007).

Considerando que o consumo de energia também é influenciado pelas características da edificação, ou seja, a orientação solar dos ambientes, as propriedades térmicas da envoltória e os tipos de equipamentos instalados (SORGATO, 2015), conclui-se que o desempenho térmico das edificações está relacionado não apenas com o nível de conforto térmico proporcionado aos ocupantes, mas ainda, com o nível de eficiência energética da edificação.

Além das normas brasileiras citadas, existem vários grupos de pesquisa nacionais que contribuem com o desenvolvimento do conhecimento nas áreas de conforto térmico, desempenho térmico e eficiência energética, tais como o Laboratório de Conforto Ambiental (LCA), administrado pelo Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU/USP); o Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada (LACAF), administrado pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP); o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); e o Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), também vinculado à UFSC.

Tanto a norma de desempenho (NBR 15575), quanto o RTQ-R passaram por atualizações e modificações dos parâmetros para simulação computacional de desempenho térmico. A nova versão das partes 1, 4 e 5 da NBR 15575 foram publicadas em março de 2021, e o RTQ-R está sendo substituído pela Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), ainda em fase de construção pelo CB3E (CB3E, 2020).

As principais mudanças nos parâmetros de simulação da norma de desempenho (NBR15575-1) são: a consideração de cargas internas (pessoas, iluminação e equipamentos); o uso de ventilação natural e de sistema de condicionamento de ar artificial; análise anual dos resultados da simulação e a classificação do nível de desempenho de acordo com a comparação com um modelo de referência (VEIGA et al; 2020).

As partes 4 e 5 da referida norma tratam, respectivamente, dos critérios para as envoltórias das vedações verticais externas e coberturas, para análise por meio de procedimento simplificado, de acordo com a zona bioclimática do local da edificação. A principal mudança ocorreu para as vedações verticais externas, que passaram a considerar os tipos de vidros e não apenas elementos de sombreamento para as aberturas.

A envoltória é o que separa o ambiente interno do ambiente externo, por essa razão, é a principal responsável pelas trocas de calor entre uma edificação e seu exterior. Ela pode ser dividida em fechamentos opacos e fechamentos transparentes ou translúcidos (OLIVEIRA, 2012 e PEREIRA et al. 2015). Wong e Jusuf (2013) destacam que a escolha dos materiais que constituem as envoltórias, com base em suas propriedades térmicas e óticas é crucial para a redução dos ganhos térmicos e solares, além das estratégias passivas de ventilação e sombreamento indicadas para climas quentes.

Um exemplo de material indicado para climas quentes, como da cidade de Foz do Iguaçu - PR é o *cool material*, ou “material frio” em português. Tratam-se de materiais que apresentam alta refletância solar e alta emitância térmica. Embora possam ser aplicados a todos os tipos de envoltórias, os *cool materials* são geralmente aplicados em telhados por absorverem a maior parte da radiação solar (KOLOKOTRONI e KOLOKOTSA, 2013).

De acordo com Pereira et al. (2015), o comportamento de um material em relação à radiação solar depende das propriedades térmicas de sua superfície. “A energia radiante que atinge uma superfície opaca será parte refletida e parte absorvida. A fração da radiação que será refletida depende da refletância solar da superfície e a fração absorvida depende de sua absorptância solar” (PEREIRA et al; 2015). A refletância solar (ρ) é a razão entre a energia solar refletida por um corpo e a energia solar incidente sobre ele; e a absorptância solar (α) é a razão entre a energia solar

absorvida por um corpo e a energia solar incidente sobre ele. Ambas as propriedades variam de 0 a 1 e a soma das duas, em materiais opacos é igual a 1 ($\rho + \alpha = 1$, para superfícies opacas) (ASTM, 2012).

Outra propriedade térmica relevante é a emissividade ou emitância térmica. Esses termos são frequentemente utilizados de maneira intercambiável pela maioria dos autores. Trata-se da capacidade que um corpo ou superfície possui de emitir radiação infravermelha quando comparado à um corpo negro (OSMOND e SHARIFI, 2017). De acordo com a NBR 15220-1, emitância térmica (E) é a “taxa de emissão de radiação por unidade de área”, medida em W/m^2 , enquanto que a emissividade térmica (ϵ) é o “quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura”, em unidade adimensional (ABNT, 2005).

As superfícies emitem radiação infravermelha ao seu redor. Um corpo negro por definição, absorve toda a energia radiante que incide sobre ele. De acordo com a lei de Kirchhoff, a absorptância de um corpo é igual à sua emitância, logo, para um corpo negro $\alpha = \epsilon = 1$ para uma mesma temperatura e para um mesmo comprimento de onda (AKBARI, LEVINSON e BERDAHL, 2013). Dessa forma, Synnefa e Santamouris (2013) acrescentam que a emitância térmica é a medida em escala de 0 a 1 da capacidade que uma superfície possui de irradiar energia para longe de si em comparação à um corpo negro.

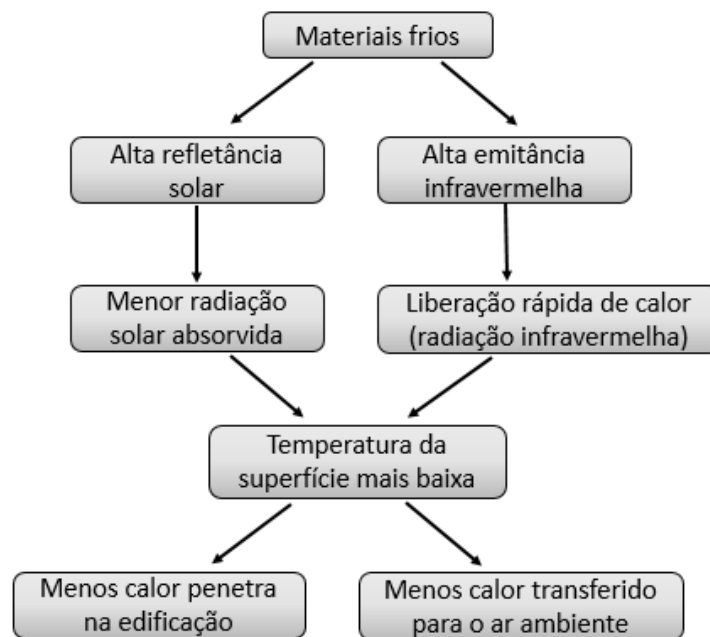
A combinação da refletância solar com a emitância térmica em um único valor é o índice de refletância solar (SRI). Esse índice indica quão “frio” é um material em comparação com uma superfície preta padrão, com refletância solar de 0,05 e emitância térmica de 0,9 e uma superfície branca padrão, com refletância solar de 0,8 e emitância térmica de 0,9 (SYNNEFA e SANTAMOURIS, 2013).

Quando uma superfície com alta refletância solar e alta emitância térmica é exposta à radiação solar, apresentará temperatura superficial menor em comparação com uma superfície semelhante, com menor refletância solar e menor emitância térmica. Dessa forma, contribuirá para diminuir o calor que adentra ao edifício e com a formação de ilhas de calor nos grandes centros urbanos, por meio da redução da intensidade do fluxo de calor por convecção

(SYNNEFA e SANTAMOURIS; 2013; OSMOND e SHARIFI, 2017). Osmond e Sharifi (2017) destacam que superfícies de telhados convencionais, com refletância solar entre 0,05 a 0,25 podem apresentar temperaturas superficiais entre 50 a 90°C, o que provoca estresse térmico nos materiais, diminuindo a vida útil dos mesmos.

Sendo assim, os benefícios da aplicação de materiais frios (*cool materials*) nas envoltórias das edificações são: aumento do conforto térmico dos usuários da edificação e do entorno; redução do consumo de energia para refrigeração; mitigação das ilhas de calor e aumento da vida útil da envoltória, pois a menor temperatura superficial também diminui a degradação química gerada pelo estresse térmico (Figura 3.48) (SYNNEFA e SANTAMOURIS, 2013; OSMOND e SHARIFI, 2017; KOLOKOTRONI e KOLOKOTSA, 2013).

Figura 3.48. Efeitos da aplicação de “materiais frios”



Fonte: Traduzido de Synnefa e Santamouris, 2013.

Embora os “*cool materials*” sejam associados à superfícies claras, em especial à cor branca, pesquisas apontam que apenas uma parcela da radiação é emitida como luz visível, e que estaria relacionada diretamente à cor do material. O restante da radiação é emitido como infravermelho e ultravioleta (PEREIRA et al; 2015 e DORNELLES, 2021). De acordo com Moriyama e Takebayashi (2013), existem pigmentos que podem ser misturados às tintas para aumentar a refletância solar no infravermelho próximo (NIR).

Destaca-se ainda que, existem materiais termocrômicos, que possuem a capacidade de mudar de cor de acordo com a temperatura. Em condições de altas temperaturas os materiais termocrômicos podem mudar de cor para refletir maior quantidade de energia solar reduzindo sua temperatura superficial, enquanto que em condições de baixas temperaturas sua cor é alterada para refletir menor quantidade de energia solar e aumentar sua temperatura superficial (MORIYAMA e TAKEBAYASHI, 2013). Essa característica é particularmente benéfica para climas que apresentam tanto altas temperaturas, quanto baixas, como é o caso da cidade de Foz do Iguaçu - PR.

Além dos fechamentos opacos, deve-se especificar corretamente os fechamentos transparentes ou translúcidos das envoltórias, pois esses elementos são fundamentais para o controle da radiação que adentra a edificação. O sombreamento das aberturas transparentes em climas quentes é essencial, contudo, a escolha do tipo de vidro é fundamental para se obter melhores resultados em relação ao desempenho térmico da edificação.

Existem diversos tipos de vidro. O mais simples é o monolítico ou *float*. Alguns vidros recebem tratamentos térmicos para melhorar sua resistência mecânica, como é o caso dos vidros termo endurecidos e dos vidros temperados. O vidro também pode ser laminado, ou seja, composto por duas lâminas ou mais de vidro unidas permanentemente por uma ou mais películas de *polivinil butiral* (PVB) (GUARDIAN, 2010).

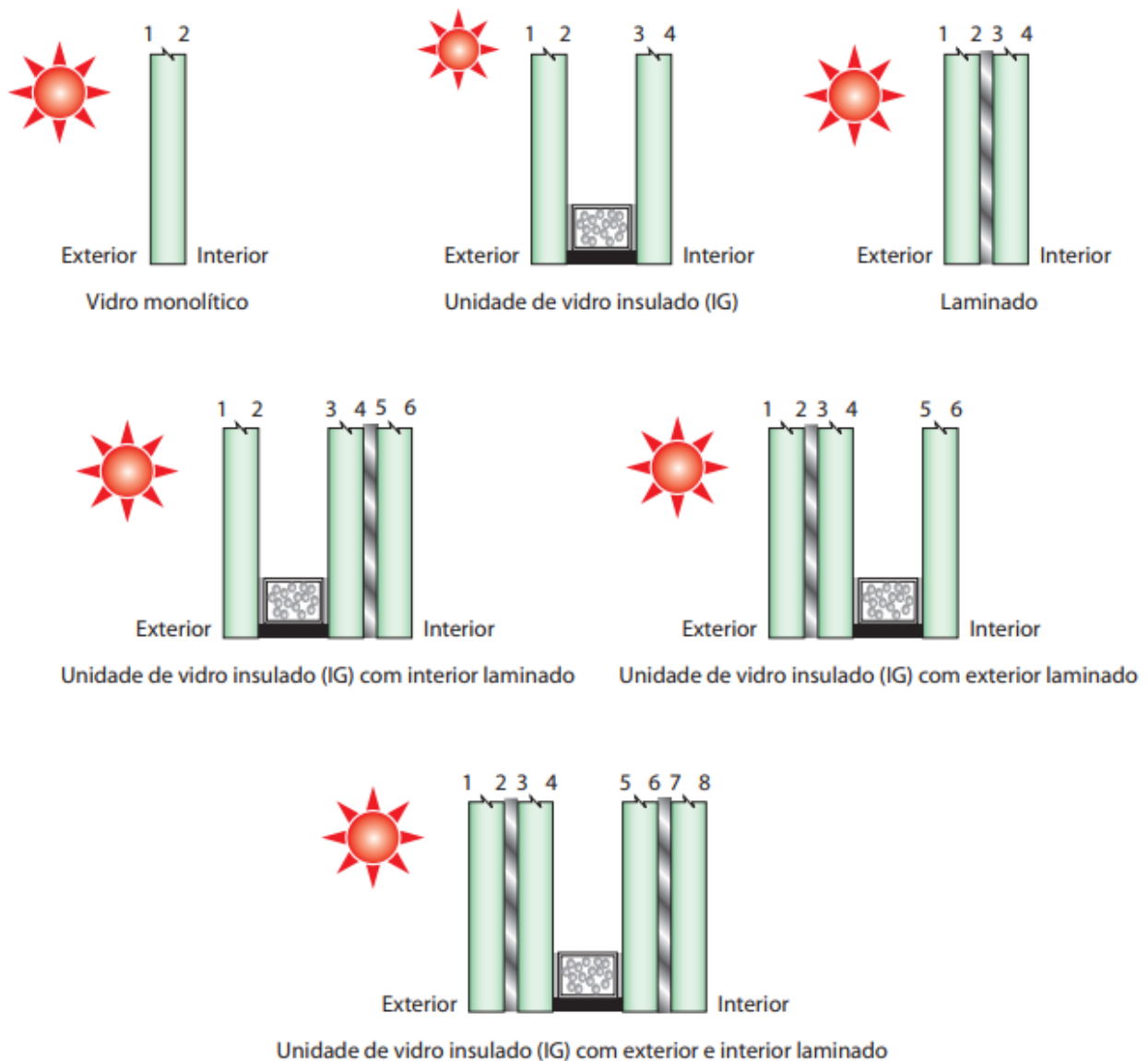
Além disso, os vidros podem receber tratamentos para melhorar seu desempenho térmico, como é o caso dos vidros “*Cool Lite KNT*” e “*Cool Lite SKN*” da fabricante Cebrace. Esses vidros apresentam controle solar seletivo, proporcionado pela pulverização a vácuo de uma camada de óxidos metálicos sobre o vidro transparente ou colorido. São conhecidos como vidros de baixa emissividade (*Low-e*) (AECWEB, 2022). Além deles, existem ainda os vidros termocrômicos e eletrocrômicos, que mudam de cor de acordo com a intensidade de radiação solar que recebem.

Assim como nos fechamentos opacos, os vidros também apresentam absorção de radiação solar no espectro visível e nas bandas ultravioleta (UV) e infravermelha (IV). O coeficiente de ganho solar dos vidros é calculado com base na quantidade de radiação transmitida, refletida e absorvida por eles. Se o principal objetivo de aplicação do vidro é para minimizar o calor

transmitido para o interior da edificação, deve-se utilizar vidros com baixa transmitância na região do infravermelho (SACHT et al; 2021).

Outra opção para melhorar o desempenho térmico dos fechamentos transparentes é por meio da composição de vidros, ou vidros insulados. Trata-se de esquadrias compostas por duas ou mais lâminas vidro seladas nas bordas e separadas por câmara de ar. A Figura 3.49 apresenta os diferentes tipos de vidros e composições de vidros com numeração que indica as superfícies do externo para o interno (GUARDIAN, 2010).

Figura 3.49. Tipos de vidro e composições com vidros



Fonte: Guardian, 2010.

Órgãos reguladores em todo o mundo estão adotando soluções para reduzir o consumo de energia para climatização, para mitigar as mudanças climáticas, melhorar as condições de vida e diminuir os impactos ambientais da construção civil (GARMAN-KOLOKOTSA e SYNNEFA, 2013). O conhecimento das condições climáticas locais, aliado a utilização de materiais de construção, com tecnologias voltadas para aumentar o desempenho térmico de maneira passiva em edificações, pode ser a solução para se obter conforto térmico e redução da demanda por energia para climatização simultaneamente (LATHA, DARSHANA e VENUGOPAL, 2015).

3.6. PROGRAMAS PARA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Após entender os principais aspectos físicos e climáticos que interferem na elaboração de um projeto arquitetônico, é necessário transformar os dados qualitativos em dados quantitativos, de forma a compreender como a edificação se comportará em uso e quais soluções se apresentarão termicamente mais eficientes. Para isso, foram selecionadas algumas ferramentas computacionais para elaboração dos modelos bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D), que serão analisados nesse trabalho.

Em 2015, Sorgato afirmou que existiam 367 programas de simulação de desempenho térmico de edificações. Esses programas são classificados como BEM (*Building Energy Modeling*), e o principal objetivo de sua aplicação é diminuir a demanda por energia para climatização da edificação. Para isso, são fornecidos dados sobre as propriedades térmicas dos materiais que compõem as envoltórias (vedações verticais, cobertura e piso), dados sobre o clima local de implantação do projeto e dados sobre cargas internas do edifício, ou seja, cargas térmicas produzidas por pessoas, iluminação e equipamentos. Com base nesses dados fornecidos, os programas são capazes de apresentar resultados para demanda de energia para climatização artificial e a temperatura dos ambientes ao longo do ano.

Além dessa classe de programas, existem os classificados como BIM (*Building Information Modelin*), tais como *Autodesk Autocad*, *Autodesk Revit*, entre outros. Neles é possível

desenhar a geometria da edificação em 2D e em 3D e compatibilizar os projetos complementares, prevenindo erros de execução e incompatibilidade entre os principais sistemas da edificação, tais como: estrutural, hidráulico e elétrico. Contudo, eles não fornecem dados sobre desempenho térmico e consumo de energia da edificação, tornando necessária a consolidação entre as ferramentas BIM e BEM o caminho ideal para projetos pensados para a sustentabilidade.

Para a elaboração desse trabalho, foram escolhidos os programas: *Autocad* e *Sketchup*, para criar dos modelos em 2D e 3D respectivamente; o *plug-in Euclid* para modelagem das zonas térmicas por meio do software *Sketchup* e o programa *Energyplus* para as simulações computacionais de desempenho térmico da edificação.

O software *Autocad* surgiu no início da década de 1980. Ao longo dos anos foi aperfeiçoado e tornou-se uma das principais ferramentas de desenho auxiliado por computador. Ele possui compatibilidade com outros programas computacionais, tais como *Sketchup*, o que determinou sua escolha para a elaboração desse trabalho.

O *Sketchup* é um software de desenho computacional para elaboração de modelos em 3D. Foi desenvolvido pela *Startup Last D. Software* em 1999 e lançado em 2000 (RAZOR, 2020). Em 2006 foi adquirido pela Google e vendido para a empresa de equipamentos de engenharia *Trimble Navigation* em 2012. A *Trimble* deixou de oferecer o software de maneira gratuita para uso comercial e investiu no aperfeiçoamento das ferramentas do programa (DOE, 2017).

O *Energyplus* é um programa de simulação térmica e energética de edifícios, que modela o consumo de energia para aquecimento, resfriamento e ventilação baseado na estratégia de implantação adotada, na orientação solar da edificação, nas propriedades térmicas dos materiais das envoltórias, nas condições climáticas do local e na transferência de calor com o ambiente por meio dos equipamentos, dos usuários e do contato ou não com o solo.

Esse software é gerenciado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável (NREL na sigla em inglês) e financiado pelo DOE. Nele, é possível criar a geometria da edificação por meio de coordenadas de superfície tridimensionais em um editor de texto, um vértice por vez. Sendo assim, seu uso tornou-se popular somente após a criação de um *plug-in* para o *Sketchup* denominado *Openstudio*, que permitiu a modelagem da edificação de maneira muito mais fácil e

menos sujeita a erros (DOE, 2017).

O *Openstudio* foi criado em 2006 pelo engenheiro Peter Ellis do NREL. Quando o *Sketchup* deixou de ser uma ferramenta gratuita, o DOE interrompeu o financiamento e o desenvolvimento desse *plug-in*, deixando-o estagnado na versão *Legacy Openstudio*. Ellis deixou o Laboratório para iniciar a *Big Ladder Software*, uma empresa de consultoria de programas de modelagem de energia (DOE, 2017).

Em 2016, a *Big Ladder* decidiu atualizar o *plug-in Legacy OpenStudio* para suportar as novas versões do *Sketchup* e do *Energyplus*, mantendo a ferramenta gratuita e de código aberto, dando origem ao *plug-in Euclid* (DOE, 2017). Atualmente existem novas versões desse *plug-in* e do *Openstudio* para o *Sketchup*, porém, o *Openstudio* tornou-se um kit de desenvolvimento de software (SDK na sigla em inglês).

3.7. CONSIDERAÇÕES SOBRE O REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir será apresentado um resumo do referencial teórico para demonstrar como que os assuntos abordados se relacionam com as decisões tomadas na metodologia do presente trabalho.

Os sistemas construtivos em madeira no Brasil sofrem com o estereótipo da má qualidade, do uso em habitações populares de baixo custo e sem preocupação estética, o que resulta na limitação do seu uso e estudo. Esse fato é um contrassenso em relação ao uso dado à madeira como material de construção na Europa e na América do Norte, no qual ela é considerada a base da construção civil. A madeira é um material que apresenta boas características estruturais, boas características de resistência ao fogo; é um material de construção com baixo impacto associado à emissão de gases do efeito estufa, quando comparado ao cimento, ao aço e aos componentes cerâmicos, além de apresentar características térmicas e acústicas superiores em relação aos materiais citados.

Tal como na produção dos materiais, igualmente importantes são os impactos do

uso e ocupação das edificações que os empregam. Um dos principais aspectos da sustentabilidade, quando se trata de uma edificação está associado ao seu consumo energético, sendo que parcela significativa desse consumo é empregada para climatização. Assim, uma edificação que proporcione condições adequadas de conforto térmico aos seus usuários, aproveitando ao máximo estratégias passivas de climatização contribui significativamente para a eficiência energética e redução dos impactos ambientais.

Da mesma maneira, quando se torna inevitável a utilização de climatização artificial, como é o caso da cidade de Foz do Iguaçu – PR, que apresenta clima com grande amplitude térmica entre os períodos quentes e frios, os materiais empregados nos sistemas construtivos devem contribuir para que o consumo energético seja minimizado. Novamente, a proposição da utilização de um material com características térmicas de isolamento pode, como hipótese, contribuir para tornar mais eficiente o uso da climatização, quando consideradas as características climáticas de Foz do Iguaçu - PR.

No entanto, estudos apresentados no tópico 3.6 sugerem que sistemas construtivos em madeira podem acarretar aumento das temperaturas internas da edificação nos períodos quentes do ano, o que seria desfavorável para climas quentes e úmidos como o da cidade analisada. Entende-se, portanto, que a análise do sistema construtivo em CLT deve contemplar a gama de espessuras de painéis e as principais tipologias de revestimentos internos e externos disponíveis em território nacional. Dessa forma, pode-se identificar quais configurações apresentariam os melhores resultados em termos de desempenho térmico ao longo de um ano, ou seja, considerando tanto os períodos quentes quanto os períodos frios de Foz do Iguaçu - PR.

Além disso, deve-se considerar a influência das aberturas transparentes, que compõem os sistemas de vedações verticais. Em sistemas construtivos mais isolados, a radiação solar que incide através dos elementos translúcidos é absorvida pelo isolamento térmico, que não permite a saída do calor. Esse comportamento é desejável nos períodos frios e extremamente inconveniente nos períodos quentes. Sendo assim, o adequado tratamento das aberturas transparentes, com uso de elementos de sombreamento externo e a utilização de vidros de alto desempenho térmico podem favorecer o desempenho térmico geral da edificação, quando aliados

a sistemas construtivos isolados e aplicados em climas com verões rigorosos.

Para analisar o desempenho térmico de uma edificação por meio de simulação computacional, deve-se estabelecer os critérios almejados ou utilizar normativas que estabeleçam esses critérios. Conforme apresentado no tópico 3.4, a NBR 15575-1 passou por atualizações que foram publicadas em 2021. As principais mudanças foram nos parâmetros de simulação computacional e metodologia de avaliação de desempenho térmico (ABNT, 2021a). Considerando isso, e o fato de que o CLT é um sistema construtivo incipiente no Brasil, a análise de desempenho térmico de outros sistemas construtivos empregados no Brasil tornou-se relevante como critério de comparação.

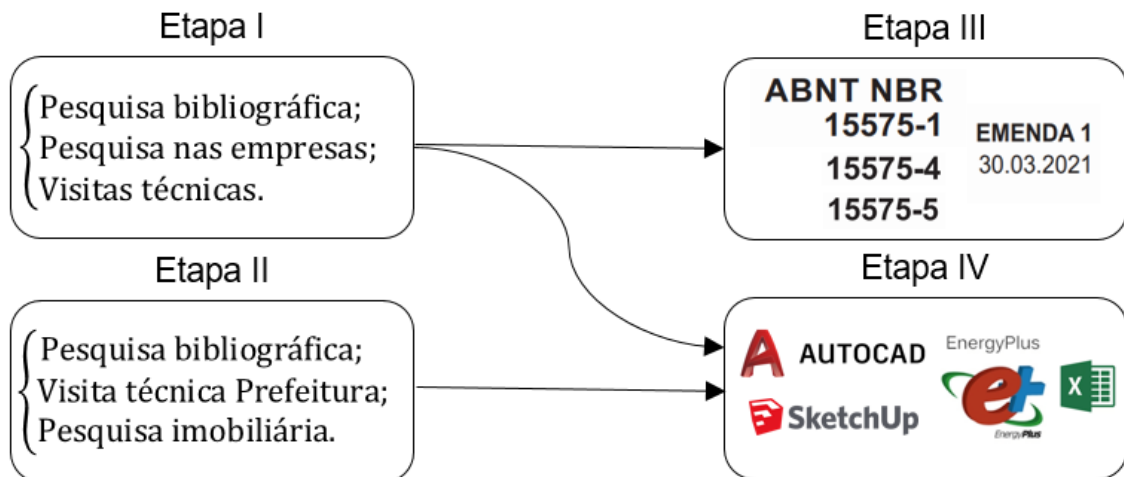
Para a realização dessas simulações computacionais, uma alternativa indicada é o software *Energypius*, pois, além de ser uma ferramenta de código aberto, o software cumpre com os critérios estipulados pela NBR 15575-1. Contudo, a elaboração do modelo tridimensional é mais facilmente executável por meio do *plug-in Euclid* para *Sketchup*. No programa de simulação computacional, são configuradas as propriedades térmicas dos materiais que compõem os sistemas construtivos. Esses dados estavam disponíveis na NBR 15220-2 (ABNT, 2008) contudo, a nova versão, (ABNT, 2022), não apresenta a tabela de propriedades térmicas dos materiais, o que dificulta a análise do desempenho térmico em território nacional.

Com base no exposto, foram definidas as estratégias adotadas para delimitação das tipologias de painéis CLT analisados; as características de arquitetura bioclimática para elaboração do modelo habitacional para simulação computacional; a escolha dos parâmetros de simulação com base na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a); o uso da NBR 15220-2 versão (ABNT, 2008) para obter os dados de propriedades térmicas dos materiais e os programas de simulação computacional.

4. METODOLOGIA

A metodologia empregada para alcançar os objetivos da pesquisa inclui quatro etapas: I. Características e tipologias de painéis CLT produzidos no Brasil, bem como a caracterização dos demais sistemas construtivos analisados; II. Escolha dos modelos habitacionais para simulação de desempenho térmico; III. Parâmetros para análise simplificada e simulação computacional de desempenho térmico estabelecidos NBR 15575 (ABNT, 2021); IV. Simulação computacional de desempenho térmico dos modelos habitacionais.

Figura 4.1. Etapas da pesquisa



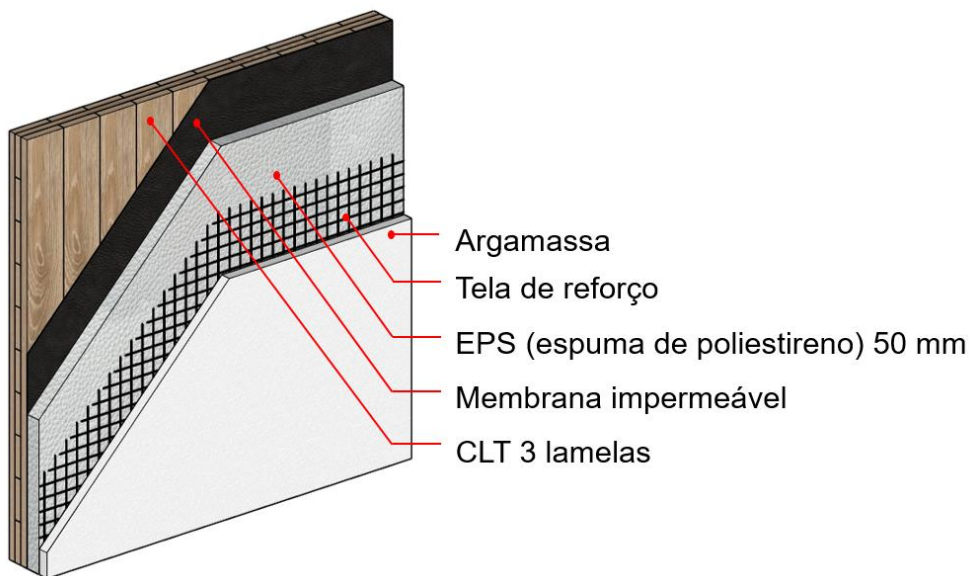
Fonte: A autora, 2022.

4.1. CARACERÍSTICAS E TIPOLOGIAS DE PAINÉIS CLT PRODUZIDOS NO BRASIL

Devido aos agentes de degradação descritos no item 3.3, não se indica a utilização do sistema construtivo CLT sem considerar o uso de algum tipo de proteção externa. Sendo assim, os painéis são revestidos com diferentes acabamentos, classificados como aderidos à madeira ou não aderidos. Os sistemas de revestimento não aderidos são aqueles que são fixados ao painel CLT por meio de barrotes. Caso o objetivo do projeto seja deixar a madeira aparente, indica-se utilizar o sistema não aderido, com a fixação de acabamento externo em madeira, dessa forma a estética das fachadas é garantida, sem comprometer a durabilidade da estrutura em CLT.

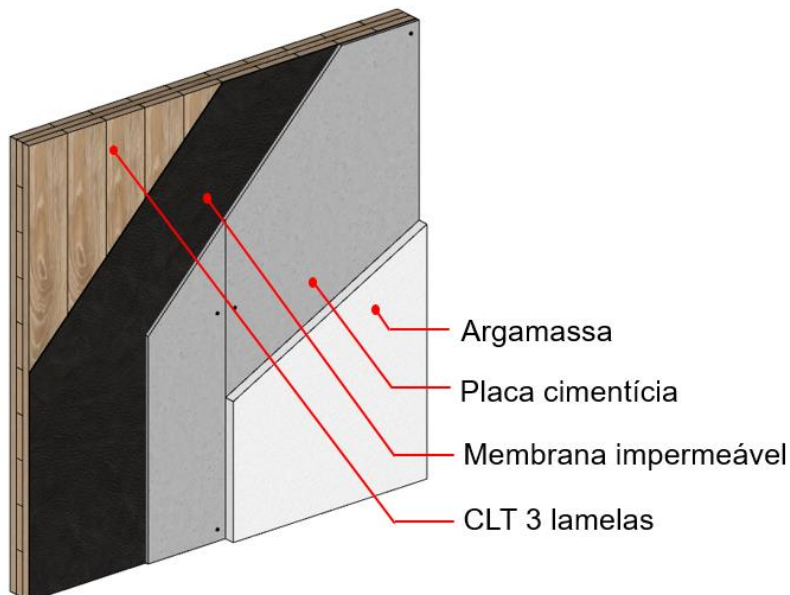
Um dos principais tipos de revestimento aderido utilizado nas edificações nacionais é o EIFS (*Exterior Insulation and Finish Systems*), que consiste na composição de várias camadas de materiais, cada uma com uma função de proteção específica, conforme apresentado no tópico 3.2. A Figura 4.2 apresenta as camadas que compõem esse sistema. Outra opção de sistema que pode ser aderido ou não aderido é o de revestimento com placas cimentícias, conforme apresentado na Figura 4.3.

Figura 4.2. Detalhamento sistema aderido EIFS



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.3. Detalhamento sistema aderido com placa cimentícia

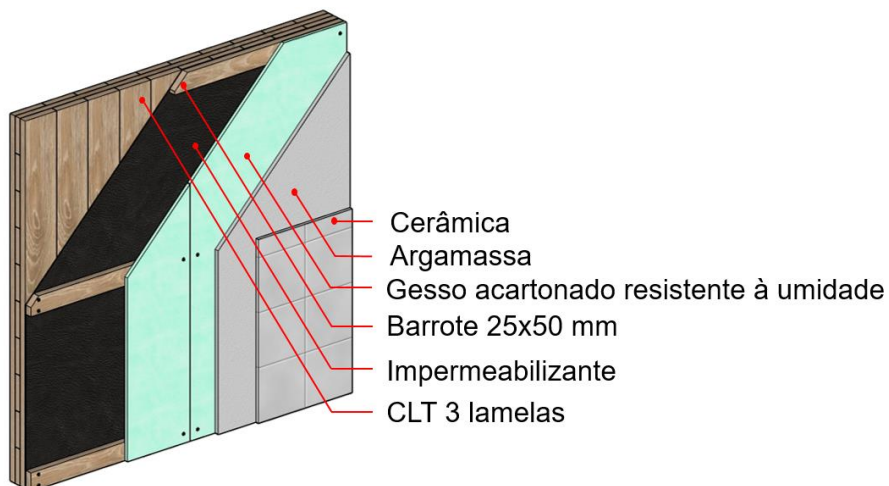


Fonte: A autora, 2022.

Nas paredes internas de ambientes úmidos, como banheiros, cozinhas e lavanderias, os painéis CLT são revestidos com uma camada de impermeabilização, placas cimentícias ou placas de gesso resistente a umidade e ainda, podem ser revestidos com acabamentos cerâmicos diversos.

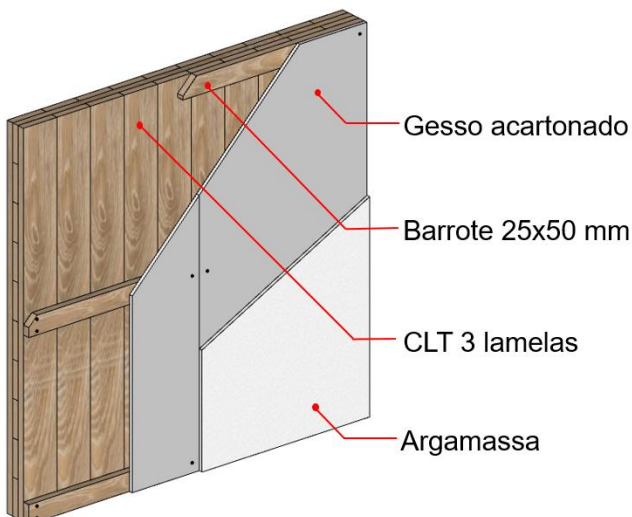
O revestimento de paredes internas de áreas secas não é necessário, contudo, Nunes et al. (2020) destacam que as mesmas acabam sendo revestidas com placas de gesso acartonado, para tornar a aparência mais familiar aos usuários, pois ainda existe resistência ao uso da madeira e de sistemas construtivos não convencionais no Brasil. As Figuras 4.4 e 4.5 apresentam o detalhamento das camadas das paredes internas de áreas úmidas e secas, respectivamente.

Figura 4.4. Detalhamento paredes internas sistema não aderido áreas úmidas



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.5. Detalhamento paredes internas sistema não aderido áreas secas



Fonte: A autora, 2022.

Para a realização das simulações computacionais de desempenho térmico, foram consideradas cinco tipologias de painéis para vedações verticais às quais compreendem os limites mínimo e máximo de espessura e as três principais espessuras do sistema de acordo com Oliveira (2018). Para o primeiro painel a ser simulado foram consideradas 3 lamelas de 19 mm, totalizando 57 mm de espessura; o segundo com 3 lamelas (20+40+20 mm), totalizando 80 mm de espessura; o terceiro com 5 lamelas de 19 mm, totalizando 95 mm de espessura; o quarto com 3 lamelas de 35 mm, totalizando 105 mm e o quinto com 7 lamelas (40+30+40+30+40+30+40 mm), totalizando 250 mm de espessura.

Quanto aos acabamentos externos, foram considerados o sistema EIFS e o de revestimento com placas cimentícias. Para as paredes internas, foi considerado o revestimento com gesso acartonado. Esses acabamentos externos e internos também foram considerados para o sistema *wood frame*, o qual foi elaborado com base nas configurações apresentadas por Espíndola (2018). Para completar a análise, foi simulado ainda um modelo em alvenaria convencional. Dessa forma, foram estabelecidos os sistemas de vedações verticais externos (SVVE) e internos (SVVI), conforme apresentado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Sistemas de vedações verticais externos e seus respectivos sistemas de vedações verticais internos

Código	Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE)	Código	Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI)
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm	SVVI 01	CLT 3 CLT 57 mm
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm	SVVI 02	CLT 3 CLT 80 mm
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm	SVVI 03	CLT 3 CLT 95 mm
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm	SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm	SVVI 05	CLT 3 CLT 250 mm
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	SVVI 06	<i>Wood Frame</i>
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm	SVVI 01	CLT 3 CLT 57 mm
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm	SVVI 02	CLT 3 CLT 80 mm
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm	SVVI 03	CLT 3 CLT 95 mm
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm	SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm	SVVI 05	CLT 3 CLT 250 mm
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	SVVI 06	<i>Wood frame</i>
SVVE 13	Alvenaria convencional	SVVI 07	Alvenaria convencional

Fonte: A autora, 2022.

Após a definição dos sistemas de vedações verticais, foram obtidas as propriedades térmicas de cada material que compõe as camadas dos sistemas, de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2008). A Tabela 4.2 apresenta os valores de espessura (e), densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) dos materiais. Ainda conforme a norma, foram calculadas a transmitância térmica (U), a resistência térmica (R) e a capacidade térmica (C) de cada elemento, também apresentados na Tabela 4.2. A resistência térmica da câmara de ar (R_{ar}) é dada pela norma, considerando a superfície de alta emissividade ($\epsilon > 0,8$), a espessura da câmara de ar ($2,0 < e \leq 5,0$ cm) e a direção do fluxo de calor na horizontal.

Tabela 4.2. Espessura e propriedades térmicas dos materiais que compõem as vedações verticais

Item	Material	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	U [W/(m ² .K)]	R [(m ² .K)/W]	C [kJ/(m ² K)]
1	Argamassa externa	0,0250	2000	1,150	1000	46,00	0,02	50,00
2	EPS	0,0500	18	0,040	1420	0,80	1,25	1,28
3	Painel CLT 57 mm	0,0570	525	0,150	1340	2,63	0,38	40,10
4	Painel CLT 80 mm	0,0800	525	0,150	1340	1,88	0,53	56,28
5	Painel CLT 95 mm	0,0950	525	0,150	1340	1,58	0,63	66,83
6	Painel CLT 105 mm	0,1050	525	0,150	1340	1,43	0,70	73,87
7	Painel CLT 250 mm	0,2500	525	0,150	1340	0,60	1,67	175,88
8	Gesso acartonado	0,0125	750	0,350	840	28,00	0,04	7,88
9	Argamassa interna	0,0100	2000	1,150	1000	115,00	0,01	20,00
10	OSB	0,0150	640	0,200	2300	13,33	0,08	22,08
11	Lã de rocha + estrutura em madeira	0,0500	22,69	0,058	751,76	1,16	0,86	0,85
12	Placa cimentícia	0,0100	1000	0,350	1000	35,00	0,03	10,00
13	Bloco cerâmico	0,0200	1600	0,900	920	5,72	0,17	58,94
14	Câmara de ar sem ventilação	0,0250	-	-	-	6,25	0,16	-

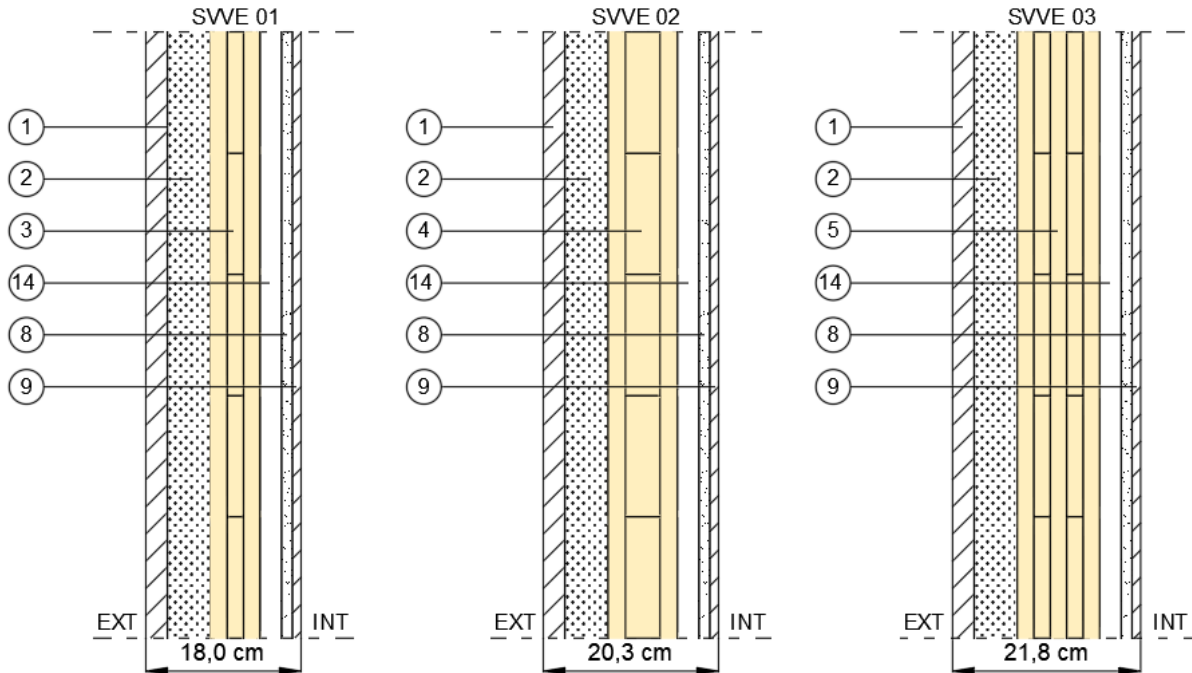
Fonte: Dados e cálculo com base em ABNT, 2008.

Os painéis de gesso acartonado podem ser fixados diretamente na estrutura em CLT ou serem fixados em barrotes para facilitar a passagem de tubulações hidráulicas ou elétricas, criando uma câmara de ar não ventilada. Como não há necessidade de barrotear as duas faces da parede, foi considerado o barroteamento em apenas uma das faces de cada parede a ser simulada, conforme apresentado nas figuras a seguir. As Figuras 4.6 e 4.7 apresentam as configurações de paredes externas com o sistema EIFS, as Figuras 4.8 e 4.9 as configurações de paredes externas com placas cimentícias e as Figuras 4.10 e 4.11 as configurações de paredes internas.

Legenda das Figuras 4.6 e 4.7

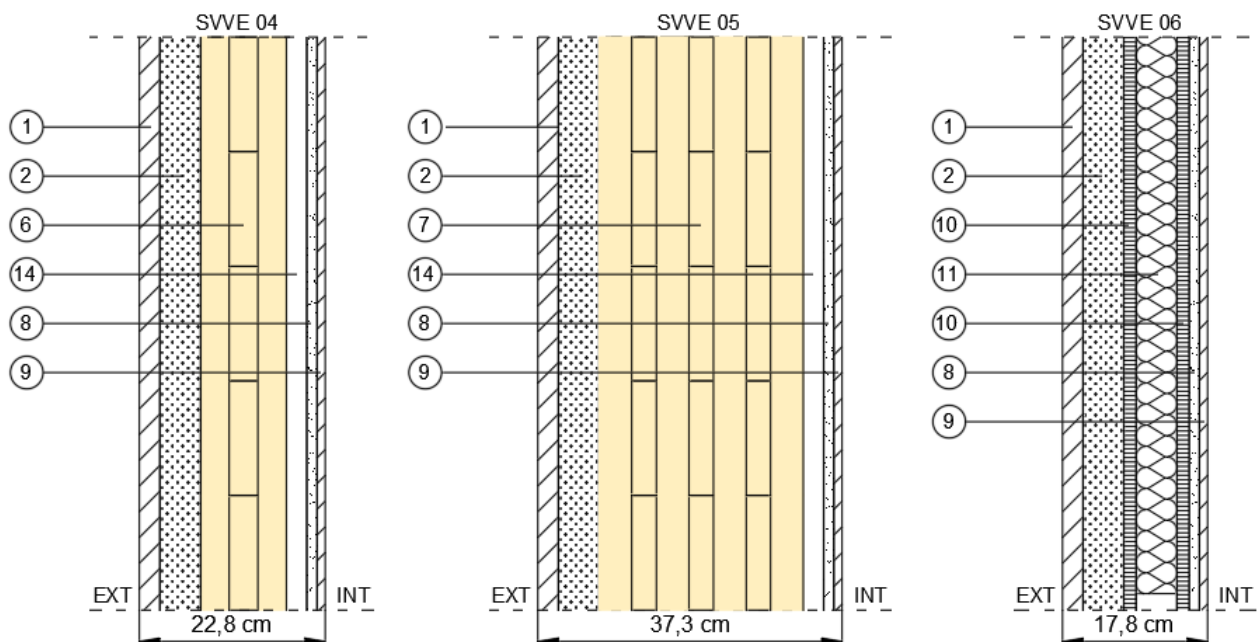
1 - Argamassa externa. 2 - EPS (espuma de poliestireno). 3 - Paineis CLT 57 mm. 4 - Paineis CLT 80 mm. 5 - Paineis CLT 95 mm. 6 - Paineis CLT 105 mm. 7 - Paineis CLT 250 mm. 8 - Gesso acartonado. 9 - Argamassa interna. 10 - OSB. 11 - Lã de rocha + estrutura em madeira. 14 - Câmara de ar sem ventilação.

Figura 4.6. Configuração para simulação de paredes externas sistema EIFS



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.7. Configuração para simulação de paredes externas sistema EIFS

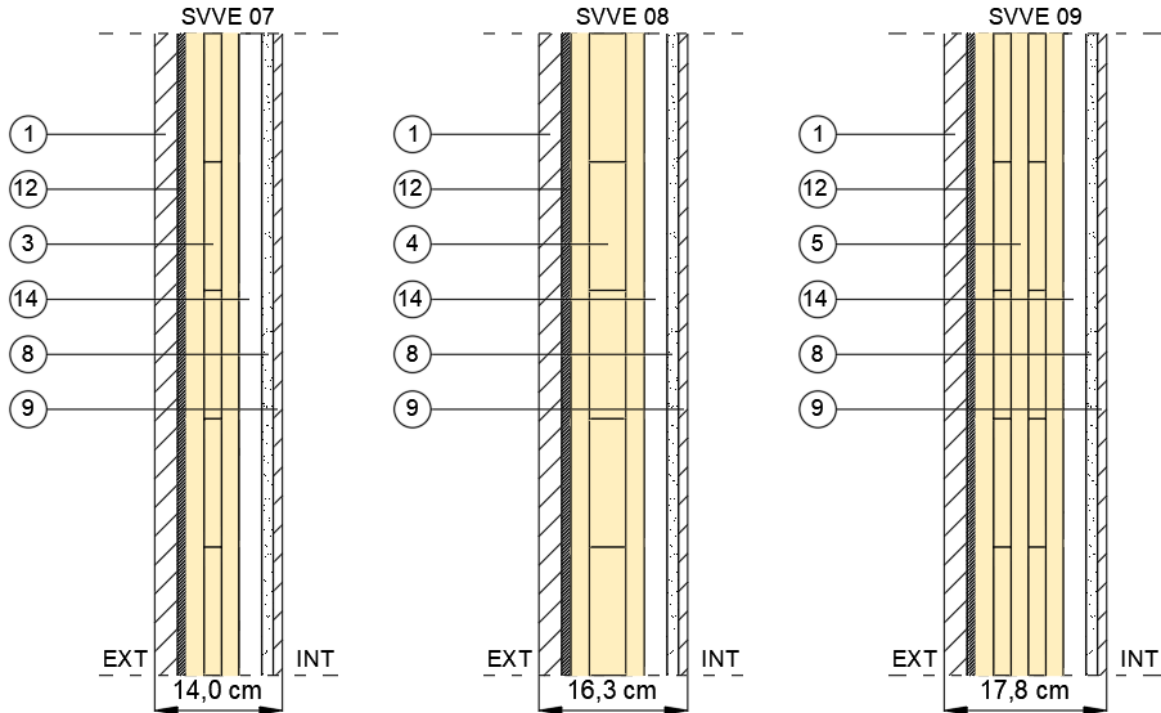


Fonte: A autora, 2022.

Legenda das Figuras 4.8 e 4.9

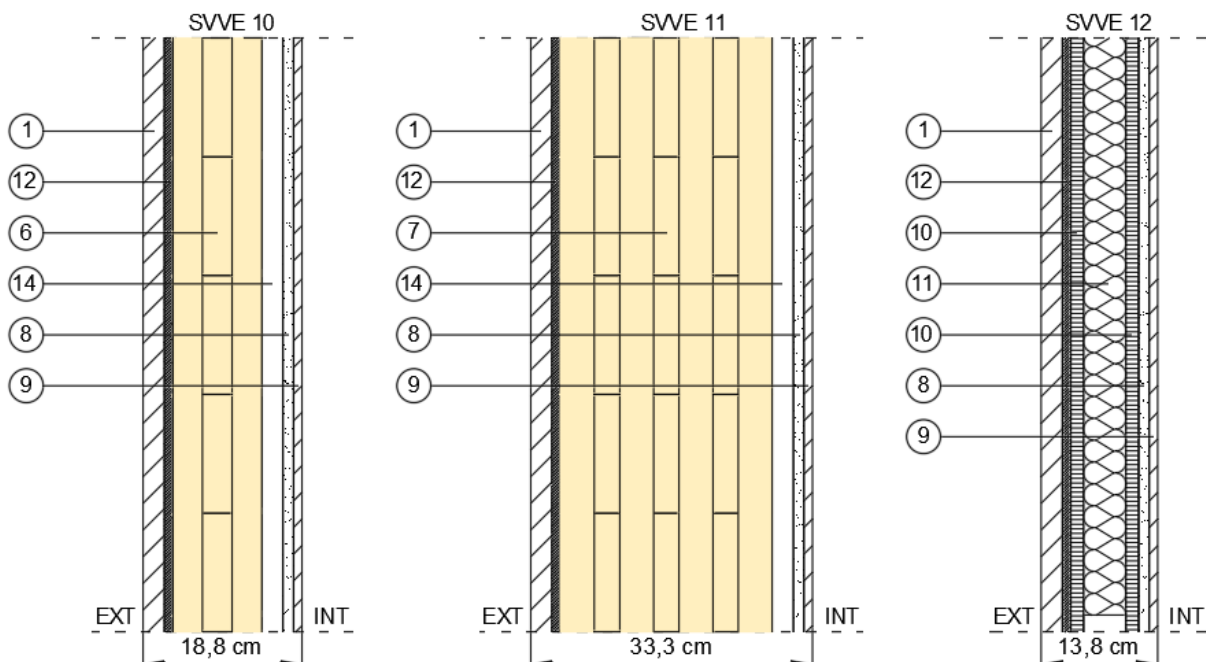
1 - Argamassa externa. 3 - Paineis CLT 57 mm. 4 - Paineis CLT 80 mm. 5 - Paineis CLT 95 mm. 6 - Paineis CLT 105 mm. 7 - Paineis CLT 250 mm. 8 - Gesso acartonado. 9 - Argamassa interna. 10 - OSB. 11 - Lã de rocha + estrutura em madeira. 12 - Placa cimentícia. 14 - Câmara de ar sem ventilação.

Figura 4.8. Configuração para simulação de paredes externas com placas cimentícias



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.9. Configuração para simulação de paredes externas com placas cimentícias

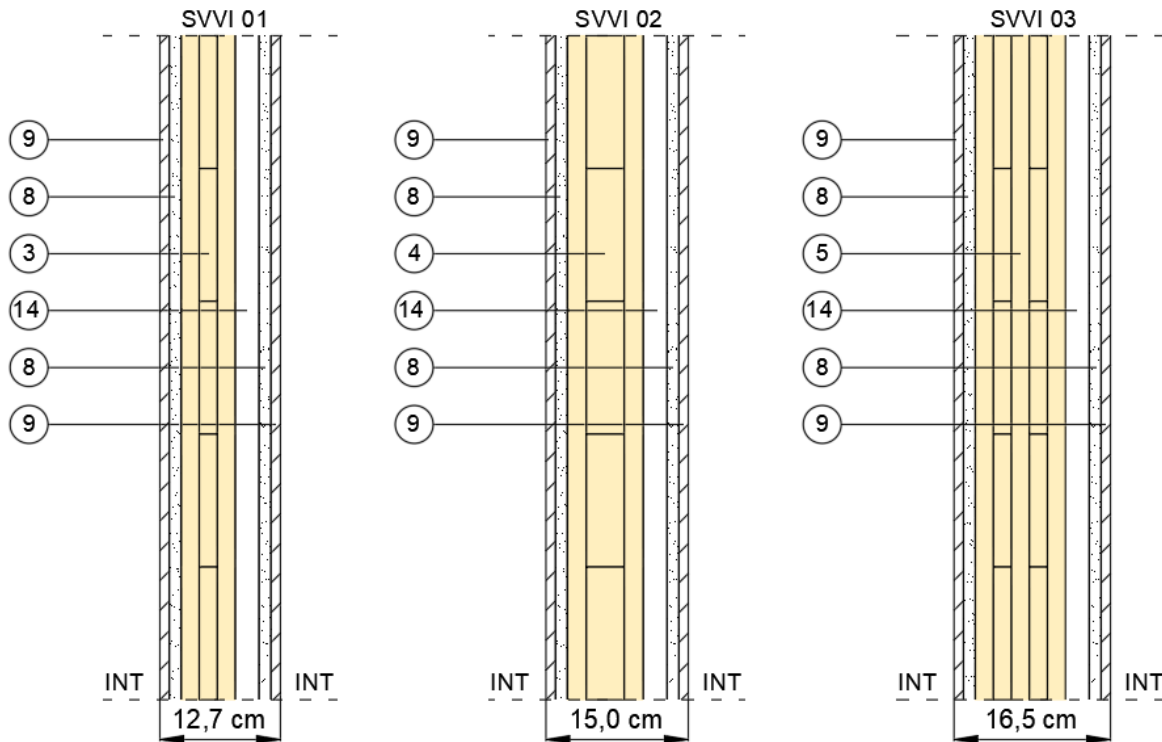


Fonte: A autora, 2022.

Legenda das Figuras 4.10 e 4.11

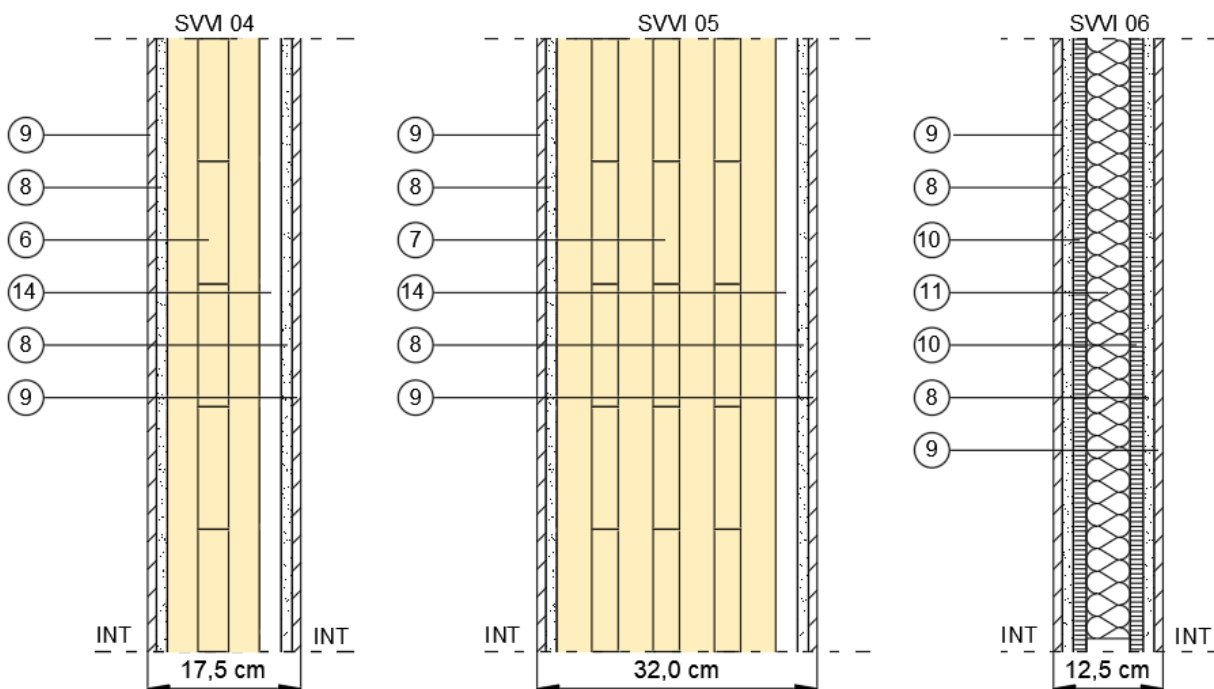
3 - Painel CLT 57 mm. 4 - Painel CLT 80 mm. 5 - Painel CLT 95 mm. 6 - Painel CLT 105 mm. 7 - Painel CLT 250 mm. 8 - Gesso acartonado. 9 - Argamassa interna. 10 - OSB. 11 - Lã de rocha + estrutura em madeira. 14 - Câmara de ar sem ventilação.

Figura 4.10. Configuração para simulação de paredes internas



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.11. Configuração para simulação de paredes internas



Fonte: A autora, 2022.

Vale destacar que tanto a tela de reforço quanto a membrana impermeabilizante não são consideradas para o cálculo de desempenho térmico dos sistemas em madeira.

A Figura 4.12 apresenta a configuração da parede em alvenaria convencional e a parede equivalente a ser simulada pelo software *Energyplus*. Como a configuração dos sistemas construtivos é feita por *layers* (camadas), não é possível inserir diferentes tipos de materiais na mesma camada. Sendo assim, faz-se necessário o cálculo das espessuras equivalentes do bloco cerâmico e da câmara de ar. Esse cálculo foi realizado com base no relatório publicado por Weber et al. (2017), onde é apresentada uma metodologia para caracterização dos componentes construtivos para simulação utilizando o software *Energyplus*.

O modelo do bloco cerâmico considerado foi o de seis furos (9x14x24 cm), com câmaras de ar, medindo 3x3,33 cm e a espessura da argamassa de assentamento de 1 cm, conforme apresentado na Figura 4.13. O resultado encontrado foi de 2 cm para a espessura do bloco cerâmico e 5 cm de espessura para a câmara de ar. Os cálculos detalhados estão explicitados no Apêndice I.

Figura 4.12. Configuração para simulação de paredes em alvenaria convencional

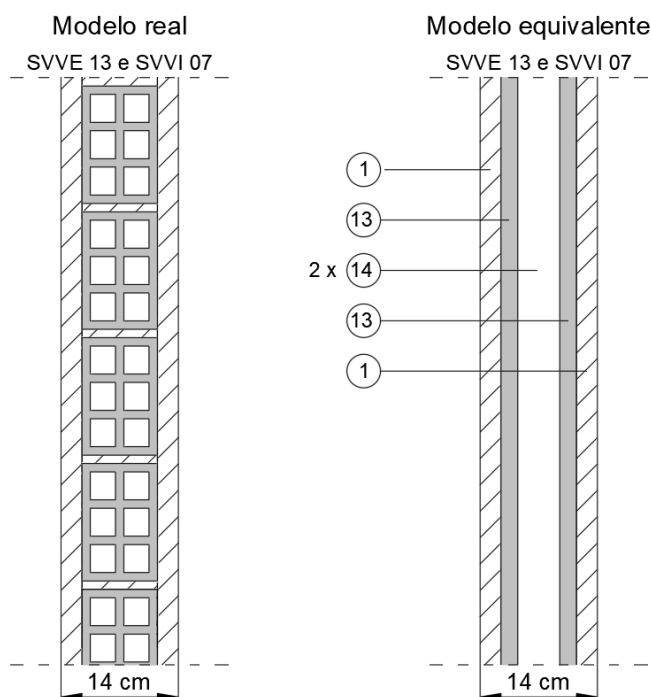
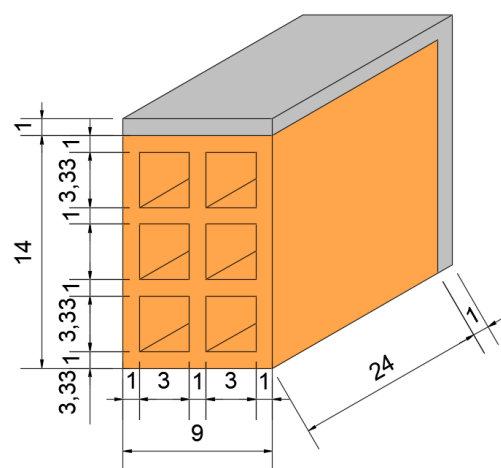


Figura 4.13. Dimensões do bloco cerâmico e da argamassa de assentamento (cm)



1 - Argamassa externa. 13 - Bloco cerâmico. 14 - Câmara de ar sem ventilação.

Fonte: A autora, 2022.

A NBR 15575-1 determina que sejam avaliadas as pontes térmicas nas vedações externas que compõe os ambientes, quando o coeficiente de transferência de calor de um elemento presente na superfície externa for maior que 20% do coeficiente de transferência de calor total da superfície (ABNT, 2021a).

Com base nessa informação, foram calculados os coeficientes de transferência de calor dos barrotes e da câmara de ar, nos sistemas de vedações verticais em CLT e os coeficientes de transferência de calor das estruturas em madeira e da lã de rocha nos sistemas de vedações verticais em *wood frame*. No caso dos SVVE em CLT, o coeficiente de transferência de calor dos barrotes ficou igual a 6,09% do coeficiente total da parede, enquanto que para o sistema em *wood frame* o coeficiente de transferência de calor da estrutura em madeira ficou igual a 38,65% do coeficiente total da parede. Os cálculos detalhados estão presentes no Apêndice II.

Sendo assim, semelhantemente ao cálculo da espessura equivalente de bloco cerâmico, foi calculada a parede equivalente dos SVVE e SVVI em *wood frame*. Os resultados obtidos das propriedades térmicas dessa parede equivalente foram apresentados na Tabela 4.2, e o cálculo detalhado está presente no Apêndice II.

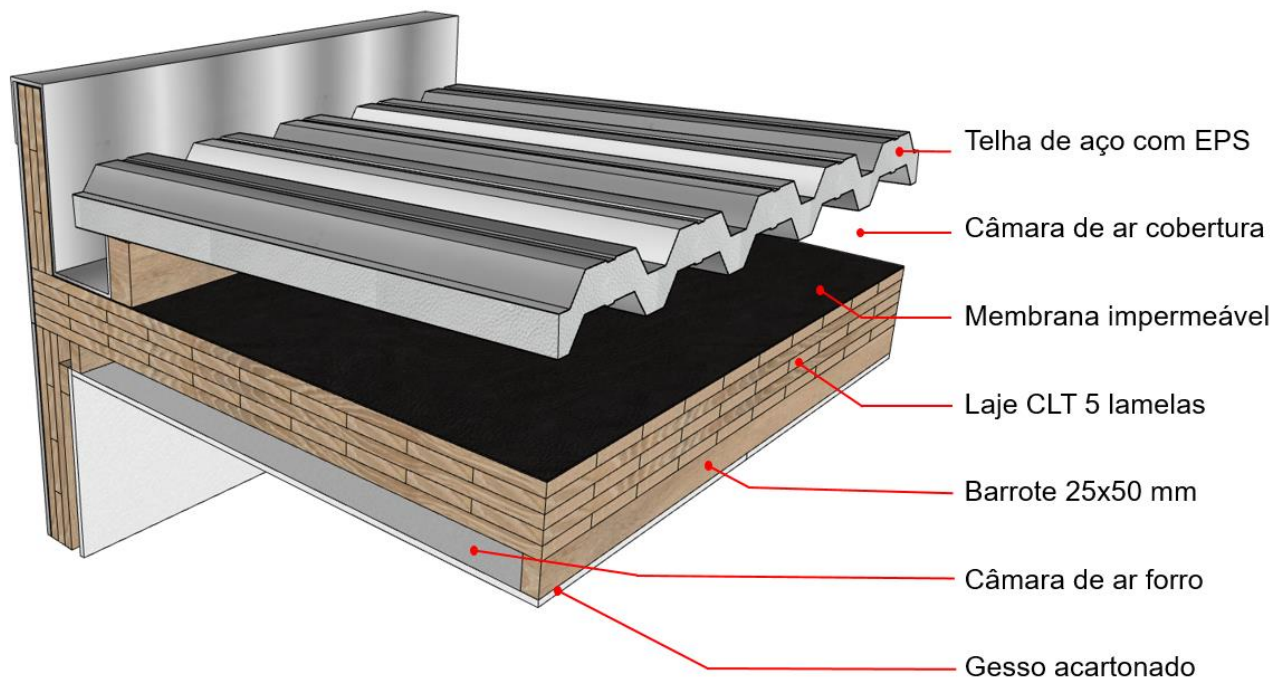
Após a definição das vedações verticais, foram definidas as tipologias de cobertura para cada sistema construtivo analisado. Como serão avaliados dois modelos habitacionais, os quais serão descritos no tópico 4.2, cada sistema construtivo (CLT, *wood frame* e alvenaria convencional) possui dois modelos de cobertura, sendo um com telhas cerâmicas e o outro com telhas de aço galvanizado com núcleo em poliestireno expandido (EPS). As camadas das coberturas serão:

- Telha (cerâmica ou metálica);
- Câmara de ar sem ventilação cobertura;
- Laje em CLT (no sistema CLT) ou estrutura em madeira + lã de rocha + OSB (sistema *wood frame*) ou laje de concreto (no sistema em alvenaria convencional);
- Câmara de ar sem ventilação forro;
- Gesso acartonado e
- Argamassa interna.

A Figura 4.14 ilustra o modelo de cobertura em CLT com telha metálica. A espessura mínima para lajes de cobertura em CLT é de 100 mm, porém, optou-se por considerar a espessura convencional mais utilizada (120 mm), conforme apontado por Oliveira (2018). Além disso, o SVVE 05 (EIFS CLT 250 mm) e o SVVE 11 (Placa cimentícia CLT 250 mm) foram simulados com laje de 250 mm para caracterizarem os limites máximos de espessura do sistema construtivo em CLT.

Para se obter uma comparação entre a influência das espessuras das lajes no desempenho térmico das edificações, os sistemas SVVE 04 (EIFS CLT 150 mm) e SVVE 10 (Placa cimentícia CLT 150 mm) foram simulados, considerando as duas espessuras de laje, ou seja, 120 mm e 250 mm. Vale ressaltar que assim como no caso das vedações verticais, não foram considerados o desempenho estrutural e o desempenho acústico dos painéis CLT, mas sim os limites de espessura desse sistema construtivo, para análise de desempenho térmico.

Figura 4.14. Detalhamento cobertura CLT

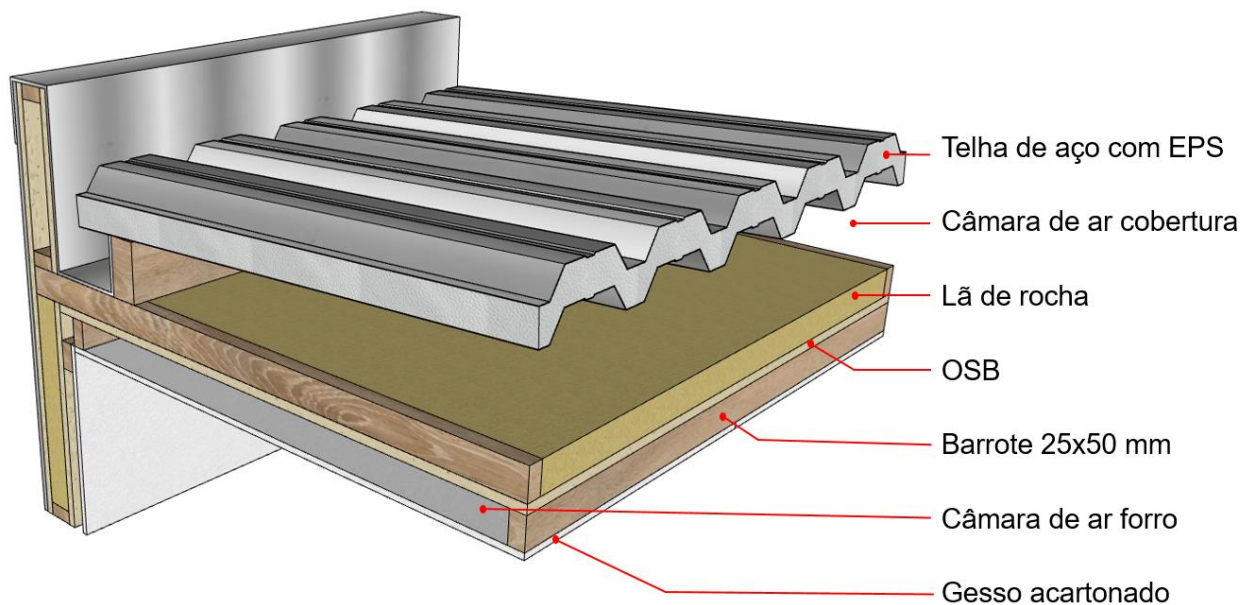


Fonte: A autora, 2022.

A Figura 4.15 ilustra a configuração de cobertura com telha metálica no sistema construtivo em *wood frame*. Assim como nos SVVE em *wood frame*, a cobertura desse sistema

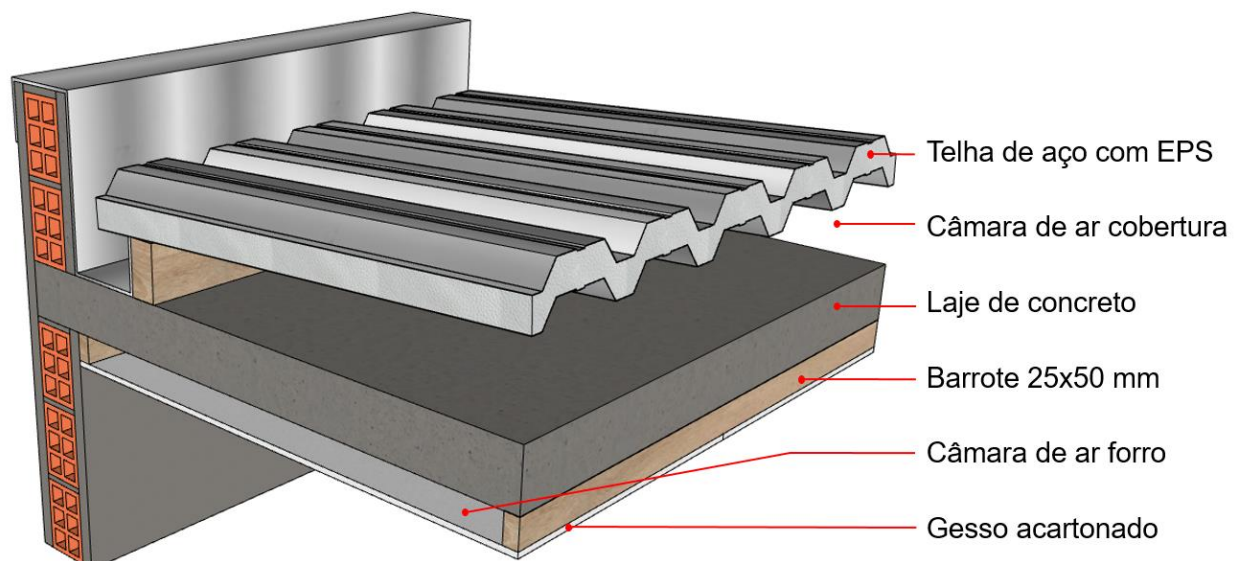
também considerou as propriedades térmicas da laje equivalente, composta pelos materiais “estrutura em madeira” + “lã de rocha” para não desprezar a presença das pontes térmicas exigida pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). A Figura 4.16 apresenta a cobertura com laje em concreto que será utilizada no sistema em alvenaria convencional. Essa laje em concreto exhibe as mesmas propriedades térmicas e espessura que a NBR 15575-1 estipula para o modelo de referência, o qual será apresentado no tópico. 4.3.

Figura 4.15. Detalhamento cobertura *wood frame*



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.16. Detalhamento cobertura alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

A Tabela 4.3 apresenta a espessura (e) dos materiais que compõe as camadas das coberturas e a densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c), de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

Ainda conforme a norma, foram calculadas a transmitância térmica (U), a resistência térmica (R) e a capacidade térmica (C) de cada elemento, também apresentado na Tabela 4.3. As resistências térmicas das câmaras de ar (R_{ar}) são dadas pela norma, considerando a superfície de alta emissividade ($\epsilon > 0,8$), a espessura da câmara de ar da cobertura ($> 5,0$ cm), a espessura da câmara de ar do forro de ($2,0 < e \leq 5,0$ cm) e a direção do fluxo de calor descendente.

Tabela 4.3. Espessura e propriedades térmicas dos materiais que compõe as coberturas

Item	Material	e [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	c [J/kgK]	U [W/(m ² .K)]	R [(m ² .K)/W]	C [kJ/(m ² K)]
1	Telha aço	0,0010	7800	55,00	460	55000,00	0,000018	3,59
2	Telha cerâmica esmaltada branca	0,0100	1600	0,900	920	90,00	0,01	14,72
3	EPS	0,0500	18	0,040	1420	0,80	1,25	1,28
4	Painel CLT 120 mm	0,1200	525	0,150	1340	1,25	0,80	84,42
5	Painel CLT 250 mm	0,2500	525	0,150	1340	0,60	1,67	175,88
6	Laje concreto	0,1000	2200	1,750	1000	17,50	0,06	220,00
7	Gesso acartonado	0,0125	750	0,350	840	28,00	0,04	7,88
8	Argamassa interna	0,0100	2000	1,150	1000	115,00	0,01	20,00
9	OSB	0,0150	640	0,200	2300	13,33	0,08	22,08
10	Lã de rocha + estrutura em madeira	0,0500	22,69	0,058	751,76	1,16	0,86	0,85
11	Câmara de ar sem ventilação cobertura	$> 0,0500$	-	-	-	4,76	0,21	-
12	Câmara de ar sem ventilação forro	$0,0200 < e \leq 0,0500$	-	-	-	5,56	0,18	-

Fonte: Dados e cálculos com base em ABNT, 2008.

Por fim, as paredes foram consideradas com absorvância à radiação solar $\alpha = 0,102$, considerando a aplicação de tinta Acrílica Fosca nº 50 (Branco Neve), conforme determinado por Dornelles (2008) e emissividade $\epsilon = 0,9$ (ABNT, 2008). Para a cobertura foi considerado o uso da telha de aço galvanizado com absorvância $\alpha = 0,25$ e emissividade $\epsilon = 0,25$ (ABNT, 2008) e a telha cerâmica esmaltada branca com absorvância $\alpha = 0,16$ (DORNELLES, 2021) e emissividade $\epsilon = 0,9$ (ABNT, 2008).

4.2. MODELOS HABITACIONAIS PARA SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO

Embora existam iniciativas como a do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) para disponibilizar modelos representativos de edificações adequadas ao clima, para simulações computacionais nos Estados Unidos, no Brasil isso ainda não está disponível. Em 2015 um grupo de pesquisa do CB3E publicou um relatório de levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros, com base em plantas baixas e memoriais descritivos disponíveis em sites de vendas de construtoras e/ou incorporadoras (TEIXEIRA et al; 2015). O objetivo comum dessas iniciativas e da definição do modelo para simulação térmica e energética do presente trabalho é obter um estudo de caso que seja representativo de uma tipologia residencial padrão do local de estudo, mas considerando a adoção de estratégias adequadas ao clima (arquitetura bioclimática).

Para essa definição, a primeira etapa incluiu a realização de uma entrevista com o desenhista sênior do Departamento de Projetos e Urbanismo da Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu - PR, Amauri Severo. As perguntas foram elaboradas com base no Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros do CB3E (TEIXEIRA et al., 2015), conforme apresentado no Apêndice III. A entrevista revelou que as tipologias arquitetônicas mais construídas atualmente em Foz do Iguaçu - PR são de habitações multifamiliares térreas geminadas para os programas de habitação popular e habitações unifamiliares em condomínios horizontais. Optou-se então, por simular um modelo de habitação popular, por ser a principal tipologia arquitetônica construída na cidade e um modelo que fosse representativo das habitações unifamiliares observadas em condomínios horizontais em Foz do Iguaçu - PR, considerando a aplicação de estratégias adequadas ao clima.

O projeto de habitação popular selecionado é o Residencial Foz do Iguaçu I, da Companhia de Habitação do Paraná (COHAPAR) pelo programa Casa fácil Paraná. Trata-se de habitações multifamiliares térreas geminadas, de 42 m² contendo: sala integrada à cozinha, dois quartos e um banheiro. A Figura 4.17 apresenta a planta das unidades habitacionais e a Figura 4.18 uma perspectiva da fachada principal.

Figura 4.17. Planta das casas geminadas à serem construídas em Foz do Iguaçu



Fonte: COHAPAR, 2021.

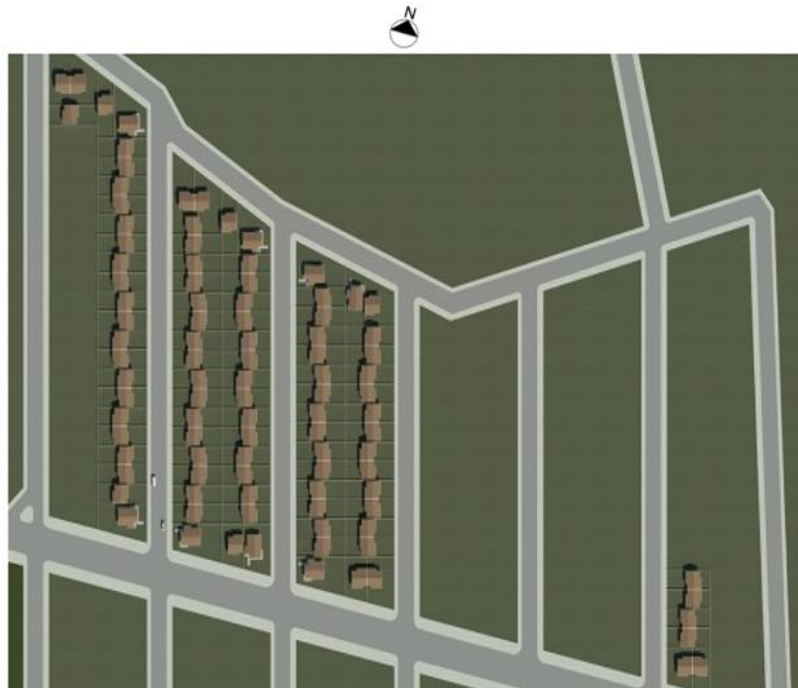
Figura 4.18. Perspectiva da fachada principal



Fonte: COHAPAR, 2021.

A estratégia de implantação das unidades habitacionais nos terrenos segue a proporção de 46% de unidades com a fachada principal voltada à leste, 35% à oeste, 11% à norte e 8% à sul, conforme apresentado na Figura 4.19. Considerando essa proporção, foi selecionada para análise de desempenho térmico uma unidade habitacional com fachada principal voltada à leste e com as fachadas norte e oeste expostas ao ambiente externo.

Figura 4.19. Implantação do conjunto habitacional no bairro Lagoa Dourada em Foz do Iguaçu



Fonte: COHAPAR, 2021.

Para a definição do segundo modelo habitacional, foram analisados 76 anúncios de imóveis nos seis condomínios citados na entrevista como sendo os principais em crescimento na cidade (Apêndice III). A Tabela 4.4 apresenta a distribuição dos anúncios por condomínio e as quantidades de sobrados; casas térreas; salas e cozinhas integradas; cozinhas e áreas de serviço integradas; salas com pé-direito duplo e coberturas com platibanda.

Tabela 4.4. Análise dos dados dos anúncios de imóveis

Condomínio	Quantidades						
	Anúncios	Sobrados	Térreas	Salas e cozinhas integradas	Cozinha e área de serviço integradas	Pé-direito duplo	Platibanda
Terras Alpha	35	26	9	22	0	17	35
Vila A Park	11	4	7	8	0	2	9
Arco de Paris	16	5	11	13	0	5	11
Arco di Roma	3	1	2	3	0	1	2
Leonardo da Vinci	11	1	10	11	0	2	11
Total	76	37	39	57	0	27	68
Porcentagens	100,00	48,68	51,32	75,00	0,00	35,53	89,47

Fonte: A autora, 2022.

A Tabela 4.5 apresenta a média dos números de quartos; suítes; banheiros e lavabos. Após a seleção dos dados, foi aplicado o teste de *Grubbs*, para identificar valores

aberrantes (*outliers*) para a área total da unidade habitacional (UH). A amostra foi considerada como uma distribuição normal com grau de liberdade de 95%.

Tabela 4.5. Média das áreas e do número de quartos, suítes, banheiros e lavabos das UHs

Condomínio	Médias				
	Área total da UH [m ²]	Número de quartos	Número de suítes	Número de banheiros	Número de lavabos
Terras Alpha	245,25	1,54	1,94	2,89	0,74
Vila A Park	259,54	1,27	2,09	2,82	0,82
Arco de Paris	320,56	1,44	1,88	2,75	0,50
Arco di Roma	519,41	0,00	3,33	4,67	1,00
Leonardo da Vinci	174,04	1,55	1,36	2,36	0,27
Média total	253,39	1,44	1,91	2,81	0,64

Fonte: A autora, 2022.

Após o teste, um anúncio foi eliminado da amostra, por apresentar área muito superior às demais unidades. A Tabela 4.6 apresenta os valores de média e desvio padrão das áreas totais das unidades habitacionais (UHs) antes e depois da aplicação do teste de *Grubbs*. O anúncio eliminado foi de uma UH térrea que apresentava área total de 758,00 m², após sua eliminação, pode - se observar que o desvio padrão diminuiu de 95,67 m² para 76,69 m².

Tabela 4.6. Média e desvio padrão dos anúncios antes e depois do teste de *Grubbs*

Antes do teste de Grubbs (76 anúncios)		Depois do teste de Grubbs (75 anúncios)	
Média [m ²]	Desvio Padrão [m ²]	Média [m ²]	Desvio Padrão [m ²]
260,03	95,67	253,39	76,69

Fonte: A autora, 2022.

Com o objetivo de comparar os resultados das simulações de desempenho térmico com a UH geminada, optou-se por criar um modelo de uma UH térrea para o padrão observado em condomínios. Além disso, a porcentagem de anúncios de UHs térreas (51,67%, valor corrigido após teste de *Grubbs*) foi sutilmente maior do que a de sobrados (49,33%, valor corrigido após teste de *Grubbs*).

Considerando os 38 anúncios de casas térreas, a maioria era composta por dois quartos (24 anúncios), uma suíte (24 anúncios), dois banheiros (24 anúncios) e não apresentava lavabo (22 anúncios). Assim como observado na Tabela 4.5, os anúncios de UHs térreas também apresentam maior proporção de salas e cozinhas integradas, cozinha e área de serviço não

integradas, ausência de pé-direito duplo nas salas e platibanda como acabamento das coberturas (Tabela 4.7). O desvio padrão dessa amostra foi de 60,21 m². No Apêndice IV essas informações estão organizadas por anúncio. A Tabela 4.8 apresenta as médias das áreas totais das UHs térreas por condomínio e a média total.

Tabela 4.7. Análise dos dados dos anúncios de casas térreas

Condomínio	Quantidades				
	Anúncios	Salas e cozinhas integradas	Cozinha e área de serviço integradas	Pé-direito duplo	Platibanda
Terras Alpha	9	7	0	4	9
Vila A Park	7	6	0	1	7
Arco de Paris	11	8	0	0	8
Arco di Roma	1	1	0	1	0
Leonardo da Vinci	10	10	0	2	11
Total	38	32	0	8	35
Porcentagem	100,00	84,21	0,00	21,05	92,11

Fonte: A autora, 2022.

Tabela 4.8. Média das áreas totais das UHs térreas

Condomínio	Média das áreas totais das UHs (m ²)
Terras Alpha	163,96
Vila A Park	218,43
Arco de Paris	272,56
Arco di Roma	330,00
Leonardo da Vinci	164,95
Média total	210,06

Fonte: A autora, 2022.

Esses dados serviram para estabelecer as características construtivas para elaboração do projeto da UH unifamiliar em condomínio, conforme resumo:

- UH térrea;
- 2 quartos;
- 1 suíte;
- 2 banheiros (um social e um da suíte);
- Sala e cozinha integradas;
- Cozinha e área de serviço separadas;
- Acabamento da cobertura em platibanda;
- Área total de 210,06 m².

Outros critérios utilizados para a elaboração do modelo habitacional foram as configurações de terrenos à venda em condomínios residenciais em Foz do Iguaçu - PR e a disposição dos ambientes na planta da edificação. Os terrenos em condomínio costumam ter no

mínimo 300 m² (12,0x25,0 m) quando posicionados no interior da quadra e 400,00 m² ou mais quando posicionados nas esquinas. As residências possuem garagem coberta para pelo menos dois carros, conforme ilustra a Figura 4.20 e geralmente terminam com uma área coberta com churrasqueira ou espaço gourmet integrados à área externa com piscina.

Figura 4.20. Mosaico de fachadas de anúncios de casas térreas à venda em Foz do Iguaçu - PR



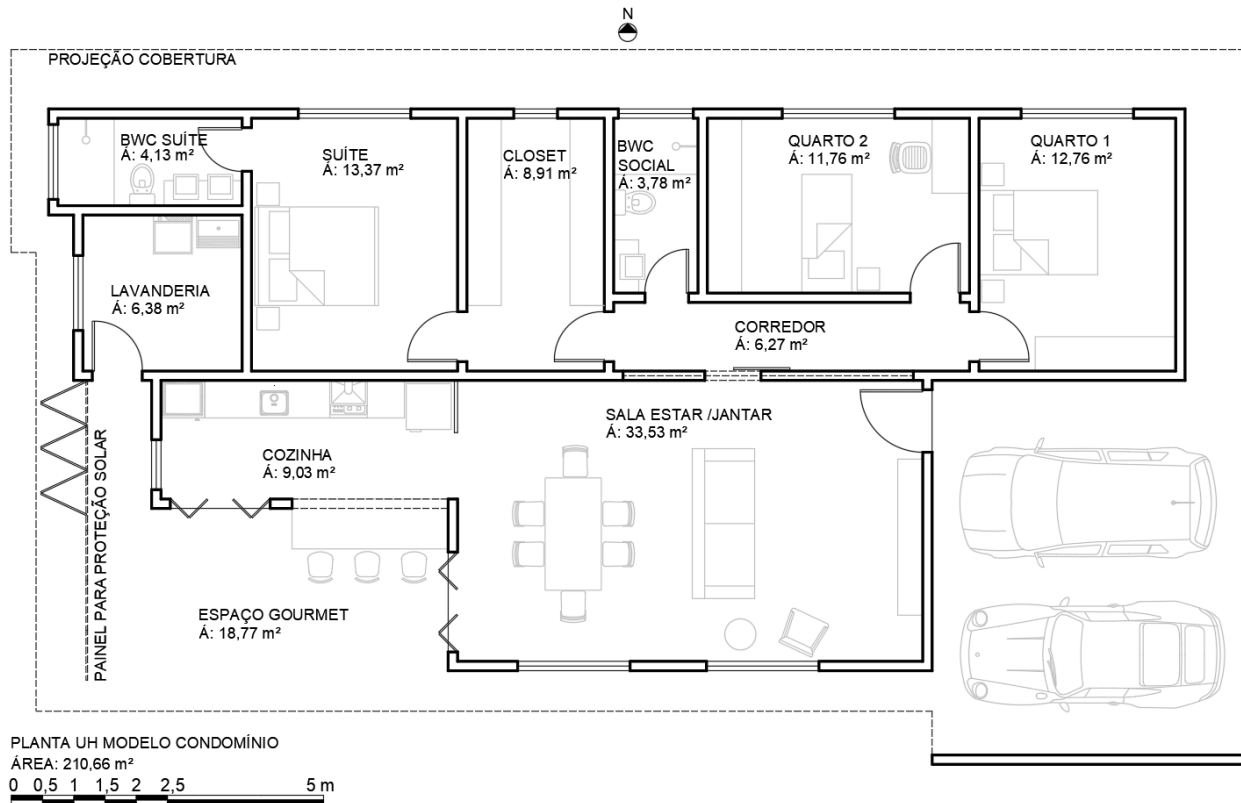
Fonte: Adaptado de CCIA Imóveis; Iguaçu Invest; MGA Assessoria Imobiliária; Sol Imóveis; WJ Negócios Imobiliários; Lobato Machado Imobiliária, 2022.

A Figura 4.21 apresenta a planta do modelo habitacional de UH em condomínio. Como trata-se apenas de um modelo para simulação de desempenho térmico, não foi considerada sua implantação em um terreno específico, embora as dimensões de terrenos citadas anteriormente tenham contribuído para definir o formato da planta da edificação.

Novamente, com o intuito de comparação com o modelo de UH geminada, foi considerada a mesma orientação solar para a fachada principal da UH em condomínio, ou seja, à leste. Os quartos foram posicionados à norte com beirais de 95 cm para maior proteção solar. A sala voltada à sul, com beiral de 65 cm e protegida pela cobertura da garagem na face leste (Figura 4.22).

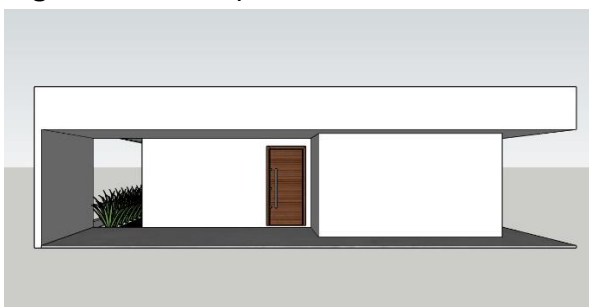
A cozinha predominantemente voltada à sul, protegida pela cobertura do espaço gourmet e um painel móvel para a proteção solar do espaço gourmet, conforme ilustrado na Figura 4.23.

Figura 4.21. Planta modelo habitacional de UH unifamiliar em condomínio



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.22. Perspectiva fachada leste



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.23. Perspectiva fachadas oeste e sul



Fonte: A autora, 2022.

A parede entre a sala e o corredor apresenta uma janela alta, de forma a proporcionar ventilação cruzada entre a sala e os quartos. Buscou-se posicionar predominantemente ambientes de permanência transitória voltados à oeste (banheiro suíte e lavanderia). Para diminuir a demanda por climatização artificial, o closet foi projetado como um ambiente separado da suíte. Essas estratégias foram utilizadas visando proporcionar maior conforto

térmico de maneira passiva e maior eficiência energética, quando o uso de ventilação natural não é suficiente para proporcionar conforto aos usuários.

Tendo em vista que o acabamento para a cobertura da UH em condomínio é em platibanda, enquanto que o telhado da UH geminada é aparente, optou-se por considerar o uso de telhas de aço para o modelo em condomínio (menor inclinação das telhas) e telha cerâmica para o modelo de UH geminada, conforme apresentado no tópico 4.1. Esses modelos habitacionais servirão como base para a realização das simulações computacionais de desempenho térmico, conforme será apresentado no tópico 4.4.

4.3. PARÂMETROS PARA ANÁLISE SIMPLIFICADA E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO TÉRMICO ESTABELECIDOS PELA NBR 15575 (ABNT, 2021)

De acordo com a NBR 15575-1, o desempenho térmico de uma unidade habitacional (UH) depende do clima da cidade, dos sistemas de vedações externas (paredes e coberturas), do tamanho das aberturas para ventilação, das áreas envidraçadas e das cargas térmicas produzidas pelas pessoas, equipamentos e iluminação (ABNT, 2021a).

Os ambientes que serão analisados da UH são os considerados como ambientes de permanência prolongada (APP), ou seja, sala de estar, sala de jantar, sala íntima, sala de TV, dormitórios, ou ambientes de usos similares. Embora a análise de desempenho térmico seja para os APP, os ambientes de permanência transitória (APT) como: banheiros; cozinhas; áreas de serviço; ou qualquer outro ambiente similar devem ser simulados. Além disso, nos modelos de UH multifamiliar geminada, as duas unidades habitacionais devem ser modeladas mesmo que a análise se aplique a apenas uma delas (ABNT, 2021a).

A norma estabelece dois métodos de avaliação, o procedimento simplificado e o procedimento de simulação computacional. O método simplificado avalia as características geométricas dos ambientes de permanência prolongada (APP) e as propriedades térmicas dos sistemas de vedações verticais e coberturas.

Conforme apontado no tópico 3.5, Foz do Iguaçu - PR está inserida na zona

bioclimática (ZB) 3, sendo assim, esse tópico apresentará todos os requisitos que a NBR 15575-4 (ABNT, 2021b) e 15575-5 (ABNT, 2021c) estabelecem para o desempenho térmico dos sistemas de vedações externas em função de sua classificação nessa zona bioclimática. Também serão abordados os critérios que a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) estipula para avaliação de desempenho térmico por meio de simulação computacional.

Os requisitos estabelecidos para as paredes externas são: transmitância térmica em função da absorvância à radiação solar, capacidade térmica, percentual de abertura para ventilação e a área de elementos transparentes. Para a ZB 3, a transmitância térmica das paredes externas deve ser $U_{par} \leq 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ (quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede for $\alpha_{par} \leq 0,6$) e $U_{par} \leq 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ (quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede for $\alpha_{par} > 0,6$) (ABNT, 2021b). Considerando a mesma ZB, a capacidade térmica total das paredes externas deve ser $C_{par} \geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$. Os sistemas construtivos que apresentem valores que não cumprem com esses limites devem ser avaliados por meio do procedimento de simulação computacional (ABNT, 2021b).

Quanto as aberturas, o percentual para ventilação ($P_{v,APP}$) deve ser $\geq 7\%$ da área do piso do ambiente de permanência prolongada ($A_{p,APP}$). O cálculo deve considerar a área efetiva de abertura para ventilação, desconsiderando as áreas de perfis e vidro. Já o cálculo da proporção de aberturas transparentes é separado em duas partes. A primeira considera a área do piso $A_{p,APP} \leq 20,0 \text{ m}^2$ e estipula que para esse caso o percentual de elementos transparentes deve ser $P_{t,APP} \leq 20\%$ da $A_{p,APP}$ (ABNT, 2021b). A segunda considera a $A_{p,APP} > 20,0 \text{ m}^2$ e estipula que a área de superfícies dos elementos transparentes deve ser $A_{t,APP} \leq 4,0 \text{ m}^2$. “Para a zona bioclimática 3 é permitido um percentual de aberturas transparentes maior que 20%, desde que sejam utilizados vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento horizontais nas aberturas” (ABNT, 2021b).

O critério estabelecido para a cobertura é a transmitância térmica em função da absorvância à radiação solar. A transmitância térmica da cobertura deve ser $U_{cob} \leq 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ (quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura for $\alpha_{cob} \leq 0,6$) e $U_{cob} \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ (quando a absorvância à radiação solar da superfície externa da cobertura for

$\alpha_{\text{cob}} > 0,6$). Além disso, para coberturas com telhas metálicas, a emitância térmica das telhas deve ser maior que 0,7 (ABNT, 2021c).

Os critérios estipulados para as propriedades térmicas dos elementos de vedação externos serão comparados com os resultados obtidos por meio dos cálculos propostos pela NBR 15220-2, para cada sistema construtivo analisado. No caso do não cumprimento de algum desses critérios, faz-se necessário utilizar o método da simulação computacional para análise de desempenho térmico dos sistemas (ABNT, 2021c).

O segundo método de avaliação de desempenho térmico apresentado pela NBR 15575-1 é o procedimento de simulação computacional. A primeira etapa é identificar em qual intervalo de temperatura externa se enquadra o clima da cidade analisada. Foz do Iguaçu - PR apresenta temperatura de bulbo seco média anual de $TBS_m = 21,5^\circ\text{C}$ (INMET, 2018). Dessa forma, se enquadra no intervalo 1 da norma ($TBS_m < 25^\circ\text{C}$) e fica estabelecida a faixa de temperatura operativa (T_o) entre $18,0^\circ\text{C} < T_{oAPP} < 26,0^\circ\text{C}$.

A segunda etapa é a elaboração de dois modelos, um que é denominado “modelo real” e representará as características da edificação a ser avaliada, ou seja, volumetria, percentuais de aberturas para ventilação e de elementos transparentes, propriedades térmicas dos sistemas construtivos e presença de elementos de sombreamento externos; e outro denominado “modelo de referência”.

O modelo de referência seguirá a mesma volumetria do modelo real, porém, com as propriedades térmicas dos sistemas construtivos de referência estabelecidos pela norma e alterando os percentuais de aberturas para ventilação e de elementos transparentes. O modelo de referência não deve considerar elementos de proteção solar fixos às fachadas, como beirais, brises e venezianas (ABNT, 2021a).

O modelo real e o de referência devem apresentar as mesmas características de: volume interno; áreas de superfícies expostas ao exterior; norte geográfico; área de piso total dos ambientes; divisão de ambientes e condição de contato com o solo. A análise do desempenho térmico da edificação será realizada por meio da comparação entre os resultados das simulações dos dois modelos (ABNT, 2021a).

O modelo real também deve analisar a presença de pontes térmicas na envoltória da edificação. Caso o sistema construtivo apresente algum material com coeficiente de transferência térmica maior que 20% do coeficiente de transferência térmica total da envoltória a ponte térmica deve ser considerada na modelagem. A norma apresenta no item 11.4.7.1 o procedimento para cálculo do coeficiente de transferência térmica (ABNT, 2021a).

Para o modelo de referência, ficam estabelecidos os critérios quanto à: espessura dos sistemas de vedações; densidade; condutividade térmica; calor específico; absorvância à radiação solar; emissividade de onda longa; resistência térmica e fator solar. A Tabela 4.9 apresenta as propriedades das paredes, pisos e coberturas estabelecidos para o modelo de referência (ABNT, 2021a).

Tabela 4.9. Propriedades térmicas de paredes, pisos e coberturas para o modelo de referência

Elemento	Espessura	Densidade	Condutividade Térmica	Calor Específico	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	
	[m]	[kg/m ³]	[W/m.K]	[J/kg.K]			
Paredes externas	0,1	2200	1,75	1000	0,58	0,9	
Paredes internas	0,1	2200	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	
Pisos	0,1	2200	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	
Coberturas	Telha	0,006	1700	0,65	840	0,65	0,9
	Laje	0,1	2200	1,75	1000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Entre a laje e as telhas deve-se considerar uma câmara de ar com resistência térmica de 0,21 (m².K)/W. Os elementos transparentes devem ter fator solar (FS) igual a 0,87, transmitância térmica igual a 5,70 W/(m².K) e corresponder a 17% da área de piso do ambiente de permanência prolongada ($A_{p,APP}$). As aberturas para ventilação devem ser iguais a 7,65% $A_{p,APP}$ e os perfis das esquadrias devem ter a absorvância à radiação solar $\alpha = 0,58$, a emissividade de onda longa $\varepsilon = 0,90$, a condutância térmica $U = 56,00$ W/(m².K) e largura de 50,00 mm (ABNT, 2021a).

A terceira etapa é a simulação dos modelos real e de referência considerando a condição de uso de ventilação natural. Para essa condição, devem ser estabelecidos o percentual

de horas de ocupação dos APP dentro da faixa de temperatura operativa ($PHFT_{APP}$) e as temperaturas operativas anuais máximas ($To_{máxAPP}$) e mínimas ($To_{mínAPP}$) de cada APP, considerando apenas os períodos de ocupação do APP. Conforme primeira etapa, a faixa de temperatura operativa estabelecida é de $18,0^{\circ}C < To_{APP} < 26,0^{\circ}C$. A partir desses valores deve-se determinar o $PHFT_{UH}$ e a $To_{máxUH}$ e a $To_{mínUH}$. O cálculo do $PHFT_{UH}$ é feito somando o $PHFT_{APP}$ de todas as APP e dividindo pela quantidade de APP. A $To_{máxUH}$ será o maior valor de $To_{máxAPP}$ encontrado entre os APP e a $To_{mínUH}$ será o menor valor de $To_{mínAPP}$ encontrado entre os APP (ABNT, 2021a).

O desempenho térmico das UHs é classificado em três níveis, de acordo com a NBR 15575-1. O primeiro é o nível mínimo (M) e todas as UHs devem atender aos requisitos de desempenho para esse nível. O segundo é o intermediário (I) e o terceiro é o superior (S), porém, o atendimento a esses níveis é facultativo. No nível mínimo é considerado apenas o uso de ventilação natural, o que de acordo com Krelling et al, (2020) permite a análise das estratégias bioclimáticas utilizadas na edificação; já nos níveis I e S é considerado também o uso de climatização artificial (ABNT, 2021a).

Para atender ao nível mínimo, o modelo real deve apresentar ao longo do ano um $PHFT_{UH, real}$ maior que 90% do obtido para o modelo de referência e ainda, a temperatura operativa anual máxima do modelo real ($To_{máxUH, real}$) deve ser menor ou igual a temperatura operativa anual máxima do modelo de referência, acrescida de $2^{\circ}C$ ($To_{máxUH, real} \leq To_{máxUH, ref.} + 2^{\circ}C$), e a temperatura operativa anual mínima do modelo real $To_{mínUH, real}$ deve ser maior ou igual a temperatura operativa anual mínima do modelo de referência, reduzido $1^{\circ}C$ ($To_{mínUH, real} \geq To_{mínUH, ref.} - 1^{\circ}C$) (ABNT, 2021a).

A quarta etapa serve para avaliação dos níveis intermediário e superior de desempenho térmico. Para isso, deve-se determinar o incremento do $PHFT_{UH, real}$ ($\Delta PHFT$) em relação ao $PHFT_{UH, ref}$ conforme tabelas 20 e 21 da norma ou ábaco e equações fornecidas pela norma para cada tipologia habitacional, ou seja, unifamiliar; multifamiliar térrea; multifamiliar pavimento tipo ou multifamiliar pavimento cobertura (ABNT, 2021a). Além disso, após as simulações considerando o uso de ventilação natural, deve-se realizar simulações considerando a condição sem ventilação natural para se obter as cargas térmicas para refrigeração e aquecimento dos APPs. A carga térmica total da UH ($CgTT_{UH}$) é o resultado da soma dos valores anuais de cargas térmicas

de refrigeração ($CgTR_{APP}$) e de aquecimento ($CgTA_{APP}$) de cada APP. As cargas térmicas só serão calculadas quando o APP estiver ocupado e fora dos limites de temperatura operativa, ou seja, $To_{APP} \leq 18,0^{\circ}C$ ou $To_{APP} \geq 26,0^{\circ}C$ (ABNT, 2021a).

A UH será classificada com nível I ou S de acordo com a porcentagem de redução das cargas térmicas totais (RedCgTT). Para qualquer valor de $PHFT_{UH,ref}$ para o nível superior ou $PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$ para o nível intermediário, é necessário obter a relação entre as cargas térmicas totais com a área total de piso das APP para determinar a RedCgTT mínima. A Tabela 4.10 apresenta os critérios mínimos para uma unidade habitacional multifamiliar térrea alcançar cada nível de desempenho térmico estabelecido pela norma e a Tabela 4.11 os critérios para uma unidade habitacional unifamiliar. A Tabela 4.12 apresenta uma síntese das etapas de avaliação de desempenho térmico de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Tabela 4.10. Critérios para classificação de desempenho térmico de uma UH multifamiliar (Térrea) conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Nível de desempenho	Critérios para determinar o nível de desempenho de UH multifamiliar (Térrea)	
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,real} > 0,9 \cdot PHFT_{UH,ref}$	
	$To_{máx,real} \leq To_{máx,ref} + 2^{\circ}C$	
	$To_{mín,real} \geq To_{mín,ref} - 1^{\circ}C$	
Intermediário (I)	$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	$\Delta PHFT_{mín} = 22 - 0,21 \cdot PHFT_{UH,ref}$ RedCgTT _{mín} = 0
	$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	$\Delta PHFT_{mín} = 0$ RedCgTT % $\begin{cases} \geq 15\% \text{ se } CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} < 100 \\ \geq 20\% \text{ se } CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} \geq 100 \end{cases}$
Superior (S)	$PHFT_{UH,ref} < 70\%$	$\Delta PHFT_{mín} = 22 - 0,21 \cdot PHFT_{UH,ref}$
	$PHFT_{UH,ref} \geq 70\%$	$\Delta PHFT_{mín} = 0$
	Para todos os valores de $PHFT_{UH,ref}$	RedCgTT % $\begin{cases} \geq 30\% \text{ se } CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} < 100 \\ \geq 40\% \text{ se } CgTT_{UH,ref} / Ap_{UH} \geq 100 \end{cases}$

LEGENDA:

$PHFT_{UH,real}$ = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real;

$PHFT_{UH,ref}$ = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência;

$\Delta PHFT_{mín}$ = percentual mínimo de incremento de horas dentro da faixa de temperatura operativa;

$To_{máx,real}$ = temperatura operativa máxima da unidade habitacional real;

$To_{mín,real}$ = temperatura operativa mínima da unidade habitacional real;

RedCgTT_{mín} = percentual mínimo de redução das cargas térmicas totais da unidade habitacional;

$CgTT_{UH,ref}$ = carga térmica total da unidade habitacional de referência;

Ap_{UH} = área de piso dos ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Tabela 4.11. Critérios para classificação de desempenho térmico de uma UH unifamiliar conforme NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Nível de desempenho	Critérios para determinar o nível de desempenho de UH unifamiliares	
Mínimo (M)	PHFT _{UH, real} > 0,9 . PHFT _{UH, ref.}	
	T _{O máx, real} ≤ T _{O máx, ref.} + 2°C	
	T _{O mín, real} ≥ T _{O mín, ref.} - 1 °C	
Intermediário (I)	PHFT _{UH, ref.} < 70 %	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} = 45 - 0,58 \cdot \text{PHFT}_{\text{UH, ref.}}$ RedCgTT _{mín} = 0
	PHFT _{UH, ref.} ≥ 70 %	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} = 0$ RedCgTT % $\begin{cases} \geq 17 \% \text{ se } \text{CgTT}_{\text{UH, ref.}} / \text{Ap}_{\text{UH}} < 100 \\ \geq 27 \% \text{ se } \text{CgTT}_{\text{UH, ref.}} / \text{Ap}_{\text{UH}} \geq 100 \end{cases}$
Superior (S)	PHFT _{UH, ref.} < 70 %	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} = 45 - 0,58 \cdot \text{PHFT}_{\text{UH, ref.}}$
	PHFT _{UH, ref.} ≥ 70 %	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} = 0$
	Para todos os valores de PHFT _{UH, ref.}	RedCgTT % $\begin{cases} \geq 35 \% \text{ se } \text{CgTT}_{\text{UH, ref.}} / \text{Ap}_{\text{UH}} < 100 \\ \geq 55 \% \text{ se } \text{CgTT}_{\text{UH, ref.}} / \text{Ap}_{\text{UH}} \geq 100 \end{cases}$

LEGENDA:

PHFT_{UH, real} = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real;

PHFT_{UH, ref.} = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência;

$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ = percentual mínimo de incremento de horas dentro da faixa de temperatura operativa;

T_{O máx, real} = temperatura operativa máxima da unidade habitacional real;

T_{O mín, real} = temperatura operativa mínima da unidade habitacional real;

RedCgTT_{mín} = percentual mínimo de redução das cargas térmicas totais da unidade habitacional;

CgTT_{UH, ref.} = carga térmica total da unidade habitacional de referência;

Ap, UH = área de piso dos ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Tabela 4.12. Etapas para procedimento de simulação computacional - NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Etapa I	Etapa II	Etapa III (OBRIGATÓRIA)	Etapa IV (FACULTATIVA)
Definição da faixa de temperatura operativa (To) a ser considerada:	Modelagem das unidades Habitacionais:	Análise das simulações na condição de ventilação natural para classificação com o nível mínimo de desempenho térmico:	Análise das simulações com e sem ventilação natural para classificação nos níveis intermediário ou superior de desempenho térmico:
Foz do Iguaçu-PR; TBSm = 21,5°C; Intervalo 1 (< 25,0°C); Faixa de To: 18,0°C < ToAPP < 26,0°C.	MODELO DE REFERÊNCIA: com as características e propriedades térmicas estabelecidas pela norma. MODELO REAL: com as características e propriedades térmicas da edificação a ser avaliada.	To máx, real ≤ To máx, ref. + 2°C To mín, real ≥ To mín, ref. - 1 °C	Calculo do $\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ de acordo com Tabelas 20 e 21 ou ábaco e equações fornecidas pela norma para cada tipologia habitacional
		Percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (18,0°C a 26,0°C) PHFT_{UH, real} > 90%PHFT_{UH, ref.}	Calculo da RedCgTT do modelo real em relação ao modelo de referência. Limites mínimos também estabelecidos de acordo com tipologia habitacional e nível de desempenho a ser alcançado.

Fonte: A autora, 2022.

4.4. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE DESEMPENHO TÉRMICO DOS MODELOS HABITACIONAIS

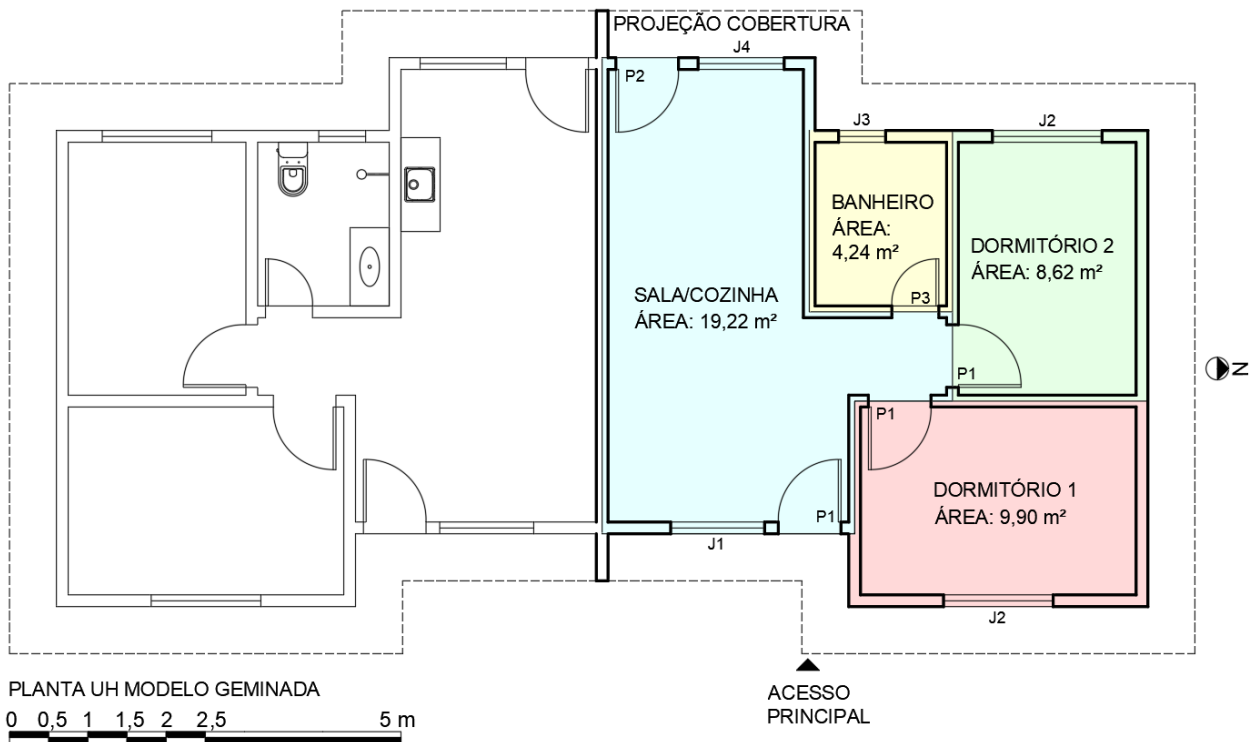
Conforme apresentado nos tópicos anteriores, foram modeladas duas unidades habitacionais. Uma denominada “UH multifamiliar geminada” e outra denominada “UH unifamiliar em condomínio”. Para cada UH serão considerados os “modelos reais” que representarão os sistemas construtivos a serem avaliados e um “modelo de referência” com as propriedades térmicas estabelecidas pela NBR 15575-1. Além disso, os critérios para análise de desempenho térmico das UHs são diferentes, conforme apresentado no tópico 4.3. Isso porque a UH geminada é considerada como um modelo habitacional multifamiliar térreo, enquanto que a UH em condomínio representa uma unidade unifamiliar (ABNT, 2021).

4.4.1. Modelo habitacional “UH multifamiliar geminada”

A modelagem da UH iniciou-se por meio do software *Autocad 2022*. O modelo de UH geminada escolhido para as simulações é o que representa o maior número de habitações construídas, ou seja, com a fachada principal voltada para leste. De acordo com a NBR 15575-1 as “fachadas em que a orientação solar variar de $-44,9^\circ$ a $+45^\circ$ em relação a direção de 90° são consideradas fachada leste” (ABNT, 2021a). Dessa forma, a UH selecionada é a que possui a fachada principal nessa orientação e as fachadas norte e oeste expostas ao ambiente externo, conforme apresentado na Figura 4.24.

A planta da UH está dividida em cinco zonas térmicas. A primeira é a Sala/Cozinha (azul), a segunda é o Dormitório 1 (vermelha), a terceira é o Dormitório 2 (verde), a quarta é o Banheiro (amarelo) e a quinta é a Cobertura. Optou-se por considerar a volumetria da cobertura para posicionar os beirais de maneira correta em relação às fachadas. As três primeiras zonas térmica são as APPs e as duas últimas são APT. Após a definição das zonas térmicas, a UH foi modelada no software *Sketchup 2017* por meio do *plug-in Euclid 9.4.3*, considerando o pé-direito do piso até o forro de 2,50 m de altura.

Figura 4.24. Planta do modelo de UH multifamiliar geminada



Fonte: A autora, 2022.

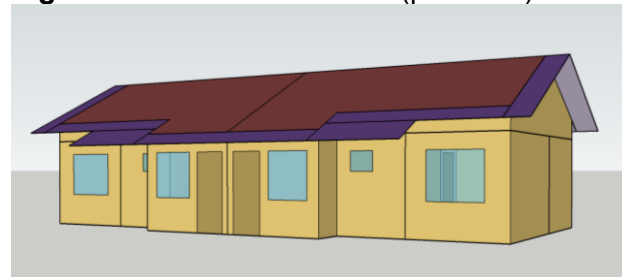
As Figuras 4.25 e 4.26 apresentam o modelo real (com beirais). A única diferença na volumetria do modelo de real em relação ao modelo de referência é que o primeiro possui beirais de 60 cm, que se configuram como proteções solares, pois a NBR 15575-1 orienta considerar elementos de proteção solar apenas no modelo real (ABNT, 2021a).

Figura 4.25. Fachadas leste (principal) e norte



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.26. Fachadas oeste (posterior) e sul



Fonte: A autora, 2022.

Embora a NBR 15575-1 (ABNT, 2021) estabeleça as porcentagens de aberturas para ventilação e de áreas transparentes para o modelo de referência, esses critérios foram considerados iguais aos dos modelos reais, de modo que os resultados das simulações refletissem apenas a influência dos diferentes sistemas construtivos e dos elementos de sombreamento

externo. A Tabela 4.13 apresenta os tipos de abertura da UH. As porcentagens de abertura para ventilação das janelas foram calculadas com base nos modelos apresentados no Anexo II do RTQ-R (2012).

Como a área útil de piso do Dormitório 2 é $A_p = 7,3 \text{ m}^2$, o percentual de área transparente desse APP ficou $> 20\%$ da área do piso (22,9%). Conforme apresentado no tópico 4.3, para a ZB 3 é permitido um percentual de aberturas transparentes maior que 20%, desde que sejam utilizados vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento horizontais nas aberturas (ABNT, 2021b). Ainda que este critério se aplique a análise por meio de procedimento simplificado, optou-se por considerar a substituição dos vidros da edificação, entendendo que esses elementos interferem de maneira substancial no desempenho térmico das vedações verticais.

Tabela 4.13. Tipos de aberturas da UH multifamiliar geminada

Abertura	Altura [m]	Largura [m]	Materiais	Modelo
P1	2,10	0,80	Madeira	Porta de abrir
P2	2,10	0,80	Alumínio	Porta de abrir
P3	2,10	0,60	Madeira	Porta de abrir
J1	1,50	1,20	Igual o modelo de referência	Janela de duas folhas de correr de 1,20 m de altura por 0,60 m de largura + uma folha fixa de 0,30 m de altura por 1,20 m de largura
J2	1,20	1,40	Igual o modelo de referência	Janela de duas folhas de correr de 1,20 m de altura por 0,60 m de largura
J3	0,60	0,50	Igual o modelo de referência	Janela pivotante
J4	1,20	1,10	Igual o modelo de referência	Janela de duas folhas de correr de 1,20 m de altura por 0,55 m de largura

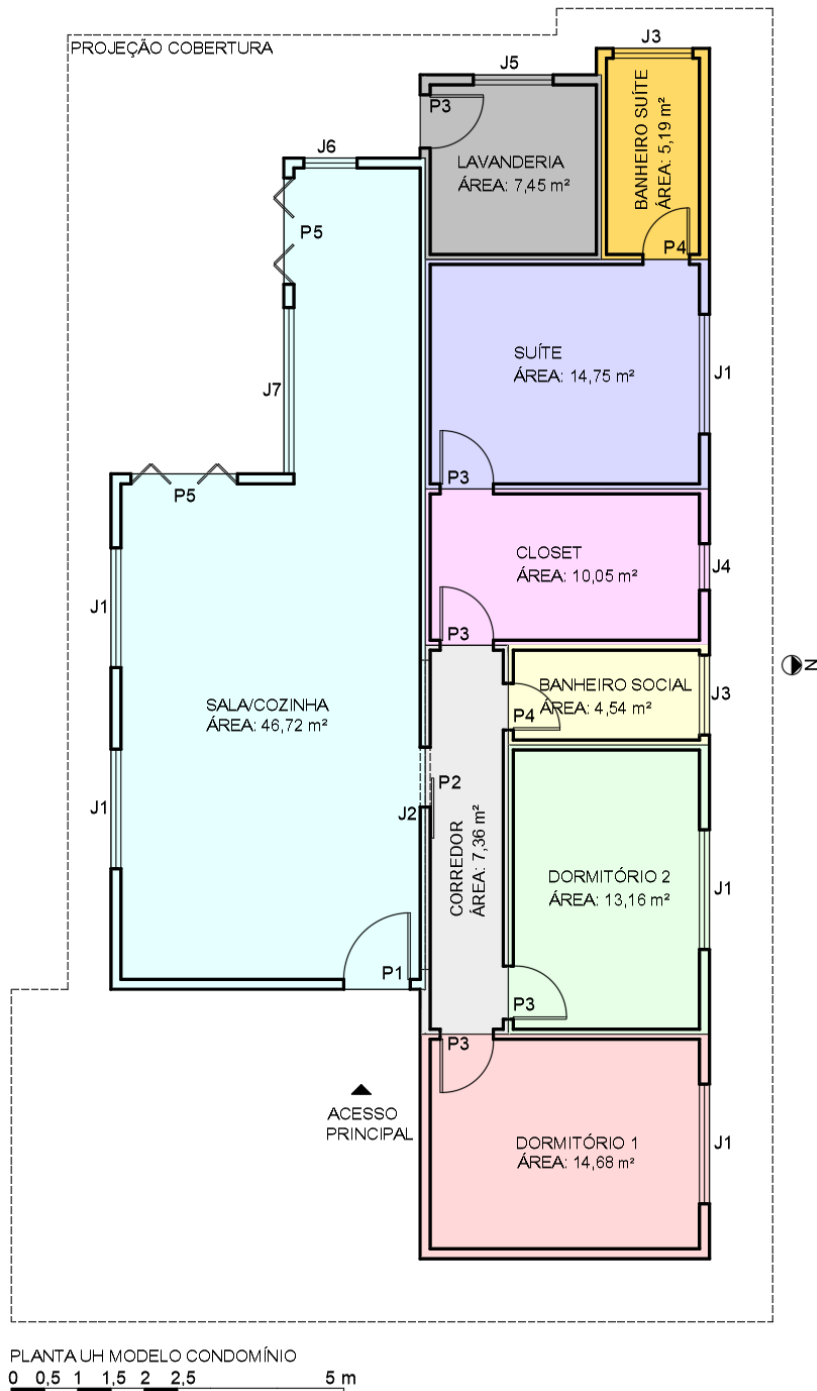
Fonte: A autora, 2022.

Com base nos sistemas de vedações verticais apresentados no tópico 4.1, e na substituição dos vidros padrão da norma por vidros que serão apresentados no tópico 4.4.3, foram simulados 31 modelos, sendo: 1 o modelo de referência e 30 os “modelos reais” representando os sistemas construtivos a serem avaliados. Ao todo foram realizadas 62 simulações: 31 considerando o uso de ventilação natural e 31 considerando a condição sem ventilação natural. Os resultados foram analisados a serão apresentados nos tópicos 5.2.1 e 5.3.1.

4.4.2. Modelo habitacional “UH unifamiliar em condomínio”

A modelagem da UH iniciou-se por meio do software *Autocad 2022*. O modelo de UH unifamiliar em condomínio possui a mesma orientação solar do modelo de UH multifamiliar geminada, conforme apresentado na Figura 4.27.

Figura 4.27. Planta do modelo de UH unifamiliar em condomínio



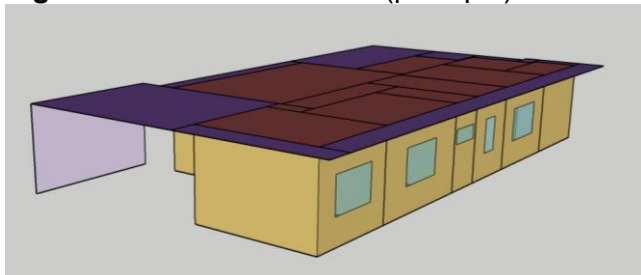
Fonte: A autora, 2022.

A planta da UH está dividida em nove zonas térmicas: a primeira é a Sala/Cozinha (azul); a segunda é o Corredor (cinza claro); a terceira é o Dormitório 1 (vermelha); a quarta é o Dormitório 2 (verde); a quinta é o Banheiro social (amarelo); a sexta é o *Close*t (rosa); a sétima é a Suíte (roxo); a oitava é o Banheiro da Suíte (laranja) e a nona a lavanderia (cinza escuro).

Nesse caso, optou-se por não considerar a volumetria da cobertura, pois os beirais não estão inclinados em relação às fachadas. As zonas térmicas consideradas como APPs são a Sala/Cozinha, os Dormitórios 1 e 2 e a Suíte, as demais são APTs. Após a definição das zonas térmicas, a UH foi modelada no software *Sketchup* 2017 por meio do *plug-in Euclid* 9.4.3, considerando o pé-direito do piso até o forro de 3,00 m de altura.

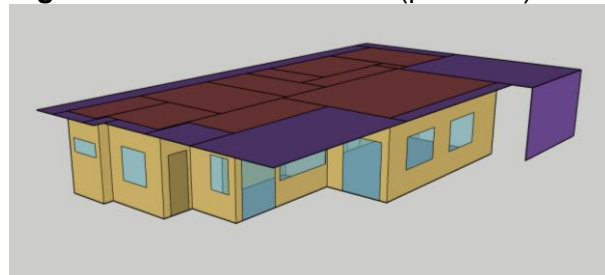
As Figuras 4.28 e 4.29 apresentam o modelo real (com beirais e coberturas da garagem e do espaço gourmet). A única diferença na volumetria do modelo real em relação ao modelo de referência é que o primeiro possui elementos de proteção solar (beirais e coberturas da garagem do espaço gourmet), enquanto que o modelo de referência não as possui, conforme orientação da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Figura 4.28. Fachadas leste (principal) e norte



Fonte: A autora, 2022.

Figura 4.29. Fachadas oeste (posterior) e sul



Fonte: A autora, 2022.

Embora a NBR 15575-1 (ABNT, 2021) estabeleça as porcentagens de aberturas para ventilação e de áreas transparentes para o modelo de referência, esses critérios foram considerados iguais aos dos modelos reais, de modo que os resultados das simulações refletissem apenas a influência dos diferentes sistemas construtivos e dos elementos de sombreamento externo. A Tabela 4.14 apresenta os tipos de abertura da UH. As porcentagens de abertura para ventilação das janelas foram calculadas com base nos modelos apresentados no Anexo II do RTQ-R (2012).

Como a área útil de piso da Sala/Cozinha é $A_p = 42,6 \text{ m}^2$, a área máxima de elementos transparentes deveria ser $\leq 4,0 \text{ m}^2$, de acordo com a NBR 15575-4. No entanto a área de elementos translúcidos ficou a $16,6 \text{ m}^2$. Nesse caso, é permitido uma área maior de aberturas transparentes, desde que sejam utilizados vidros de alto desempenho ou elementos de sombreamento horizontais nas aberturas e que atendam aos critérios estabelecidos nas Tabelas 17 e 18 da norma (ABNT, 2021b). Ainda que este critério se aplique a análise por meio de procedimento simplificado, optou-se por considerar a substituição dos vidros da edificação, entendendo que esses elementos interferem de maneira substancial no desempenho térmico das vedações verticais.

Tabela 4.14. Tipos de aberturas da UH unifamiliar em condomínio

Abertura	Altura [m]	Largura [m]	Material	Modelo
P1	2,10	1,00	Madeira	Porta de abrir
P2	2,10	0,90	Madeira	Porta de correr
P3	2,10	0,80	Madeira	Porta de abrir
P4	2,10	0,70	Madeira	Porta de abrir
P5	2,10	1,60	Igual o modelo de referência	Porta camarão 4 folhas de 2,10 m de altura por 0,40 m largura
J1	1,20	1,80	Igual o modelo de referência	Janela de duas folhas de correr de 1,20 m de altura por 0,60 m de largura + uma folha fixa de 0,30 m de altura por 1,20 m de largura
J2	0,35	4,65	Igual o modelo de referência	Janela pivotante 5 folhas de 0,35 m de altura por 0,93 m de largura
J3	0,50	1,20	Igual o modelo de referência	Janela pivotante duas folhas de 0,50 de altura por 0,60 m de largura
J4	1,20	0,70	Igual o modelo de referência	Janela máximo ar 1,20 m de altura por 0,70 m de largura
J5	1,20	1,20	Igual o modelo de referência	Janela duas folhas de correr de 1,20 m de altura por 0,60 m largura
J6	1,20	0,80	Igual o modelo de referência	Janela máximo ar 1,20 m de altura por 0,80 m de largura
J7	1,20	2,50	Igual o modelo de referência	Janela quatro folhas de correr e abrir de 1,20 m de altura por 0,625 m largura

Fonte: A autora, 2022.

Com base nos sistemas de vedações verticais apresentados no tópico 4.1, e na substituição dos vidros padrão da norma por vidros que serão apresentados no tópico 4.4.3, foram simulados 31 modelos, sendo: 1 o modelo de referência e 30 os “modelos reais” representando os sistemas construtivos a serem avaliados. Ao todo foram realizadas 62 simulações: 31 considerando o uso de ventilação natural e 31 considerando a condição sem ventilação natural. Os resultados foram analisados a serão apresentados nos tópicos 5.2.2 e 5.3.2.

4.4.3. Configurações para simulação computacional dos modelos

Após a modelagem das zonas térmicas, as propriedades dos materiais e as configurações que serão apresentadas nesse tópico foram inseridas na interface do software *Energyplus* 9.3. Optou-se por utilizar essa versão do programa, pois, o plug-in *Euclid* informa que sua última versão (9.4.3) foi desenvolvida para essa versão específica do *Energyplus*. Foram inseridos dados referentes aos materiais; sistemas construtivos; trocas de calor com o solo; agendas de uso e ocupação; cargas internas de pessoas, equipamentos e iluminação; controle de aberturas para ventilação; *setpoint* para uso de sistemas de climatização artificial; dados de saída dos resultados das simulações e propriedades térmicas dos vidros utilizados.

Os pisos das UHs foram configurados na mesma forma para todos os modelos e seguindo as propriedades que a norma estabelece para o modelo de referência. Conforme apresentado no tópico 4.3, a absorptância a radiação solar e a emissividade de onda longa das paredes internas, dos pisos e das lajes devem ser as mesmas em ambos os modelos (real e de referência). Sendo assim, as paredes internas seguirão os valores apresentados no tópico 4.1, ou seja, $\alpha = 0,102$ e $\varepsilon = 0,90$ e os pisos e as lajes em concreto foram considerados com $\alpha = 0,50$ e $\varepsilon = 0,9$.

As trocas de calor entre o piso e o solo foram simuladas pelo método de cálculo *Finite Difference*, configurando no objeto *Site:GroundDomain:Slab* a condutividade térmica $\lambda = 1 \text{ W/m.K}$, a densidade $\rho = 1250 \text{ kg/m}^3$ e o calor específico $c = 1200 \text{ J/kg.K}$ do solo (ELI, et al., 2019). Além disso, foram utilizados como referência os arquivos de simulação modelo (residência unifamiliar – modelo de referência), disponibilizados no site do LabEEE para avaliação do desempenho térmico conforme os novos procedimentos da NBR 15575-1 (LabEEE, 2020).

A modelagem da ocupação e das cargas internas segue as diretrizes da NBR 15575-1: “O padrão de ocupação, o calor dissipado por cada ocupante e a fração radiante devem ser os mesmos para todos os dias do ano, incluindo finais de semana”. Serão consideradas nas cargas internas a contribuição de pessoas, equipamentos e iluminação, de acordo com valores estabelecidos pela norma para cada tipo de APP (ABNT, 2021a).

Em termos de perfil de ocupação, nos dormitórios são consideradas duas pessoas (100% de ocupação) e nenhuma pessoa (0% de ocupação). Na sala/cozinha, são consideradas quatro pessoas (100% de ocupação), duas pessoas (50% de ocupação) e nenhuma pessoa (0% de ocupação). A Tabela 4.15 apresenta a taxa metabólica e a fração radiante para os usuários e a Tabela 4.16 apresenta os padrões de ocupação diários dos APPs (ABNT, 2021a).

Tabela 4.15. Taxa metabólica e fração radiante para os usuários

Ambiente	Período de uso	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal [W/m ²]	Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m ² de área de superfície corporal [W]	Fração radiante
Dormitório	00:00 - 07:59 e 22:00 - 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
Sala	14 - 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Tabela 4.16. Padrões de ocupação diários dos APP

Horário	Ocupação	
	Dormitório [%]	Sala [%]
00:00 - 07:59	100	0
08:00 - 13:59	0	0
14:00 - 17:59	0	50
18:00 - 21:59	0	100
22:00 - 23:59	100	0

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Assim como o padrão de ocupação, a *schedule* de iluminação artificial e o uso de equipamentos devem ser iguais para todos os dias do ano, incluindo finais de semana. A Tabela 4.17 apresenta a densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para os sistemas de iluminação e a Tabela 4.18 apresenta o padrão de iluminação artificial dos APPs. Já a Tabela 4.19 apresenta os períodos de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para equipamentos dos APPs, conforme estipulado pela NBR 15575-1. Pode-se observar que a sala é o único APP que deve considerar o uso de equipamentos (ABNT, 2021a).

Tabela 4.17. Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema de iluminação artificial

Ambiente	DPI [W/m ²]	Fração radiante	Fração visível
Dormitório	5	0,32	0,23
Sala	5	0,32	0,23

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Tabela 4.18. Padrão de uso do sistema de iluminação artificial dos APP

Horário	Iluminação	
	Dormitório [%]	Sala [%]
00:00 - 05:59	0	0
06:00 - 07:59	100	0
08:00 - 15:59	0	0
16:00 - 21:59	0	100
22:00 - 23:59	100	0

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

Tabela 4.19. Período de uso, densidade de cargas interna e fração radiante para equipamentos dos APP

Ambiente	Período de uso	Potência [W]	Fração radiante
Sala	14:00 - 21:59	120	0,30

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

O controle das aberturas para ventilação natural deve considerar os períodos de ocupação do APP e ser acionado quando a temperatura de bulbo seco interna do APP for $\geq 19^{\circ}\text{C}$ e quando a temperatura de bulbo seco interna do APP for superior à temperatura de bulbo seco externa. Deve-se considerar as infiltrações por frestas nas janelas e portas, quando fechadas. No banheiro, a janela é considerada sempre aberta, com percentual de abertura para ventilação igual ao estabelecido em projeto.

A Tabela 4.20 apresenta os coeficientes de fluxo de ar por frestas, o expoente de fluxo de ar e o coeficiente de descarga para portas e janelas (ABNT, 2021a). As portas internas dos modelos simulados com uso de ventilação natural devem ser consideradas abertas, exceto a porta do banheiro. As portas externas devem ser consideradas fechadas e com infiltração por frestas o ano inteiro. A porta de acesso à área de serviço será operada de acordo com as janelas. Para os modelos simulados sem o uso de ventilação natural, todas as portas e janelas devem ser consideradas fechadas durante todo o ano, com exceção da janela do banheiro.

Tabela 4.20. Parâmetros da ventilação natural para portas e janelas nos APP e APT

Parâmetros	Portas	Janelas
Coeficiente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada (kg/(s.m))	0,0024	0,0063
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,63
Coeficiente de descarga (C_d) da abertura (adimensional)	0,60	0,60

Fonte: Adaptado de ABNT, 2021a.

As temperaturas de *setpoint* para o cálculo das cargas térmicas de refrigeração e

de aquecimento são 23°C e 21°C respectivamente e o sistema de climatização artificial deve ser considerado ideal (ABNT, 2021a).

De acordo com a norma, os dados de saída da simulação devem ser solicitados para as 8.760 horas do ano. Deve-se obter os $PHFT_{APP}$ de cada APP, bem como os valores de $To_{máx,APP}$ e $To_{mín,APP}$, durante os períodos de ocupação. No modelo sem uso de ventilação natural deve-se solicitar as cargas térmicas para refrigeração e para aquecimento de cada APP durante os períodos de ocupação (ABNT, 2021a).

Quanto aos vidros utilizados nas simulações, utilizou-se o vidro que a norma especifica para o modelo de referência, denominado nesse trabalho como “vidro 3 mm padrão da norma”. Considerando isso, os resultados obtidos da maior parte dos sistemas construtivos para o critério de $\Delta PHFT$ dos modelos ficou abaixo do necessário para que pudessem alcançar os níveis intermediário ou superior de desempenho térmico quando aplicados ao clima de Foz do Iguaçu - PR, conforme será apresentado nos tópicos 5.2.1 e 5.2.2.

Diante disso, optou-se por considerar a substituição de um vidro com fator solar elevado ($FS = 0,87$) por um significativamente menor ($FS = 0,31$). A Tabela 4.21 apresenta as características do vidro padrão da norma e do vidro selecionado para substituí-lo. O vidro escolhido foi o “Cool-Lite SKN Verde” da fabricante CEBRACE, publicado no anexo da portaria INMETRO Nº 50/2013 (INMETRO, 2015) e denominado nesse trabalho “vidro verde”.

Tabela 4.21. Características dos vidros utilizados nas simulações

Características		Vidros	
		Padrão da norma	Vidro verde
e (mm)	Espessura	3,000	8,000
Tsol	Transmitância à radiação solar (incidência normal)	0,837	0,200
Rsol1	Refletância à radiação solar na face 1 (incidência normal)	0,075	0,360
Rsol1	Refletância à radiação solar na face 2 (incidência normal)	0,075	0,160
Tvis	Transmitância à radiação solar no espectro visível (incidência normal)	0,898	0,460
Rvis1	Refletância à radiação visível na face 1 (incidência normal)	0,081	0,180
Rvis2	Refletância à radiação visível na face 2 (incidência normal)	0,081	0,170
Emis1	Emissividade em onda longa na face 1	0,840	0,840
Emis2	Emissividade em onda longa na face 2	0,840	0,840
λ (W/mK)	Condutividade térmica	0,900	1,000
U (W/m ² K)	Transmitância térmica	5,700	5,700
FS	Fator solar (incidência normal)	0,870	0,310

Fonte: LabEEE, 2020, ABNT, 2021a e INMETRO, 2015.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados da pesquisa, sintetizados nos seguintes tópicos:

- a) O cálculo das propriedades térmicas dos sistemas construtivos, de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2008), para comparação com os critérios estabelecidos pelas NBR 15575-4 (ABNT, 2021b) e NBR 15575-5 (ABNT, 2021c) para a zona bioclimática 3;
- b) As simulações computacionais dos sistemas construtivos propostos, por meio dos modelos das unidades habitacionais, com o uso do software *Energyplus*;
- c) As simulações computacionais dos sistemas construtivos propostos, tais como no tópico b, porém, considerando melhorias nos vidros das aberturas, baseadas nas análises do tópico c.

5.1. RESULTADOS DOS CÁLCULOS DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Considerando as propriedades térmicas apresentadas na NBR 15220-2 (ABNT, 2008), foram calculadas a transmitância térmica (U), a resistência térmica (R) e a capacidade térmica (c) de cada sistema de vedação, para os materiais que compõem os sistemas de vedações. A metodologia de cálculo utilizada também está especificada na NBR 15220-2 (ABNT, 2008).

A Tabela 5.1 apresenta resumidamente os requisitos para vedações verticais externas estabelecidas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021b) para a zona bioclimática 3, conforme detalhado no tópico 4.3. Tendo em vista que foi considerada a absorvância $\alpha = 0,102$ (ou seja, $\leq 0,6$), todos os sistemas de vedações verticais atendem com folga ao requisito de transmitância térmica. Destaca-se, porém, que o sistema construtivo em alvenaria convencional não atenderia a tal requisito caso se considerasse uma absorvância solar $\alpha > 0,6$.

Além disso, na Tabela 5.1 são apresentadas a transmitância térmica, a resistência térmica e a capacidade térmica para os sistemas de vedações verticais internos. Embora esses sistemas não sejam considerados na metodologia de análise simplificada, tais valores foram calculados de modo a explicitar a diferença nas propriedades térmicas dos sistemas de vedação internos e externos, em conformidade com o descrito no tópico 4.1.

Tabela 5.1. Propriedades térmicas dos sistemas de vedações verticais externas e internas

Código	Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE)	U	R _T	C	C*
		[W/(m ² .K)]	[(m ² .K)/W]	(NBR 15220-2) [kJ/(m ² .K)]	(NBR 15575-4) [kJ/(m ² .K)]
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm	0,49	2,03	119,25	69,25
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm	0,46	2,18	135,43	85,43
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm	0,44	2,28	145,99	95,99
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm	0,43	2,35	153,02	103,02
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm	0,25	3,98	255,03	205,03
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	0,40	2,50	124,17	74,17
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm	1,24	0,80	127,97	127,97
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm	1,04	0,96	144,16	144,16
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm	0,95	1,06	154,71	154,71
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm	0,89	1,12	161,74	161,74
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm	2,17	0,46	263,75	263,75
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	0,78	1,28	132,89	50,81
SVVE 13	Alvenaria convencional	2,58	0,39	158,94	158,94
Valores de referência da NBR 15575-4		Para $\alpha \leq 0,6$ $U \leq 3,7$ W/(m ² .K)			
		Para $\alpha > 0,6$ $U \leq 2,5$ W/(m ² .K)			
		C ≥ 130 kJ/(m ² .K)			
Código	Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI)	U	R _t	C	
		[W/(m ² .K)]	[(m ² .K)/W]	(NBR 15220-2) [kJ/(m ² .K)]	
SVVI 01	CLT 3 CLT 57 mm	0,83	1,21	129,62	
SVVI 02	CLT 3 CLT 80 mm	1,13	0,89	95,85	
SVVI 03	CLT 3 CLT 95 mm	0,96	1,04	112,03	
SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm	0,88	1,14	122,58	
SVVI 05	CLT 3 CLT 250 mm	0,46	2,18	231,63	
SVVI 06	<i>Wood frame</i>	0,73	1,36	100,76	
SVVI 07	Alvenaria convencional	2,58	0,39	158,94	
Não existem requisitos mínimos para SVVI na NBR 15545-4					

Fonte: A autora, 2022.

Por fim, a Tabela 5.1 apresenta o cálculo da capacidade térmica das paredes externas (C*) de acordo com o item 11.2.4 da NBR 15575-4 (ABNT, 2021b). Nele, é estabelecido que, caso o material de isolamento tenha condutividade térmica $\lambda \leq 0,065$ W/(m.K) e resistência térmica $R > 0,5$ (m².K)/W), devem ser desconsiderados os materiais posicionados externamente em

relação ao isolamento para fins de avaliação por meio do procedimento simplificado. Nessa situação, fica explícito que todas as vedações verticais com isolamento em sua composição têm sua capacidade térmica diminuída (SVVEs 01 a 06, e 12).

Exemplificando o exposto anteriormente, a diferença no cálculo das capacidades térmicas ficou evidente nos sistemas EIFS. Os SVVEs 02, 03 e 04 atendem ao critério de capacidade térmica $C \geq 130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$, quando calculados utilizando somente os critérios da NBR 15220-2 (ABNT, 2008). Porém, pelo determinado no item 11.2.4 da NBR 15575-4 (ABNT, 2021b), a argamassa externa não é contabilizada, e a capacidade térmica resultante não cumpre o critério citado. De forma similar, no SVVE 12 (Placa cimentícia *wood frame*) foram considerados apenas os materiais que estavam no interior da parede a partir da lã de rocha, e a capacidade térmica também resultou inferior a $130 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$.

De modo a complementar a análise simplificada, foram também abordadas as tipologias de cobertura utilizadas para cada sistema construtivo, conforme descrito no tópico 4.1. A Tabela 5.2 apresenta a transmitância térmica e a resistência térmica das coberturas definidas. Tal como apresentado no tópico 4.2, o modelo “UH multifamiliar geminada” foi modelado considerando o uso de telhas cerâmicas, enquanto que o modelo UH unifamiliar em condomínio foi modelado com telhas de aço.

Tabela 5.2. Propriedades térmicas dos sistemas de coberturas

Modelo habitacional	Sistema de Cobertura	U [W/(m ² .K)]	R [(m ² .K)/W]
Casa em condomínio	Telha de aço - sistema CLT (espessura 120 mm)	0,37	2,69
	Telha de aço - sistema CLT (espessura 250 mm)	0,28	3,56
	Telha de aço - sistema <i>wood frame</i>	0,35	2,83
	Telha de aço - sistema em alvenaria convencional	0,51	1,95
Casa geminada	Telha cerâmica - sistema CLT (espessura 120 mm)	0,69	1,46
	Telha cerâmica - sistema CLT (espessura 250 mm)	0,43	2,32
	Telha cerâmica - sistema <i>wood frame</i>	0,63	1,59
	Telha cerâmica - sistema em alvenaria convencional	1,40	0,71
Valores de referência da NBR 15575-5		Para $\alpha \leq 0,6$ $U \leq 2,3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$	
		Para $\alpha > 0,6$ $U \leq 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$	

Fonte: A autora, 2022.

A Tabela 5.2 também apresenta resumidamente os requisitos para coberturas estabelecidos pela NBR 15575-5 (ABNT, 2021c) para a zona bioclimática 3, conforme detalhado no

tópico 4.3. Embora tenham sido consideradas as absorvâncias $\alpha = 0,25$ para a telha de aço e $\alpha = 0,16$ para a telha cerâmica, todas as tipologias de cobertura atendem com folga o requisito de transmitância térmica para qualquer valor de absorvância.

No caso das telhas de aço, para que se possa utilizar somente o procedimento simplificado de avaliação, a norma exige que a emitância térmica seja $\varepsilon > 0,7$ para a zona bioclimática 3. Como a emitância considerada para essas telhas foi de $\varepsilon = 0,25$, valor de referência da NBR 15220-2 (ABNT, 2008), os quatro sistemas de coberturas que a utilizam precisam passar pelo procedimento de simulação computacional para avaliação de desempenho térmico.

Diante disso, os resultados apresentados nesse tópico, considerando os critérios estabelecidos pelas NBR 15575-4 (ABNT, 2021b) e NBR 15575-5 (ABNT, 2021c), indicam que todos os modelos construtivos que utilizam os SVVEs 05, 08 a 11 e 13, em conjunto coberturas em telhas cerâmicas, estariam classificados com o nível mínimo de desempenho térmico considerando o procedimento simplificado. Já os modelos construtivos que utilizam telhas de aço e os SVVEs 01 a 04, 06 a 07 e 12 devem ser avaliados por meio de simulação computacional de desempenho térmico.

Ainda que alguns sistemas construtivos tenham atendido ao nível mínimo de desempenho térmico considerando o procedimento de análise simplificada, todos os sistemas foram avaliados pelo método de simulação computacional para identificar se poderiam atender adicionalmente ao nível intermediário ou superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). Os resultados das simulações serão apresentados nos tópicos 5.2 e 5.4.

5.2. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS HABITACIONAIS

Nesse tópico, serão apresentados os resultados das simulações computacionais efetuadas para ambos os modelos residenciais detalhados nos tópicos 4.2 e 4.4, denominados “UH multifamiliar geminada” e “UH unifamiliar em condomínio”.

Em conformidade com o preconizado na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) e detalhado

no tópico 4.3, ambas as habitações foram inicialmente modeladas e simuladas considerando os materiais e propriedades térmicas para “modelo de referência”. Tal modelo serve como base para estabelecer os parâmetros mínimos e máximos que classificam o nível de desempenho térmico das habitações. Após a elaboração e simulação dos modelos de referência, foram modeladas e simuladas as mesmas unidades habitacionais, considerando a aplicação dos diferentes sistemas construtivos delimitados no tópico 4.1, os quais são denominados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) como “modelos reais”. Os resultados de tais simulações foram, então, comparados aos resultados obtidos nos respectivos modelos de referência.

A volumetria das edificações e a orientação solar permaneceram as mesmas entre o modelo de referência e os modelos reais dos dois tipos de habitação. De acordo a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), no modelo de referência não devem ser considerados elementos de sombreamento externo fixos na fachada. Sendo assim, o modelo de referência da UH multifamiliar geminada foi modelado sem a presença dos beirais, e o modelo de referência da UH unifamiliar em condomínio foi modelado sem os beirais e sem as coberturas externas para garagem e área de lazer, conforme detalhado no tópico 4.4.

Cabe destacar que na construção dos modelos e na realização das simulações computacionais, foram levadas em conta as trocas de calor entre os pisos e as edificações. As propriedades térmicas dos pisos foram consideradas idênticas para todos os modelos (modelos de referência e modelos reais de ambos os tipos de habitação). Além disso, os percentuais de abertura para ventilação e áreas translúcidas dos modelos de referência permaneceram iguais aos dos modelos reais, de modo que os resultados das simulações refletissem apenas a influência dos diferentes sistemas construtivos e dos elementos de sombreamento externo.

As simulações dos modelos foram realizadas com uso do software *Energyplus*, pois, esse software cumpre com os requisitos estabelecidos pela NBR 15575-1 para simulações computacionais de desempenho térmico. A norma também indica que, para atendimento ao nível mínimo de desempenho térmico, cada modelo habitacional (de referência e reais) seja simulado considerando apenas o uso de ventilação natural. Nessas simulações, são obtidas as temperaturas operativas das 8760 horas do ano e o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa

(PHFT, $\leq 18^{\circ}\text{C}$ ou $\geq 26^{\circ}\text{C}$) (ABNT, 2021a).

Além disso, para verificar se a UH pode ser classificada nos níveis intermediário ou superior, a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) estipula que novas simulações sejam realizadas considerando a condição sem ventilação natural. Devem ser obtidos os valores das cargas térmicas para refrigeração e para aquecimento por hora, para cada UH, considerando somente os momentos de ocupação dos APP e os períodos fora da faixa de temperatura operativa ($\leq 18^{\circ}\text{C}$ ou $\geq 26^{\circ}\text{C}$).

Os dados obtidos nas simulações, após tratamento adequado, fornecem a temperatura operativa máxima ($T_{o\text{máx}}$), a temperatura operativa mínima ($T_{o\text{mín}}$), o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), a carga térmica total para refrigeração ($C_{g\text{TR}}$), a carga térmica total para aquecimento ($C_{g\text{TA}}$) e a carga térmica total ($C_{g\text{TT}}$) da UH.

Resumindo o descrito no tópico 4.3 (Tabelas 4.10, 4.11 e 4.12):

- Para atender ao nível mínimo de desempenho térmico estipulado na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), o modelo real deve apresentar ao longo do ano um $\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$ maior que 90% do obtido para o modelo de referência e ainda, a temperatura operativa anual máxima do modelo real ($T_{o\text{máxUH,real}}$) deve ser menor ou igual a temperatura operativa anual máxima do modelo de referência, acrescida de 2°C ($T_{o\text{máxUH,real}} \leq T_{o\text{máxUH,ref.}} + 2^{\circ}\text{C}$), e a temperatura operativa anual mínima do modelo real $T_{o\text{mínUH,real}}$ deve ser maior ou igual a temperatura operativa anual mínima do modelo de referência, reduzido 1°C ($T_{o\text{mínUH,real}} \geq T_{o\text{mínUH,ref.}} - 1^{\circ}\text{C}$).
- Para avaliação dos níveis intermediário e superior, deve-se primeiro atender aos requisitos para o nível mínimo, e depois, deve-se determinar o incremento do $\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$ (ΔPHFT) em relação ao $\text{PHFT}_{\text{UH,ref.}}$. Além do disso, deve-se considerar as cargas térmicas anuais ($C_{g\text{TTUH}}$) da UH, que é o resultado da soma dos valores anuais de cargas térmicas para refrigeração ($C_{g\text{TRAPP}}$) e para aquecimento ($C_{g\text{TAAPP}}$) de cada APP.
- Para qualquer valor de $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$ considerando o nível superior; ou $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}} \geq 70\%$ considerando o nível intermediário, é necessário obter a relação entre as cargas térmicas totais com a área total de piso das APP para determinar a RedCgTT mínima (ABNT, 2021a). A UH será classificada com nível intermediário ou superior de acordo com a porcentagem de redução das cargas térmicas totais (RedCgTT).

Recapitulando as tipologias de vedações verticais e coberturas analisadas:

Tabela 5.3. Sistemas de vedações verticais externos e seus respectivos sistemas de vedações verticais internos e coberturas

Código	Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE)	Código	Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI)
SVVE Ref.	Modelo de referência da norma		
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 01	CLT 3 CLT 57 mm
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 02	CLT 3 CLT 80 mm
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 03	CLT 3 CLT 95 mm
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje CLT 250 mm	SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje CLT 250 mm	SVVI 05	CLT 3 CLT 250 mm
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i> com cobertura <i>wood frame</i>	SVVI 06	<i>Wood frame</i>
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 01	CLT 3 CLT 57 mm
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 02	CLT 3 CLT 80 mm
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 03	CLT 3 CLT 95 mm
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje CLT 120 mm	SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje CLT 250 mm	SVVI 04	CLT 3 CLT 105 mm
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje CLT 250 mm	SVVI 05	CLT 3 CLT 250 mm
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i> com cobertura <i>wood frame</i>	SVVI 06	<i>Wood frame</i>
SVVE 13	Alvenaria convencional com laje em concreto	SVVI 07	Alvenaria convencional

Fonte: A autora, 2022.

5.2.1. Resultados das simulações do modelo “UH multifamiliar geminada”

As simulações do modelo de referência da “UH multifamiliar geminada” resultaram na temperatura operativa máxima $To_{\max UH,ref} = 36,5^{\circ}C$, temperatura operativa mínima $To_{\min UH,ref} = 12,9^{\circ}C$, percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa $PHFT_{UH,ref} = 40,8\%$ e carga térmica total $Cg_{TT_{UH,ref}} = 5550,9$ kWh/ano.

Com base nesses resultados, e considerando a tolerância estabelecida na norma, os critérios para obtenção do nível mínimo de desempenho térmico dos modelos reais de UH multifamiliar geminada ficaram estabelecidos nos seguintes valores: $To_{\max UH,real} \leq 38,5^{\circ}C$, a $To_{\min UH,real} \geq 11,9^{\circ}C$ e o $PHFT_{UH,real} > 36,7\%$. Tais informações estão sintetizadas na Tabela 5.4.

A classificação do desempenho térmico nos níveis intermediário ou superior demanda o atendimento a critérios adicionais, também apresentados na Tabela 5.4. Como o resultado do percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa do modelo de referência ($PHFT_{UH,ref}$) ficou inferior a 70% ($PHFT_{UH,ref} = 40,8\%$), o incremento do PHFT dos modelos reais deve

ser $\Delta\text{PHFT} \geq 13,4\%$, tanto para o nível intermediário quanto para o nível superior. Para classificação no nível superior, porém, deve-se adicionalmente obter redução da carga térmica total $\text{RedCgTT} \geq 40\%$, pois a divisão da carga térmica total do modelo de referência ($\text{CgTT}_{\text{UH,ref}}$) pela área total de piso dos APPs resultou em $168,5 \text{ kWh}/(\text{ano.m}^2)$.

Tabela 5.4. Limites estabelecidos pela NBR 15575-1, para determinar o nível de desempenho térmico da UH multifamiliar com base nos resultados da simulação do modelo de referência

Nível de desempenho	Critérios para determinar o nível de desempenho de UH multifamiliar	
Mínimo (M)	$\text{PHFT}_{\text{UH, real}} > 36,7 \%$	
	$\text{To}_{\text{máx,real}} \leq 38,5 \text{ °C}$	
	$\text{To}_{\text{mín,real}} \geq 11,9 \text{ °C}$	
Intermediário (I)	$\text{PHFT}_{\text{UH, ref.}} < 70 \%$	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} \geq 13,4\%$ $\text{RedCgTT}_{\text{mín}} = 0$
	$\text{PHFT}_{\text{UH, ref.}} < 70 \%$	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} = 13,4\%$
Superior (S)	Para todos os valores de $\text{PHFT}_{\text{UH, ref.}}$	$\text{RedCgTT}_{\text{mín}} \geq 40\%$, pois $\text{CgTT}_{\text{UH, ref.}} / A_{\text{p, UH}} \geq 100$

LEGENDA:

$\text{PHFT}_{\text{UH, real}}$ = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real;
 $\text{PHFT}_{\text{UH, ref.}}$ = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência;

$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ percentual mínimo de incremento de horas dentro da faixa de temperatura operativa;

$\text{To}_{\text{máx,real}}$ = temperatura operativa máxima da unidade habitacional real;

$\text{To}_{\text{mín,real}}$ = temperatura operativa mínima da unidade habitacional real;

$\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ = percentual mínimo de redução das cargas térmicas totais da unidade habitacional;

$\text{CgTT}_{\text{UH, ref.}}$ = carga térmica total da unidade habitacional de referência;

$A_{\text{p, UH}}$ = área de piso dos ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

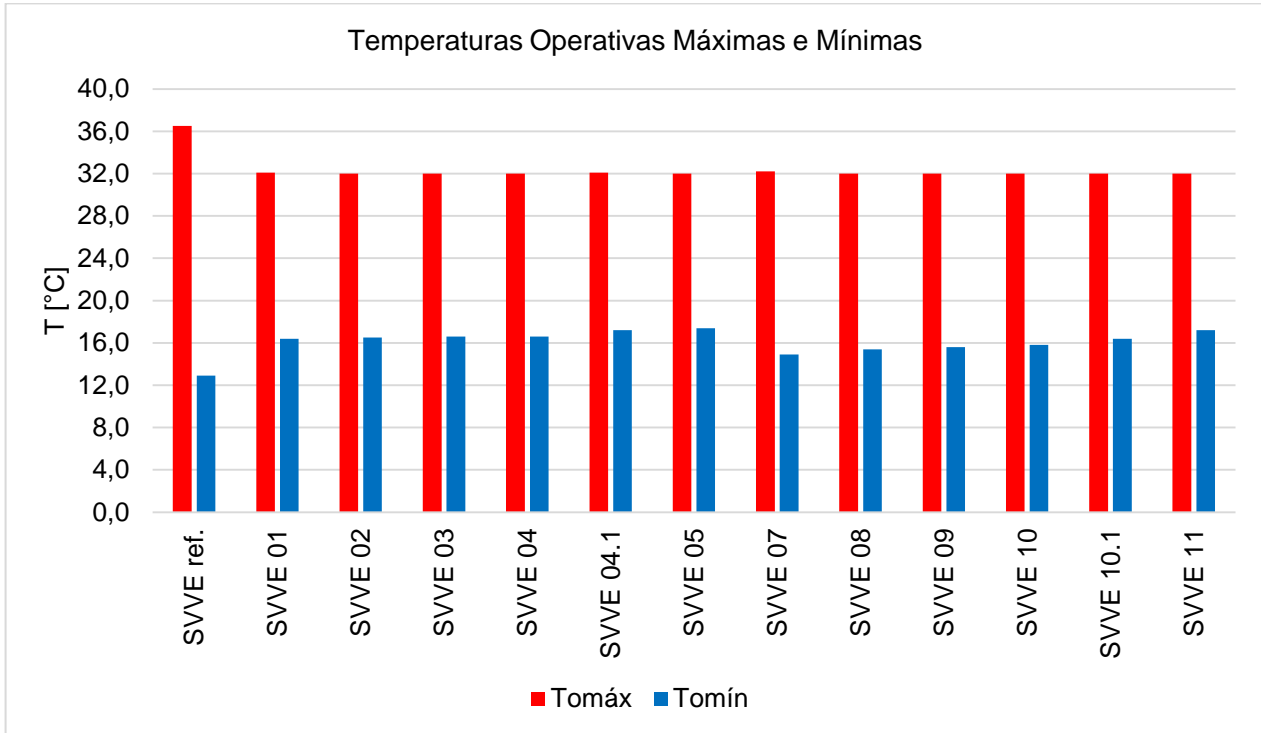
Fonte: A autora, 2022.

Os sistemas construtivos com aplicação de painéis CLT apresentaram resultados bem próximos entre si para o critério de temperatura operativa máxima, conforme apresentado na Figura 5.1. Com a aplicação do sistema EIFS (SVVE 01 a 05) essa variação ficou na casa de $0,1\text{°C}$, enquanto que nos sistemas com placa cimentícias (SVVE 07 a 11), a variação foi de $0,2\text{°C}$. Em comparação com o modelo de referência, a redução das temperaturas operativas máximas ficou entre $4,3\text{°C}$ a $4,5\text{°C}$, conforme apresentado na Tabela 5.5.

Para o critério de temperatura operativa mínima, a diferença entre os sistemas em CLT ficou um pouco maior (Figura 5.1). No sistema EIFS houve uma variação $1,0\text{°C}$, enquanto que no sistema com placas cimentícias a variação foi de $2,3\text{°C}$. Em comparação com o modelo de

referência, o aumento das temperaturas operativas mínimas ficou entre 2,0°C a 4,5°C (Tabela 5.5).

Figura 5.1. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo em CLT



Fonte: A autora, 2022.

Tabela 5.5. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

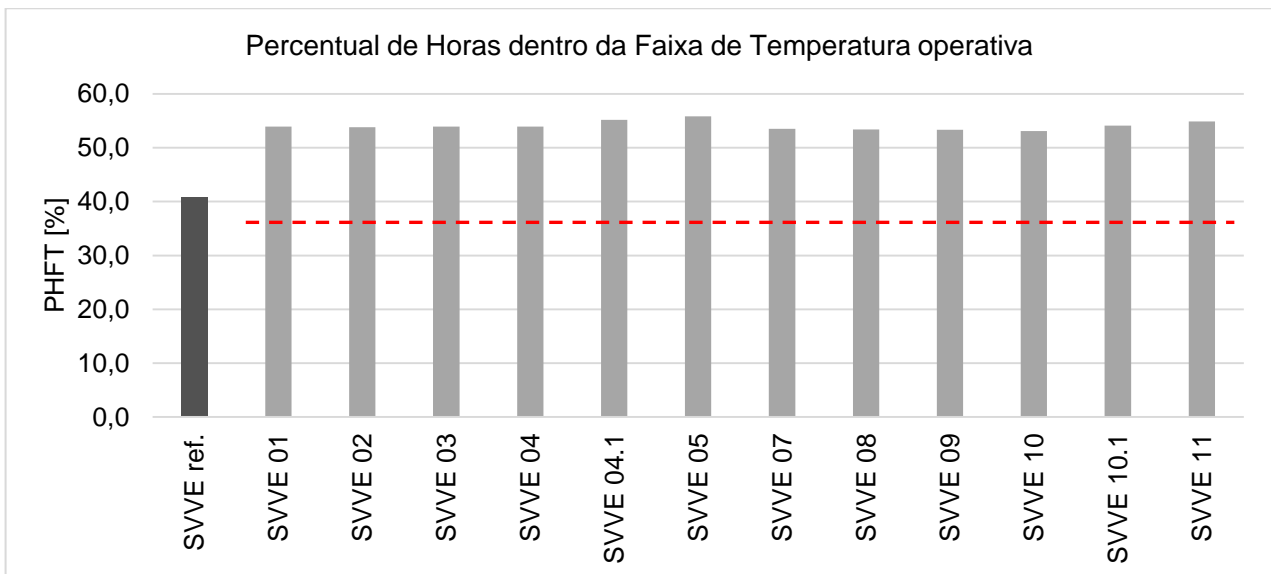
Código	Sistema Construtivo	To _{máx} [°C]	To _{mín} [°C]	PHFT [%]	ΔPHFT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	36,5	12,9	40,8	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	32,1	16,4	53,9	13,1
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	32,0	16,5	53,8	13,0
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	32,0	16,6	53,9	13,1
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	32,0	16,6	53,9	13,1
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	32,1	17,2	55,2	14,4
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	32,0	17,4	55,8	15,0
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	32,2	14,9	53,5	12,7
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	32,0	15,4	53,4	12,6
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	32,0	15,6	53,3	12,5
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	32,0	15,8	53,1	12,3
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	32,0	16,4	54,1	13,3
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	32,0	17,2	54,9	14,1
Critérios para o nível mínimo de desempenho térmico					-
Critérios para o nível intermediário de desempenho térmico		≤ 38,5	≥ 11,9	> 36,7	≥ 13,4
Critérios para o nível superior de desempenho térmico					≥ 13,4

Fonte: A autora, 2022.

Com base na tolerância que a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) indica, todos os modelos simulados com o sistema CLT cumprem satisfatoriamente os critérios de temperaturas operativas mínima e máxima como requisito para o nível mínimo de desempenho térmico.

Com relação ao PHFT da UH, a variação dos percentuais foi de 2% entre os sistemas EIFS e 1,8% entre os sistemas com placas cimentícias. Todos os sistemas cumpriram o limite mínimo de percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT > 36,7%). Além disso, houve um incremento de horas dentro da faixa de temperatura operativa (Δ PHFT) ao longo do ano, o que elevou o resultado total entre 12,3% a 15,0% em relação ao modelo de referência, conforme ilustrado na Figura 5.2. Para obter os níveis intermediário e superior de desempenho térmico, o incremento mínimo de horas dentro da faixa de temperatura operativa deveria ser Δ PHFT \geq 13,4%. Sendo assim, apenas os SVVE 04.1, 05 e 11 cumpriram tal requisito.

Figura 5.2. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT



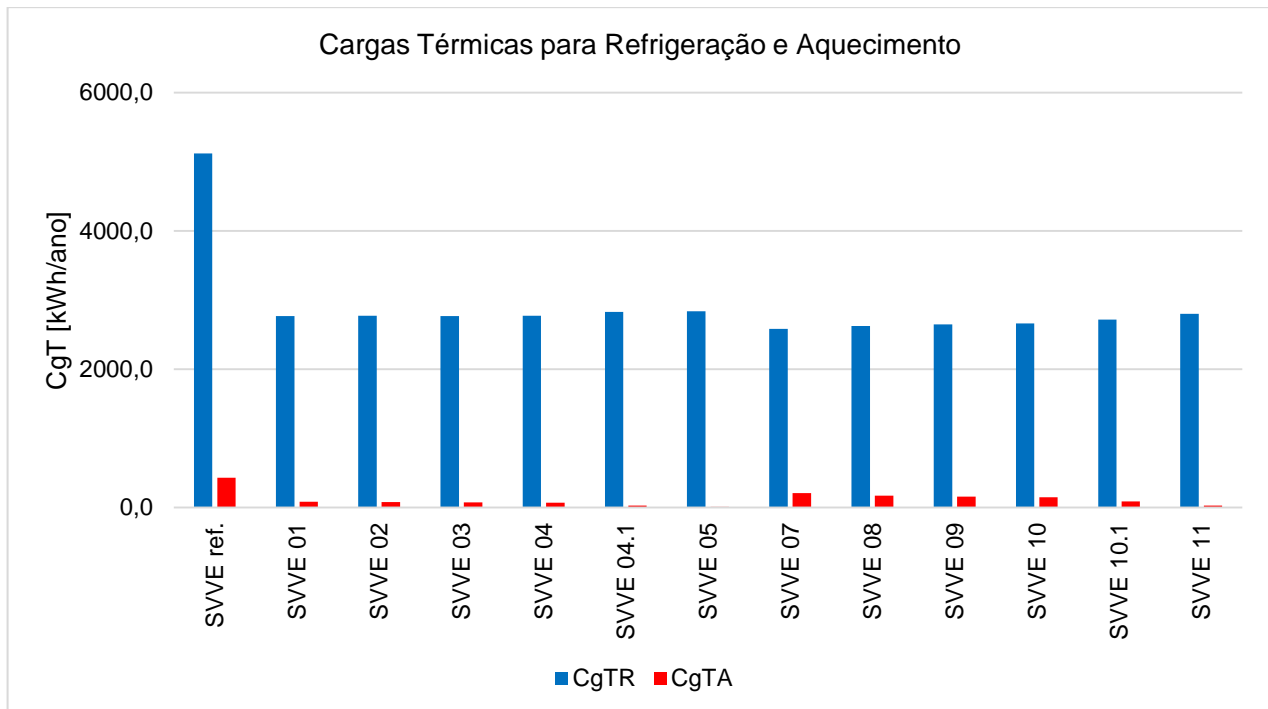
Legenda:

--- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,7%).

Fonte: A autora, 2022.

Após as simulações considerando o uso de ventilação natural, foram realizadas simulações considerando a condição sem ventilação natural para determinar as cargas térmicas totais de refrigeração e aquecimento dos modelos reais, conforme ilustra a Figura 5.3.

Figura 5.3. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT



Fonte: A autora, 2022.

A Tabela 5.6 apresenta os resultados obtidos para as cargas térmicas do modelo de referência e dos modelos no sistema construtivo em CLT.

Tabela 5.6. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

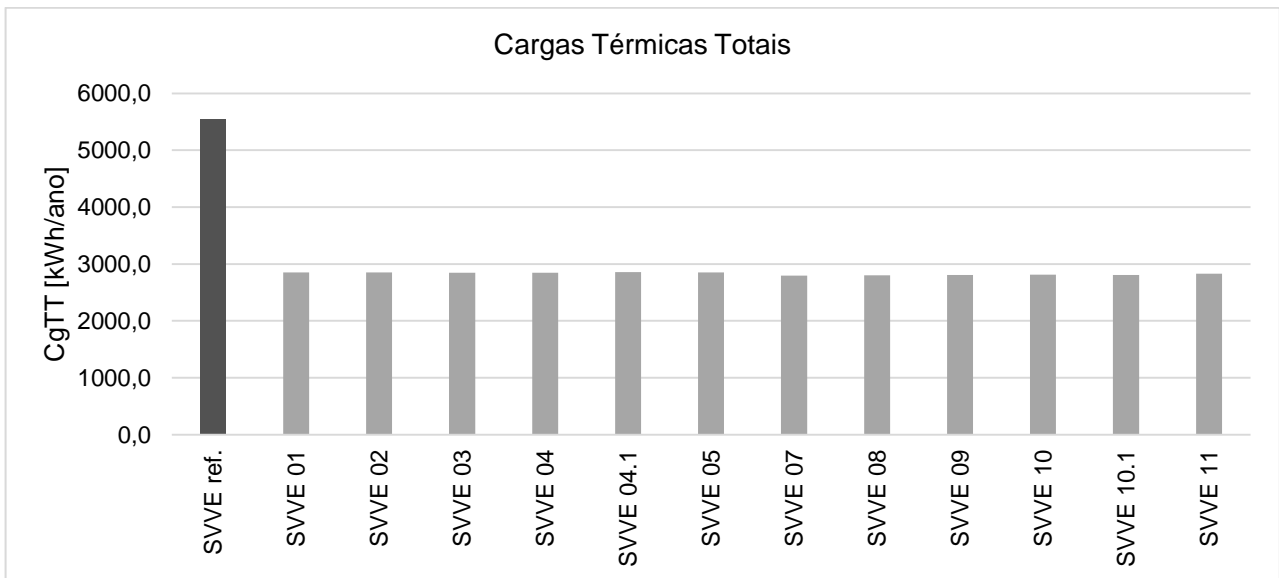
Código	Sistema Construtivo	CgTR	CgTA	CgTT	RedCgTT [%]
		[kWh/ano]			
SVVE ref.	Modelo de referência	5120,1	430,8	5550,9	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	2768,8	86,0	2854,8	48,6
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	2774,2	80,0	2854,2	48,6
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	2771,9	75,0	2846,9	48,7
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	2773,0	72,2	2845,2	48,7
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	2828,1	26,9	2855,0	48,6
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	2840,6	10,3	2850,9	48,6
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	2584,1	210,9	2795,0	49,6
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	2626,5	174,0	2800,5	49,5
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	2649,4	158,2	2807,6	49,4
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	2665,1	149,5	2814,6	49,3
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	2719,7	89,3	2809,0	49,4
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	2800,5	30,7	2831,2	49,0
Critério para o nível intermediário de desempenho térmico					0
Critério para o nível superior de desempenho térmico					≥ 40

Fonte: A autora, 2022.

As cargas térmicas para refrigeração dos sistemas EIFS (SVVE 01 a 05) apresentaram variação de 71,8 kWh/ano, enquanto que para os sistemas com placas cimentícias (SVVE 07 a 11), a variação foi de 216,4 kWh/ano. Com relação às cargas térmicas para aquecimento, a variação nos sistemas EIFS foi de 75,7 kWh/ano e nos sistemas com placas cimentícias foi de 180,2 kWh/ano. Apesar disso, a variação das cargas térmicas totais dos sistemas EIFS foi de apenas 9,8 kWh/ano e dos sistemas com placas cimentícias de apenas 36,2 kWh/ano.

É possível observar que, quanto mais isolado o sistema, seja pelo uso do EIFS (sistema com isolamento térmico) ou pela maior espessura dos painéis CLT (paredes e lajes), maiores são os resultados obtidos para as cargas térmicas de refrigeração e menores os resultados obtidos para as cargas térmicas de aquecimento. No entanto, o acréscimo nas CgTR é compensado pela diminuição das CgTA, tornando a diferença entre as CgTT dos sistemas pequena, conforme ilustrado na Figura 5.4.

Figura 5.4. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT



Fonte: A autora, 2022.

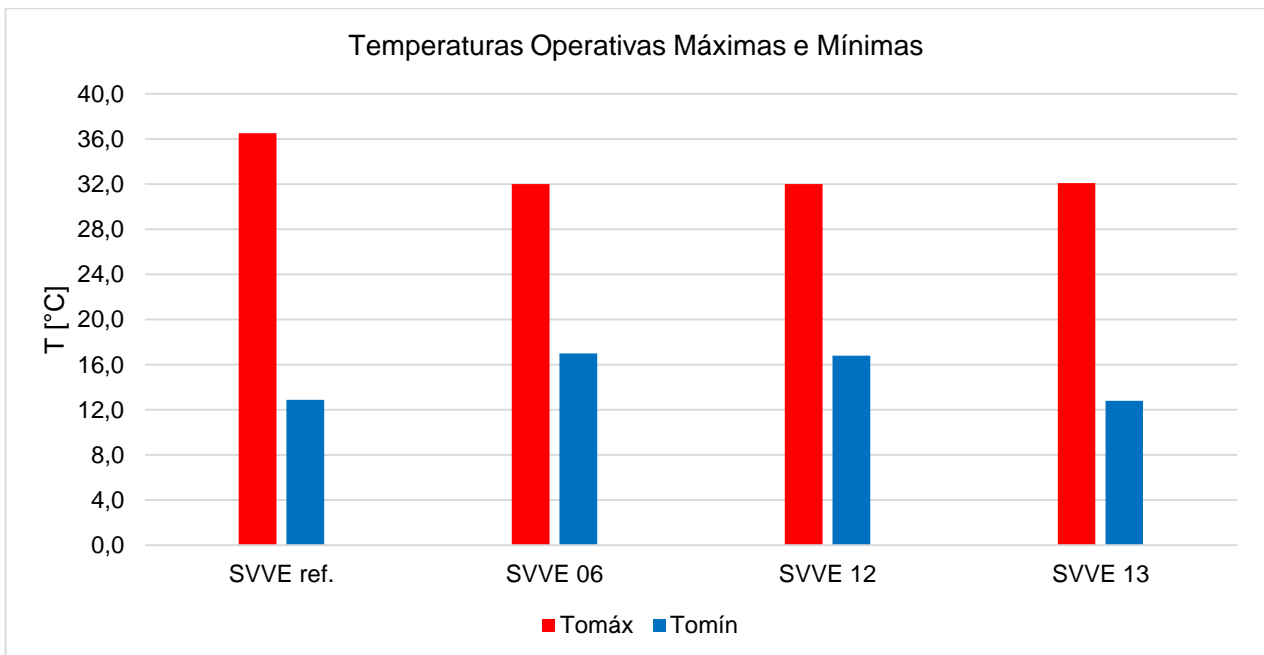
Com relação ao modelo de referência, os sistemas com painéis CLT apresentaram redução nas cargas térmicas para refrigeração variando entre 44,5% a 49,5%, e redução nas cargas térmicas para aquecimento variando entre 51,0% a 97,6%. A redução das cargas térmicas totais (RedCgTT) variou entre 48,6% a 49,6%. Sendo assim, todos os sistemas com painéis CLT

cumpririam com os requisitos mínimos de redução de carga térmica total para obter os níveis intermediário ($RedCgTT = 0$) e superior ($RedCgTT \geq 40\%$) de desempenho térmico estipulados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Esses resultados indicam que a aplicação dos painéis CLT analisados pode implicar numa redução de consumo energético ao longo do ano em relação ao modelo de referência, com destaque maior para a redução das cargas térmicas de aquecimento, conforme apresentado na Figura 5.3. Contudo, considerando a análise dos resultados para a condição de ventilação natural, especificamente o critério de incremento do percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa ($\Delta PHFT \geq 13,4\%$), apenas os SVVE 04.1, 05 e 11 poderiam ser classificados com o nível superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

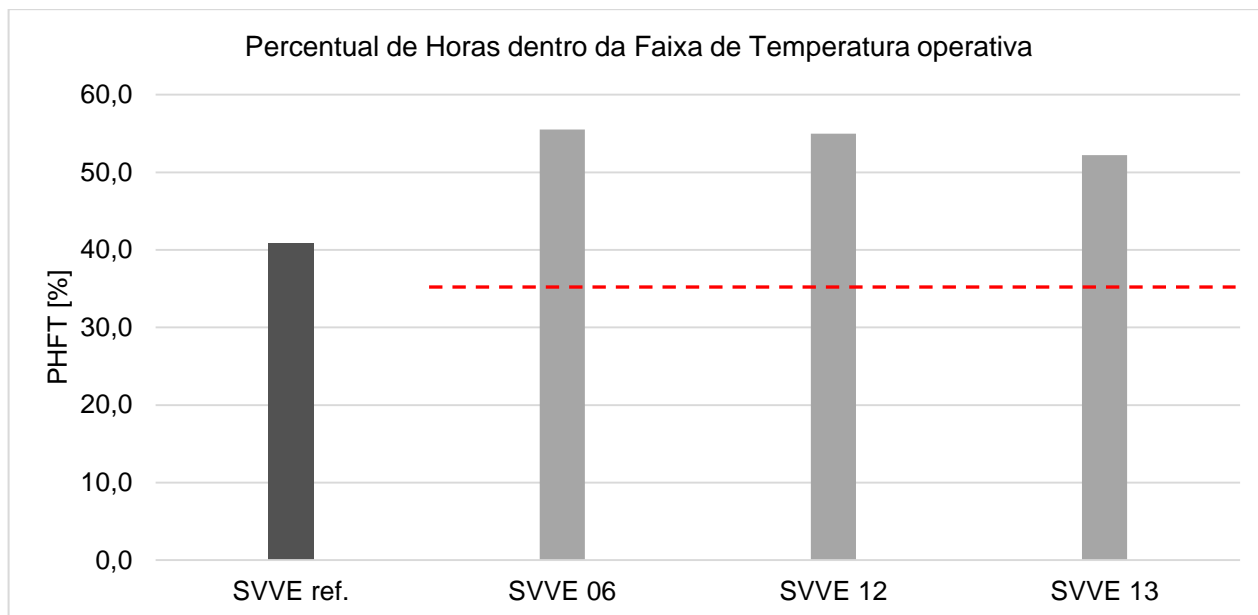
Após executar as simulações da aplicação dos sistemas construtivos em CLT, foram simulados os modelos nos sistemas construtivos em *wood frame* (SVVEs 06 e 12) e alvenaria convencional (SVVE 13). Os sistemas construtivos em *wood frame* apresentaram resultados muito semelhantes entre si para os critérios de $T_{o\max}$, $T_{o\min}$ e PHFT, conforme apresentado nas Figuras 5.5 e 5.6.

Figura 5.5. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.6. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Legenda:

--- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,7%).

Fonte: A autora, 2022.

No sistema EIFS (SVVE 06) e no sistema com placas cimentícias (SVVE 12) a $T_{\text{máx}}$ foi a mesma, enquanto que a variação da $T_{\text{mín}}$ foi de $0,2^{\circ}\text{C}$ e a variação do PHFT foi de $0,5\%$ entre os dois sistemas, conforme apresentado na Tabela 5.7. Quando comparados ao modelo de referência, a redução da $T_{\text{máx}}$ foi de $4,5^{\circ}\text{C}$, o aumento da $T_{\text{mín}}$ ficou entre $3,9$ e $4,1^{\circ}\text{C}$ e o ΔPHFT ficou entre $14,2\%$ e $14,7\%$. Já no sistema construtivo em alvenaria convencional, a $T_{\text{máx}}$ foi de $32,1^{\circ}\text{C}$, a $T_{\text{mín}}$ foi de $12,8^{\circ}\text{C}$ e o ΔPHFT foi de $11,4\%$.

Tabela 5.7. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	$T_{\text{máx}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{mín}}$ [$^{\circ}\text{C}$]	PHFT [%]	ΔPHFT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	36,5	12,9	40,8	-
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	32,0	17,0	55,5	14,7
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	32,0	16,8	55,0	14,2
SVVE 13	Alvenaria convencional	32,1	12,8	52,2	11,4
Critérios para o nível mínimo de desempenho térmico					-
Critérios para o nível intermediário de desempenho térmico					$\leq 38,5$ $\geq 11,9$ $> 36,7$ $\geq 13,4$
Critérios para o nível superior de desempenho térmico					$\geq 13,4$

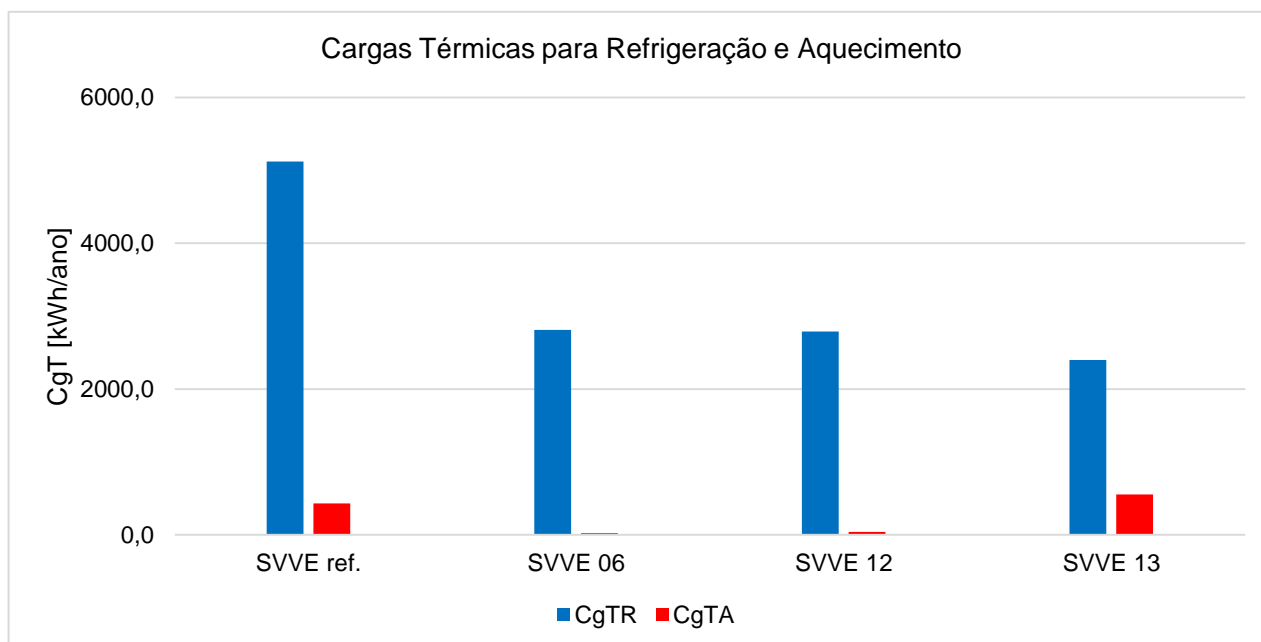
Fonte: A autora, 2022.

Com base na tolerância que a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) fornece, os dois modelos simulados com o sistema *wood frame* e o modelo simulado em alvenaria convencional cumprem de maneira satisfatória os critérios em termos de temperaturas operativas mínima e máxima e percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa, previstos como requisito para o nível mínimo de desempenho térmico.

Para obter os níveis intermediário e superior de desempenho térmico, o incremento mínimo de horas dentro da faixa de temperatura operativa deve ser $\Delta\text{PHFT} \geq 13,4\%$. Sendo assim, os dois modelos no sistema *wood frame* cumpriram o requisito. Já o sistema construtivo em alvenaria convencional não cumpriu com o ΔPHFT mínimo.

A Figura 5.7 apresenta os resultados das CgT de refrigeração e de aquecimento dos sistemas construtivos em *wood frame* e alvenaria convencional. Assim como observado nos resultados apresentados para os sistemas em CLT, quanto maior o isolamento térmico empregado, maiores são os resultados para as CgTR e menores são os resultados para as CgTA.

Figura 5.7. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

A Tabela 5.8 apresenta os resultados obtidos para as cargas térmicas do modelo de referência e dos modelos nos sistemas construtivos em *wood frame* e alvenaria convencional.

Os sistemas em *wood frame* apresentaram variação entre si de 25,2 kWh/ano entre as cargas térmicas para refrigeração, 15,1 kWh/ano entre as cargas térmicas para aquecimento e 10,1 kWh/ano entre as cargas térmicas totais (Figura 5.8).

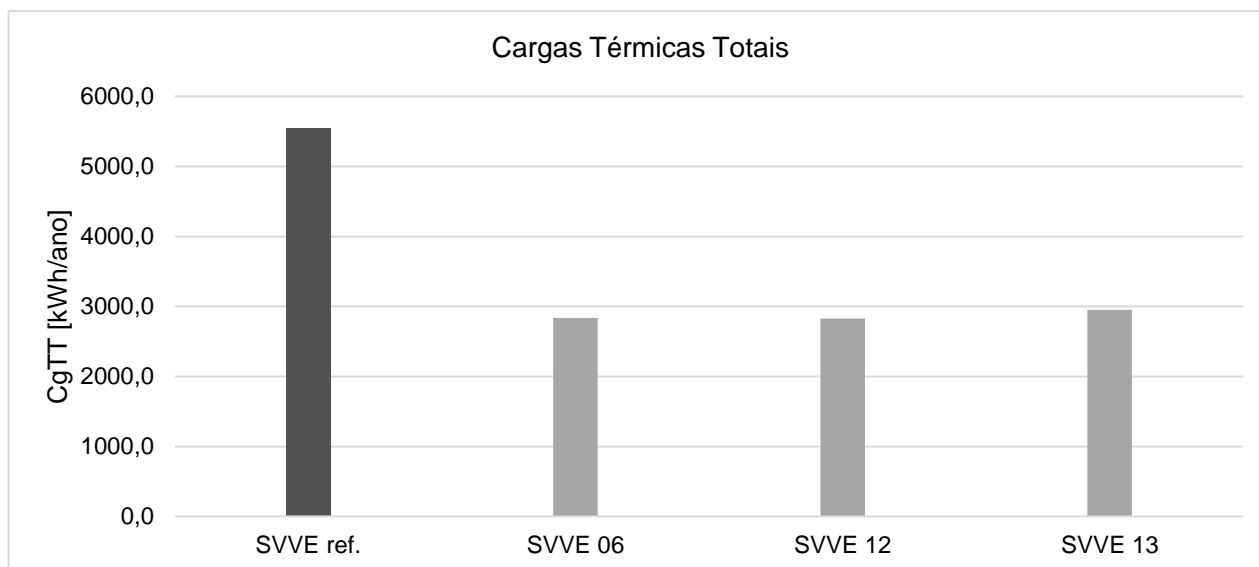
Tabela 5.8. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	CgTR	CgTA		CgTT	RedCgTT [%]
			[kWh/ano]			
SVVE ref.	Modelo de referência	5120,1	430,8		5550,9	-
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	2812,3	24,8		2837,1	48,9
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	2787,1	39,9		2827,0	49,1
SVVE 13	alvenaria convencional	2396,3	553,1		2949,4	46,9
Critério para o nível intermediário de desempenho térmico						0
Critério para o nível superior de desempenho térmico						≥ 40

Fonte: A autora, 2022.

Com relação ao modelo de referência, os sistemas construtivos em *wood frame* e alvenaria convencional apresentaram reduções de cargas térmicas totais entre 46,9% e 49,1%. Sendo assim, tais sistemas construtivos cumprem o critério de $RedCgTT_{min}$ estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) para serem classificados com o nível superior de desempenho térmico. Contudo, por não ter cumprido com o critério de $\Delta PHFT \geq 13,4\%$, o sistema em alvenaria convencional não pode ser classificado com nível acima do mínimo.

Figura 5.8. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Para finalizar a análise da “UH multifamiliar geminada”, relata-se um comparativo geral entre todos os sistemas construtivos propostos. Nas Tabelas 5.9 e 5.10 é possível observar que o comportamento térmico dos sistemas em painéis CLT e em *wood frame* é bem próximo, tanto para os revestidos com EIFS, quanto para os com placas cimentícias.

Tabela 5.9. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	T _o máx [°C]	T _o min [°C]	PHFT [%]	ΔPHFT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	36,5	12,9	40,8	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	32,1	16,4	53,9	13,1
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	32,0	16,5	53,8	13,0
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	32,0	16,6	53,9	13,1
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	32,0	16,6	53,9	13,1
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	32,1	17,2	55,2	14,4
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	32,0	17,4	55,8	15,0
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	32,0	17,0	55,5	14,7
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	32,2	14,9	53,5	12,7
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	32,0	15,4	53,4	12,6
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	32,0	15,6	53,3	12,5
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	32,0	15,8	53,1	12,3
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	32,0	16,4	54,1	13,3
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	32,0	17,2	54,9	14,1
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	32,0	16,8	55,0	14,2
SVVE 13	Alvenaria convencional	32,1	12,8	52,2	11,4
Critérios para o nível mínimo de desempenho térmico					-
Critérios para o nível intermediário de desempenho térmico		≤ 38,5	≥ 11,9	> 36,7	≥ 13,4
Critérios para o nível superior de desempenho térmico					

Fonte: A autora, 2022.

Todos os sistemas construtivos em madeira (CLT e *wood frame*) apresentaram melhor desempenho térmico nas condições de inverno quando comparados ao sistema em alvenaria convencional, refletido nas maiores temperaturas operativas mínimas e nos maiores percentuais de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), conforme ilustrado nas Figuras 5.9 e 5.10.

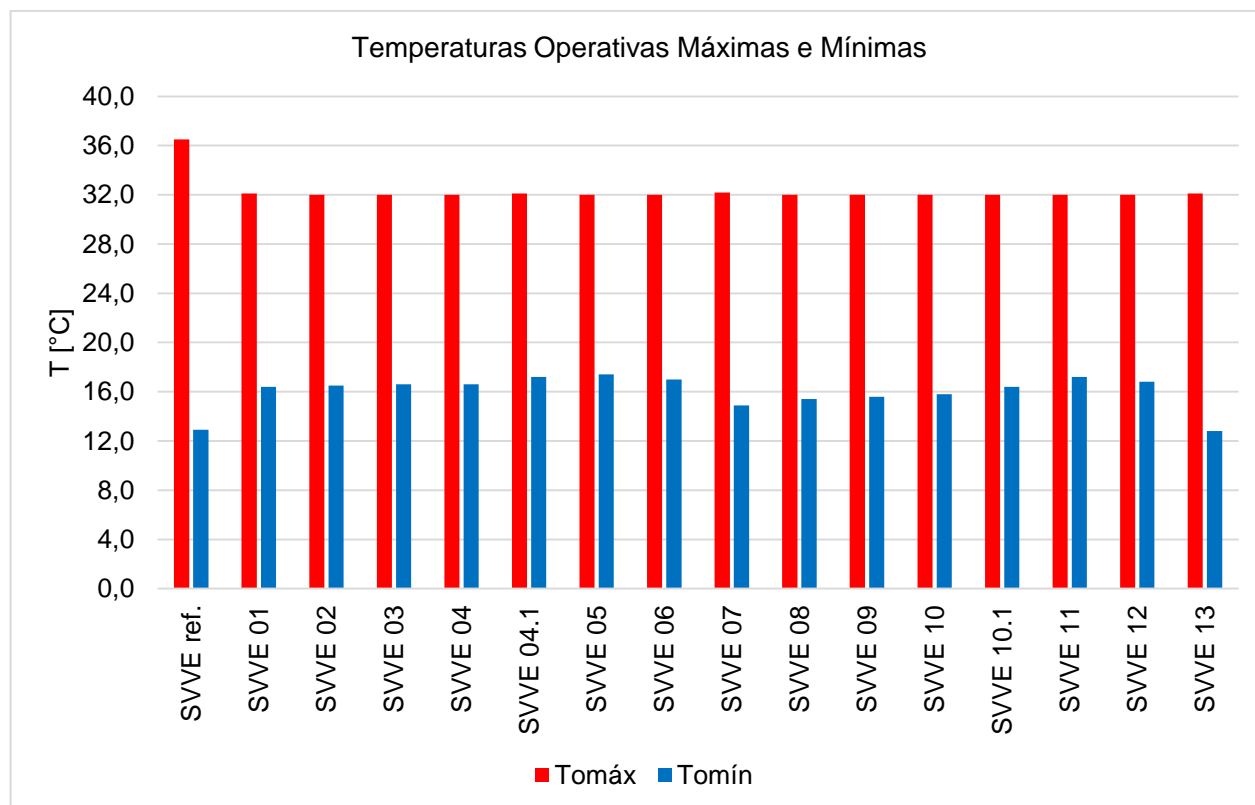
O mesmo pode ser observado, quando analisadas as cargas térmicas de aquecimento. Conforme demonstrado na Figura 5.11, as cargas térmicas para aquecimento dos sistemas construtivos em madeira foram menores que no sistema em alvenaria convencional.

Tabela 5.10. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021^a)

Código	Sistema Construtivo	CgTR	CgTA [kWh/ano]	CgTT	RedCgTT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	5120,1	430,8	5550,9	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	2768,8	86,0	2854,8	48,6
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	2774,2	80,0	2854,2	48,6
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	2771,9	75,0	2846,9	48,7
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	2773,0	72,2	2845,2	48,7
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	2828,1	26,9	2855,0	48,6
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	2840,6	10,3	2850,9	48,6
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	2812,3	24,8	2837,1	48,9
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	2584,1	210,9	2795,0	49,6
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	2626,5	174,0	2800,5	49,5
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	2649,4	158,2	2807,6	49,4
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	2665,1	149,5	2814,6	49,3
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	2719,7	89,3	2809,0	49,4
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	2800,5	30,7	2831,2	49,0
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	2787,1	39,9	2827,0	49,1
SVVE 13	Alvenaria convencional	2396,3	553,1	2949,4	46,9
Critério para o nível intermediário de desempenho térmico					0
Critério para o nível superior de desempenho térmico					≥ 40

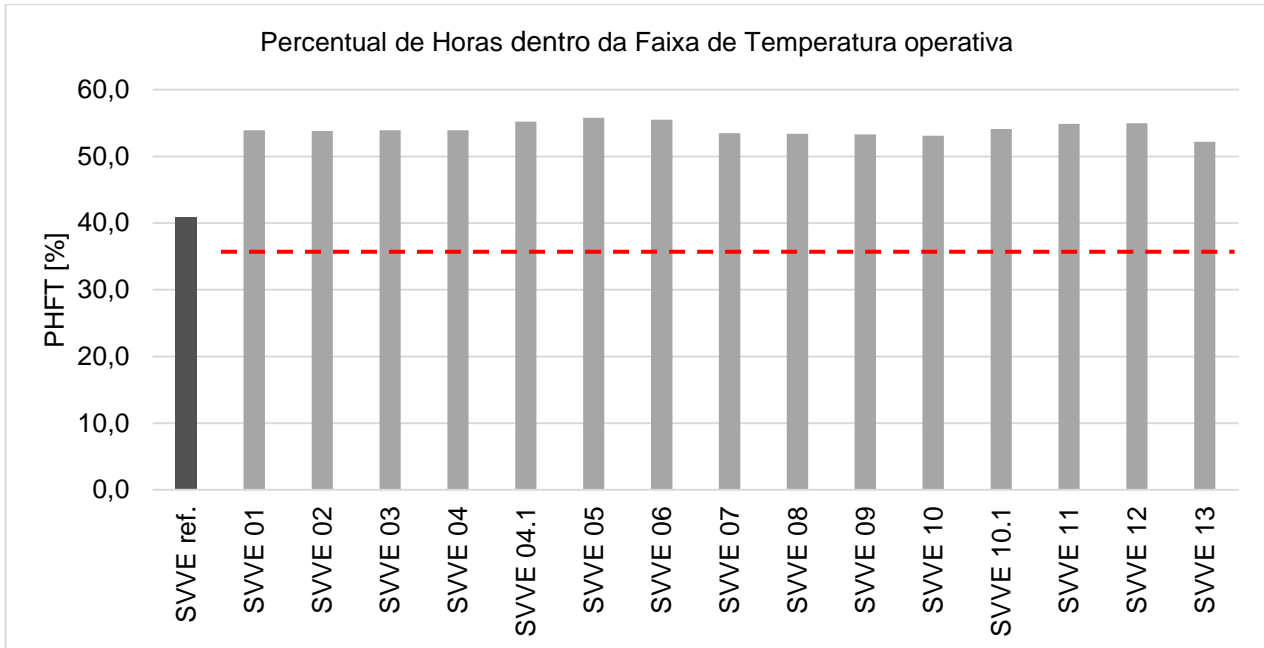
Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.9. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.10. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional

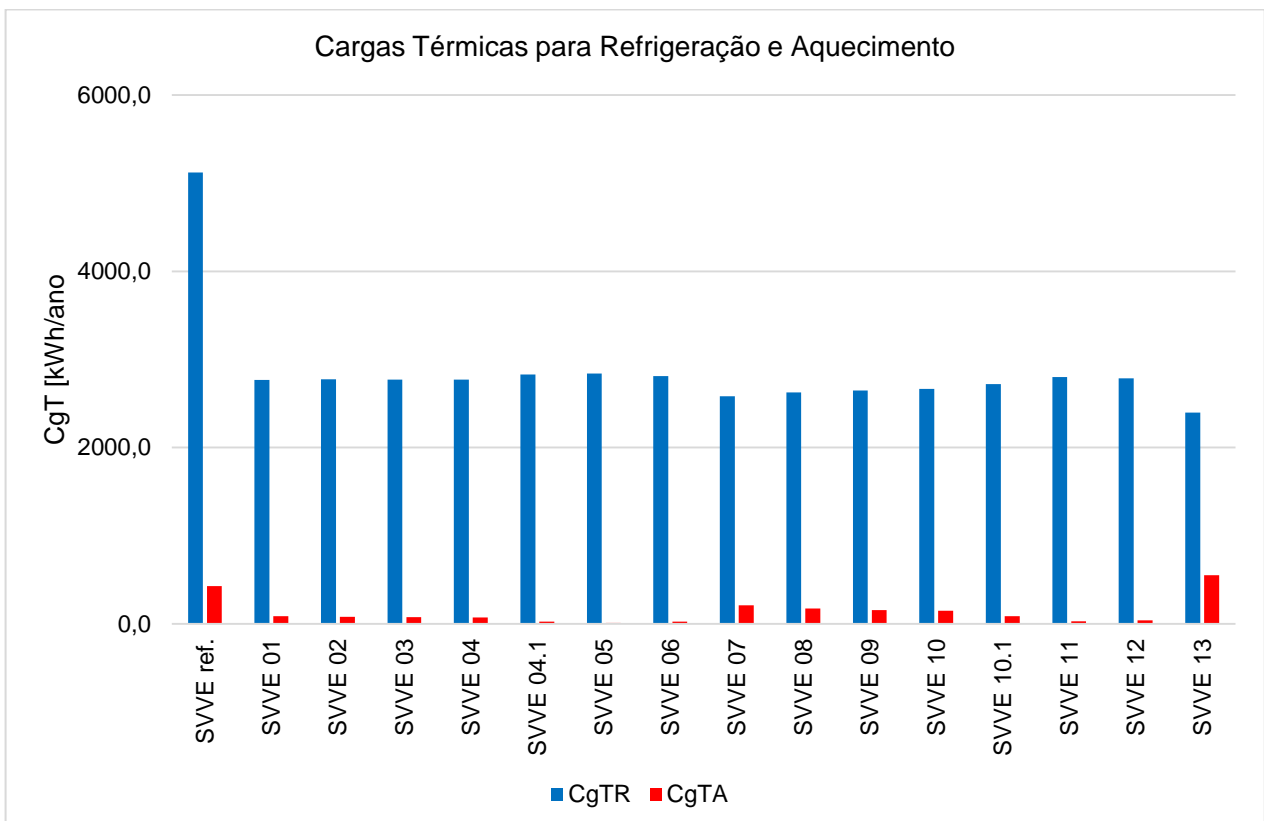


Legenda:

--- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,7%).

Fonte: A autora, 2022.

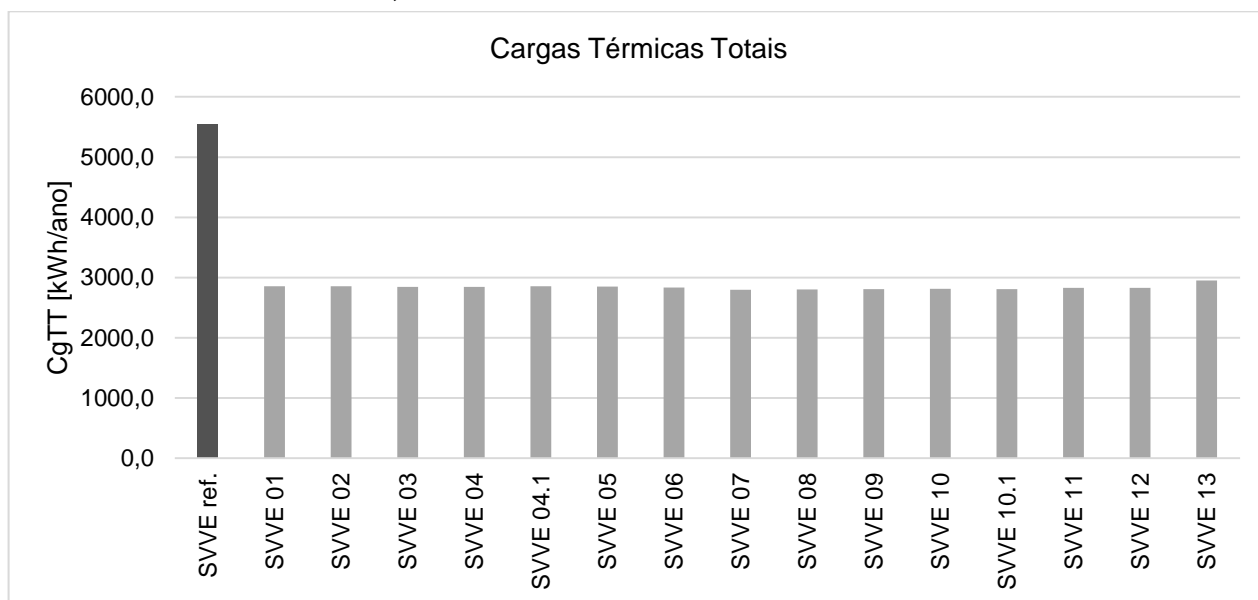
Figura 5.11. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Embora, as temperaturas operativas máximas obtidas sejam quase idênticas, observa-se que a carga térmica para refrigeração dos sistemas construtivos em madeira foi maior que a do sistema construtivo em alvenaria convencional. Porém, conforme ilustrado na Figura 5.12, as cargas térmicas totais dos sistemas construtivos em madeira resultaram menores que no sistema construtivo em alvenaria convencional. Este fato se deve à maior carga térmica de aquecimento demandada pelo sistema construtivo em alvenaria convencional, que compensa a menor carga térmica de refrigeração.

Figura 5.12. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Os Apêndices V, VI e VII apresentam as tabelas de diagnóstico de desempenho dos sistemas em CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, comparados ao modelo de referência da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

5.2.2. Resultados das simulações do modelo “UH unifamiliar em Condomínio”

As simulações do modelo de referência da “UH unifamiliar em condomínio” resultaram na temperatura operativa máxima $To_{máxUH,ref} = 36,9^{\circ}C$, temperatura operativa mínima

$T_{\text{mínUH,ref}} = 12,1^{\circ}\text{C}$, percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa $\text{PHFT}_{\text{UH,ref}} = 40,7\%$ e carga térmica total $\text{CgTT}_{\text{UH,ref}} = 11561,6 \text{ kWh/ano}$.

Com base nesses resultados, e considerando a tolerância estabelecida na norma, os critérios para obtenção do nível mínimo de desempenho térmico dos modelos reais de UH unifamiliar em condomínio ficaram estabelecidos nos seguintes valores: $T_{\text{máxUH,real}} \leq 38,9^{\circ}\text{C}$, a $T_{\text{mínUH,real}} \geq 11,1^{\circ}\text{C}$ e o $\text{PHFT}_{\text{UH,real}} > 36,6\%$. Tais informações estão sintetizadas na Tabela 5.11.

A classificação do desempenho térmico nos níveis intermediário ou superior demanda o atendimento a critérios adicionais, também apresentados na Tabela 5.11. Como o resultado do percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa do modelo de referência ($\text{PHFT}_{\text{UH,ref}}$) ficou menor que 70% ($\text{PHFT}_{\text{UH,ref}} = 40,7\%$), o incremento do PHFT dos modelos reais deve ser $\Delta\text{PHFT} \geq 21,4\%$, tanto para o nível intermediário quanto para o nível superior. Para classificação no nível superior, porém, deve-se adicionalmente obter redução da carga térmica total $\text{RedCgTT} \geq 55\%$, pois a divisão da carga térmica total do modelo de referência ($\text{CgTT}_{\text{UH,ref}}$) pela área total de piso dos APPs resultou em $143,7 \text{ kWh}/(\text{ano.m}^2)$.

Tabela 5.11. Limites estabelecidos pela NBR 15575-1, para determinar o nível de desempenho térmico da UH unifamiliar com base nos resultados da simulação do modelo de referência

Nível de desempenho	Critérios para determinar o nível de desempenho de UH unifamiliar	
Mínimo (M)	$\text{PHFT}_{\text{UH,real}} > 36,6 \%$	
	$T_{\text{máx,real}} \leq 38,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
	$T_{\text{mín,real}} \geq 11,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	
Intermediário (I)	$\text{PHFT}_{\text{UH,ref.}} < 70 \%$	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} \geq 21,4\%$ $\text{RedCgTT}_{\text{mín}} = 0$
	$\text{PHFT}_{\text{UH,ref.}} < 70 \%$	$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}} = 21,4\%$
Superior (S)	Para todos os valores de $\text{PHFT}_{\text{UH,ref.}}$	$\text{RedCgTT}_{\text{mín}} \geq 55\%$, pois $\text{CgTT}_{\text{UH,ref.}} / A_{\text{p,UH}} \geq 100$

LEGENDA:

$\text{PHFT}_{\text{UH,real}}$ = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional real;
 $\text{PHFT}_{\text{UH,ref.}}$ = percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa da unidade habitacional de referência;

$\Delta\text{PHFT}_{\text{mín}}$ percentual mínimo de incremento de horas dentro da faixa de temperatura operativa;

$T_{\text{máx,real}}$ = temperatura operativa máxima da unidade habitacional real;

$T_{\text{mín,real}}$ = temperatura operativa mínima da unidade habitacional real;

$\text{RedCgTT}_{\text{mín}}$ = percentual mínimo de redução das cargas térmicas totais da unidade habitacional;

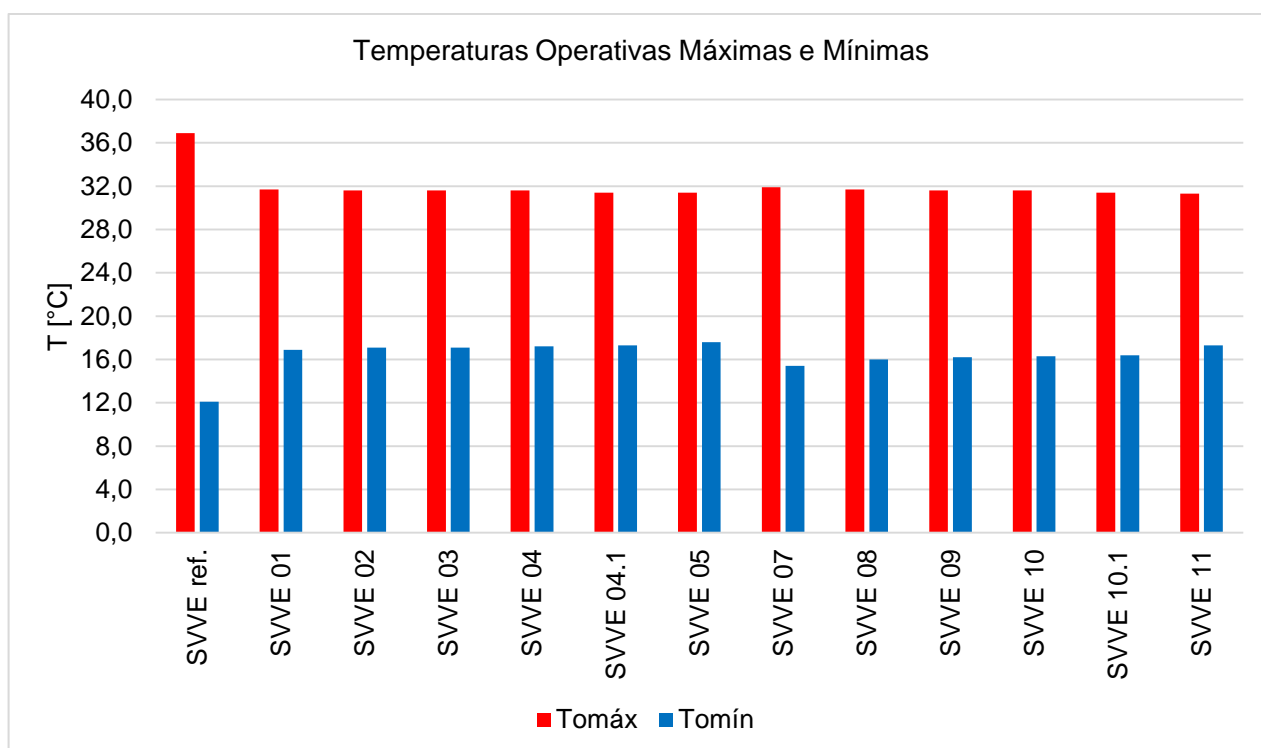
$\text{CgTT}_{\text{UH,ref.}}$ = carga térmica total da unidade habitacional de referência;

$A_{\text{p,UH}}$ = área de piso dos ambientes de permanência prolongada da unidade habitacional.

Fonte: A autora, 2022.

Os sistemas construtivos com aplicação de painéis CLT apresentaram resultados muito semelhantes entre si para o critério de temperatura operativa máxima, conforme apresentado na Figura 5.13. Para o sistema EIFS (SVVE 01 a 05), essa variação ficou na casa de 0,3°C, enquanto que nos sistemas com placa cimentícia (SVVE 07 a 11) a variação foi de 0,6°C. Em comparação com o modelo de referência, a redução das temperaturas operativas máximas ficou entre 5,0°C a 5,6°C, conforme apresentado na Tabela 5.12.

Figura 5.13. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo em CLT



Fonte: A autora, 2022.

Para o critério de temperatura operativa mínima, a diferença entre os sistemas em CLT ficou um pouco mais elevada (Figura 5.13). No sistema EIFS houve uma variação 0,7°C, enquanto que no sistema com placas cimentícias a variação foi de 1,9°C. Em comparação com o modelo de referência, o aumento das temperaturas operativas mínimas ficou entre 3,3°C a 5,5°C (Tabela 5.12). Com base na tolerância que a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) fornece, todos os modelos simulados com o sistema CLT cumprem satisfatoriamente os critérios de temperaturas operativas mínima e máxima como requisito para o nível mínimo de desempenho térmico.

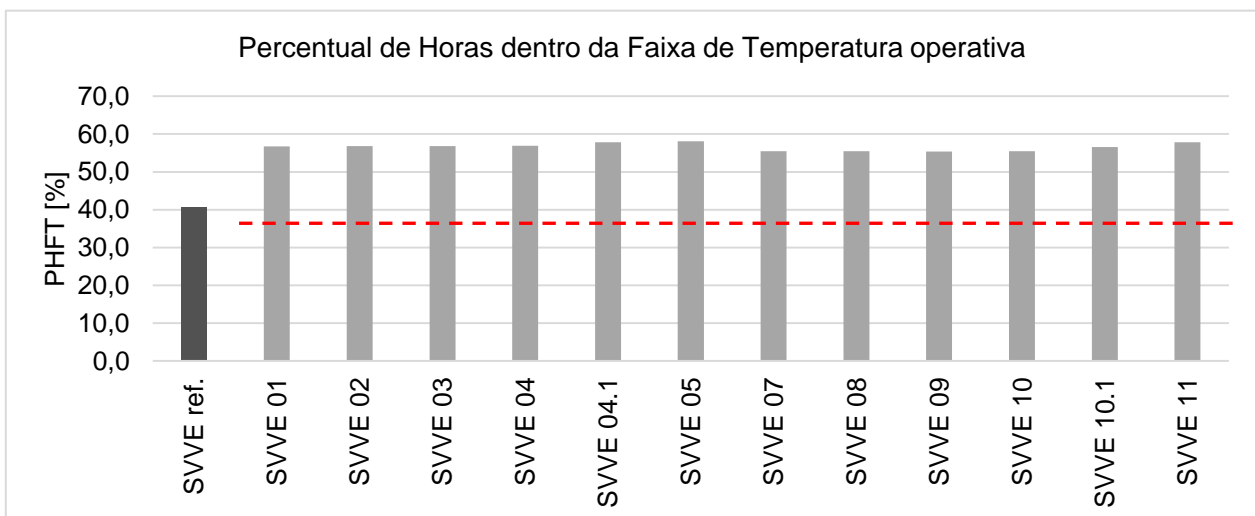
Tabela 5.12. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	To _{máx} [°C]	To _{mín} [°C]	PHFT [%]	ΔPHFT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	36,9	12,1	40,7	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	31,7	16,9	56,7	16,0
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	31,6	17,1	56,8	16,1
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	31,6	17,1	56,8	16,1
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	31,6	17,2	56,9	16,2
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	31,4	17,3	57,8	17,1
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	31,4	17,6	58,1	17,4
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	31,9	15,4	55,5	14,8
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	31,7	16,0	55,5	14,8
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	31,6	16,2	55,4	14,7
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	31,6	16,3	55,5	14,8
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	31,4	16,4	56,6	15,9
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	31,3	17,3	57,8	17,1
Crítérios para o nível mínimo de desempenho térmico					-
Crítérios para o nível intermediário de desempenho térmico					≤ 38,9 ≥ 11,1 > 36,6
Crítérios para o nível superior de desempenho térmico					≥ 21,4

Fonte: A autora, 2022.

Com relação ao PHFT da UH, a variação dos percentuais foi de 1,4% entre os sistemas EIFS e 2,4% entre os sistemas com placas cimentícias. Todos os sistemas cumpriram o limite mínimo de percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT > 36,6%), conforme ilustrado na Figura 5.14.

Figura 5.14. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT



Legenda:

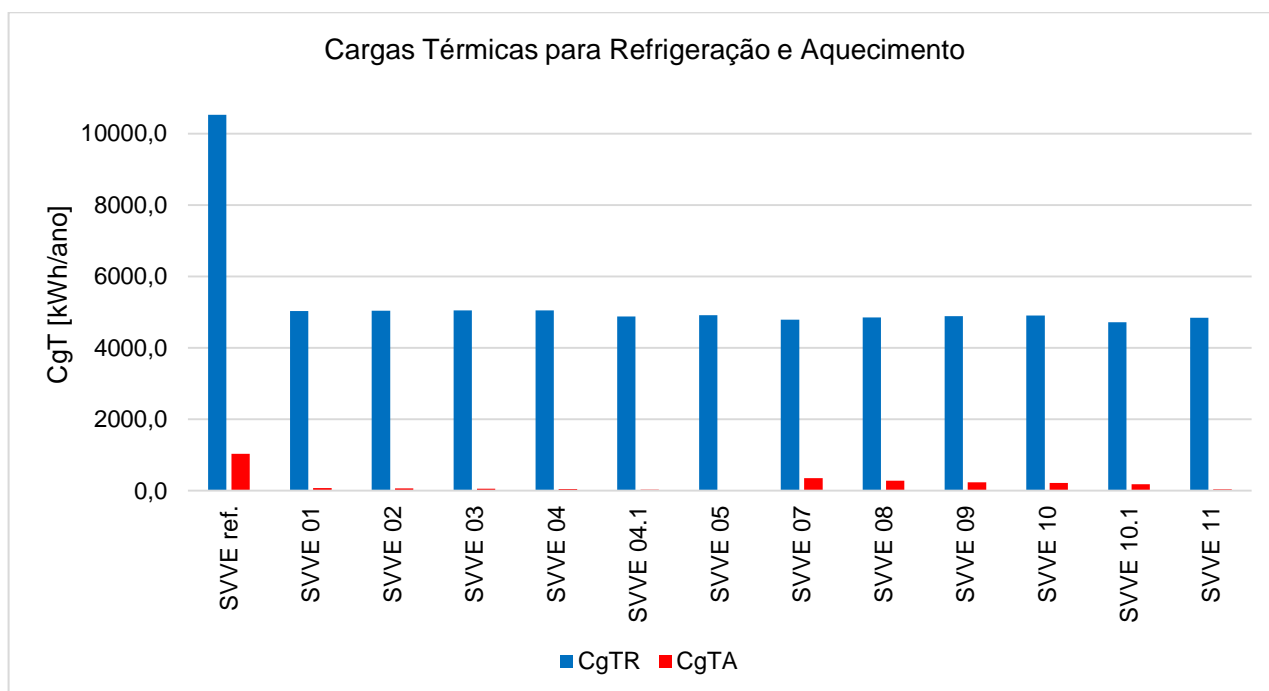
--- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,6%).

Fonte: A autora, 2022.

Além disso, houve um incremento de horas dentro da faixa de temperatura operativa (Δ PHFT) ao longo do ano, o que elevou o resultado total entre 14,7% a 17,4% em relação ao modelo de referência. Para obter os níveis intermediário e superior de desempenho térmico, o incremento mínimo de horas dentro da faixa de temperatura operativa deveria ser Δ PHFT \geq 21,4%. Sendo assim, nenhum dos sistemas analisados cumpriu tal requisito.

Após executar as simulações computacionais considerando o uso de ventilação natural, foram realizadas simulações considerando a condição sem ventilação natural para determinar as cargas térmicas totais de refrigeração e aquecimento dos modelos reais, conforme ilustra a Figura 5.15.

Figura 5.15. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT



Fonte: A autora, 2022.

As cargas térmicas para refrigeração dos sistemas EIFS (SVVE 01 a 05) apresentaram variação de 170,8 kWh/ano, enquanto que nos sistemas com placas cimentícias (SVVE 07 a 11), a variação foi de 184,3 kWh/ano. Com relação às cargas térmicas para aquecimento, a variação nos sistemas EIFS foi de 72,9 kWh/ano e nos sistemas com placas cimentícias foi de 315,7 kWh/ano. A variação das cargas térmicas totais dos sistemas EIFS foi de

195,8 kWh/ano e dos sistemas com placas cimentícias de 261,5 kWh/ano. A Tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos para as cargas térmicas do modelo de referência e dos modelos no sistema construtivo em CLT.

Tabela 5.13. Resultados das simulações sem ventilação natural UH unifamiliar em condomínio com o sistema construtivo CLT e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

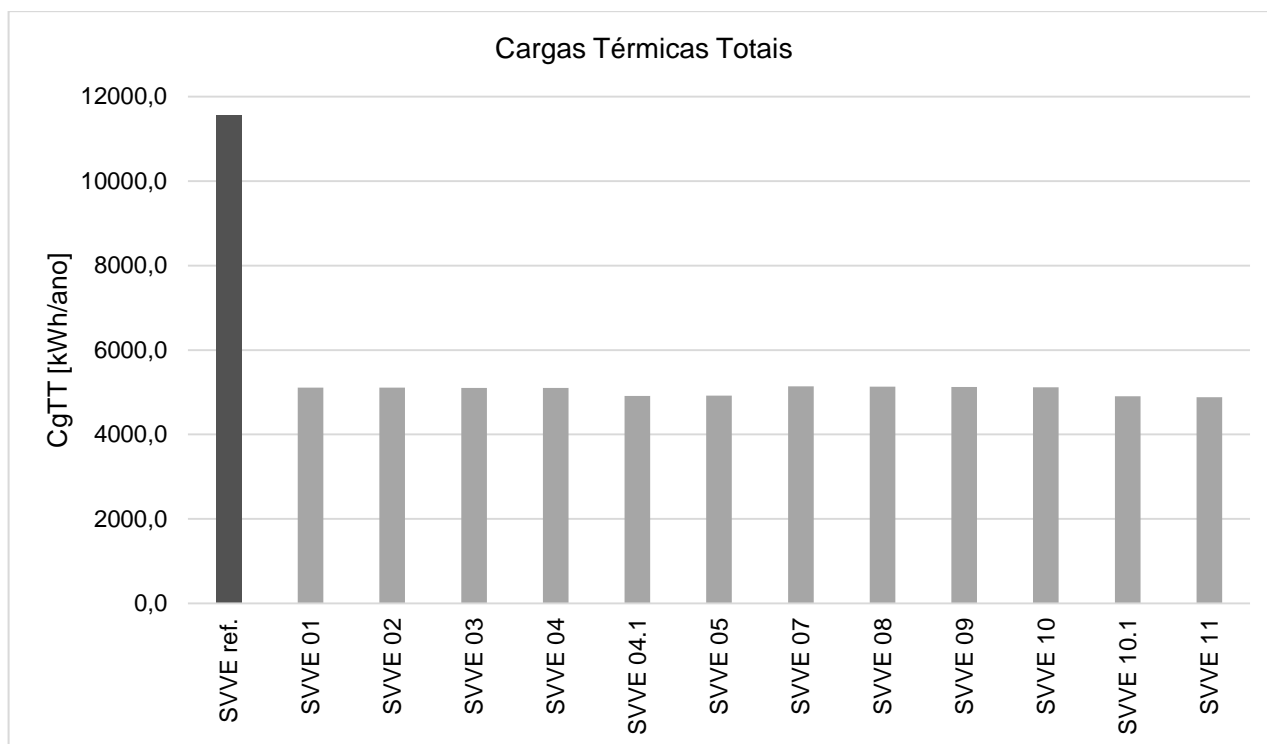
Código	Sistema Construtivo	CgTR	CgTA [kWh/ano]	CgTT	RedCgTT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	10524,9	1036,7	11561,6	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	5031,1	78,3	5109,4	55,8
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	5043,8	65,2	5109,0	55,8
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	5049,0	56,4	5105,4	55,8
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	5051,4	50,8	5102,2	55,9
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	4880,6	33,0	4913,6	57,5
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	4914,2	5,4	4919,6	57,4
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	4787,3	354,9	5142,2	55,5
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	4855,7	276,6	5132,3	55,6
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	4891,2	235,8	5127,0	55,7
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	4904,3	216,4	5120,7	55,7
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	4720,0	184,0	4904,0	57,6
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	4841,5	39,2	4880,7	57,8
Critério para o nível intermediário de desempenho térmico					0
Critério para o nível superior de desempenho térmico					≥ 55

Fonte: A autora, 2022.

Destaca-se que nos SVVEs 04.1, 05, 10.1 e 11 foram observadas reduções maiores nas cargas térmicas de refrigeração, de aquecimento e totais em relação aos demais sistemas, conforme ilustrado na Figura 5.16. Isso se deve à maior espessura da laje e, conseqüentemente, maior isolamento térmico da cobertura.

Com relação ao modelo de referência, os sistemas com painéis CLT apresentaram redução nas cargas térmicas para refrigeração variando entre 52,0% a 55,2%, e redução nas cargas térmicas para aquecimento variando entre 65,8% a 99,5%. A redução das cargas térmicas totais (RedCgTT) variou entre 55,5% a 57,8%. Sendo assim, todos os sistemas com painéis CLT cumpriram com os requisitos mínimos de redução de carga térmica total para obter os níveis intermediário (RedCgTT = 0) e superior (RedCgTT ≥ 55%) de desempenho térmico estipulados pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Figura 5.16. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com o sistema construtivo CLT



Fonte: A autora, 2022.

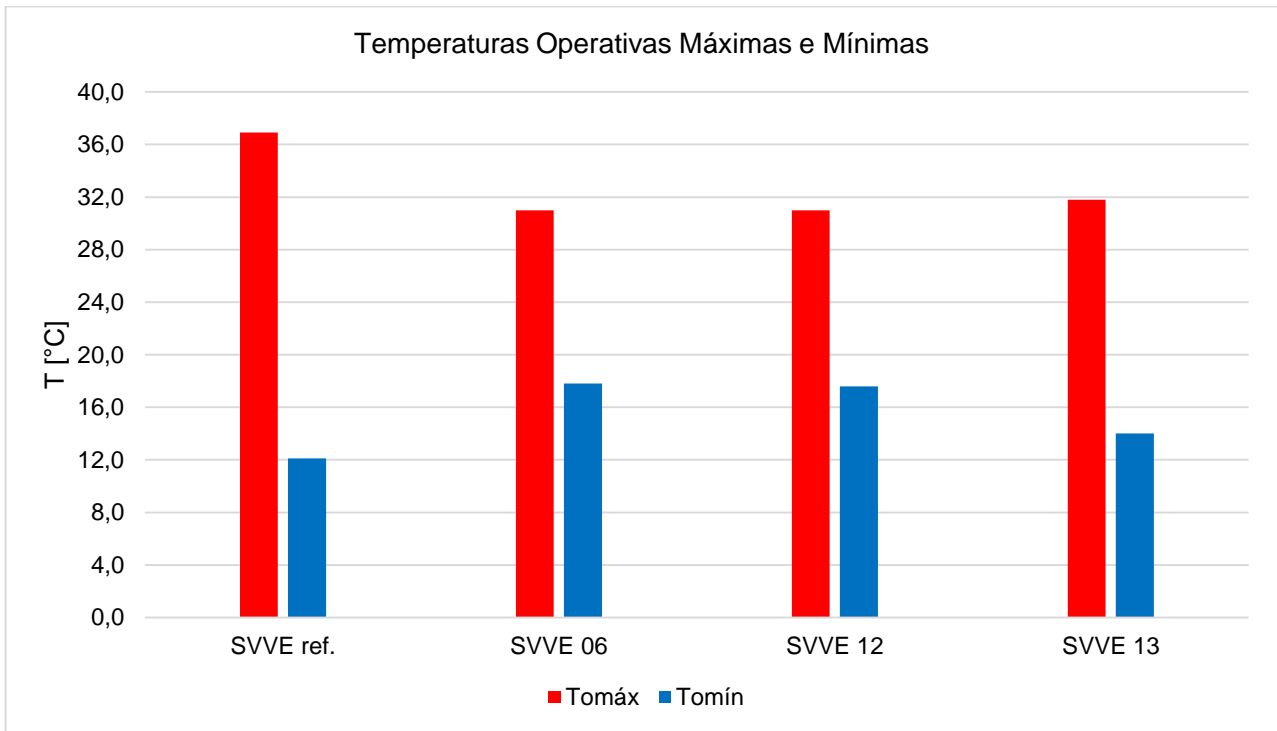
Esses resultados indicam que a aplicação dos painéis CLT analisados pode implicar numa redução de consumo energético ao longo do ano em relação ao modelo de referência, com destaque maior para a redução das cargas térmicas de aquecimento, conforme apresentado na Figura 5.15. Contudo, considerando a análise dos resultados para a condição de ventilação natural, especificamente o critério de incremento do percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa ($\Delta\text{PHFT} \geq 21,4\%$), nenhum dos sistemas analisados poderia ser classificado com o nível superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Após as simulações dos sistemas construtivos em CLT, foram simulados os modelos nos sistemas construtivos em *wood frame* (SVVEs 06 e 12) e alvenaria convencional (SVVE 13). Os sistemas construtivos em *wood frame* apresentaram resultados muito semelhantes entre si para os critérios de $T_{\text{máx}}$, $T_{\text{mín}}$ e PHFT, conforme apresentado nas Figuras 5.17 e 5.18.

Para o sistema EIFS (SVVE 06) e o sistema com placas cimentícias (SVVE 12) a $T_{\text{máx}}$ foi a mesma, enquanto que a variação da $T_{\text{mín}}$ foi de $0,2^{\circ}\text{C}$ e a variação do PHFT foi de $0,1\%$ entre os dois sistemas, conforme apresentado na Tabela 5.14. Quando comparados ao modelo de

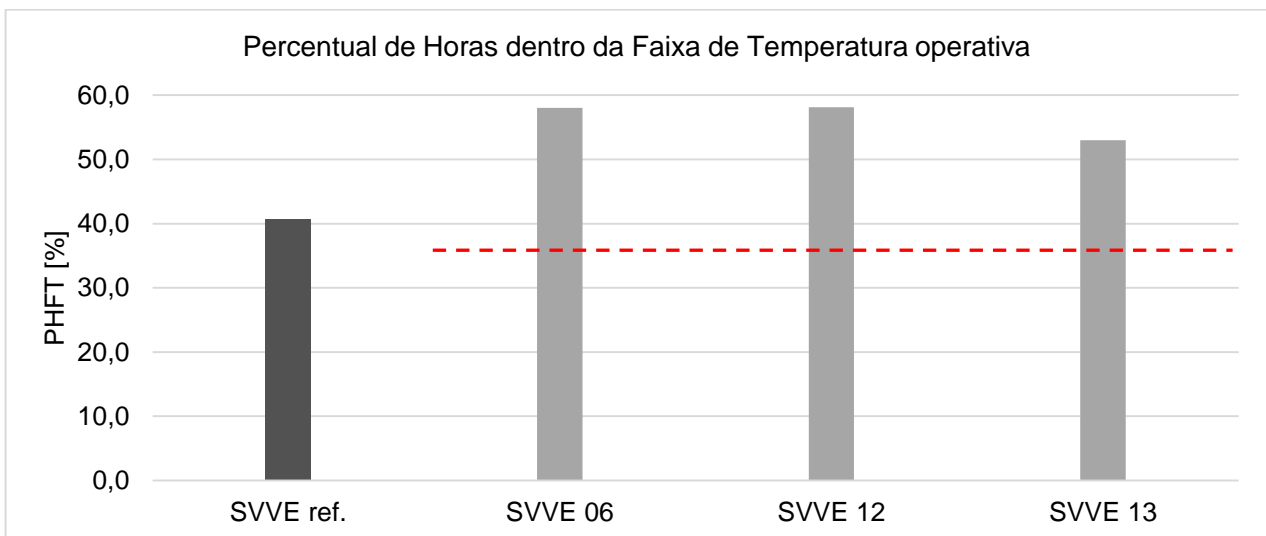
referência, a redução da $T_{o\text{máx}}$ foi de $5,9^{\circ}\text{C}$, o aumento da $T_{o\text{mín}}$ ficou entre $5,5$ e $5,7^{\circ}\text{C}$ e o ΔPHFT ficou entre $17,3\%$ e $17,4\%$. Já no sistema construtivo em alvenaria convencional, a $T_{o\text{máx}}$ foi de $31,8^{\circ}\text{C}$, a $T_{o\text{mín}}$ foi de $14,0^{\circ}\text{C}$ e o ΔPHFT foi de $12,3\%$.

Figura 5.17. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.18. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Legenda:

--- PHFT mínimo para os modelos reais ($> 36,6\%$).

Fonte: A autora, 2022.

Tabela 5.14. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	To _{máx} [°C]	To _{mín} [°C]	PHFT [%]	ΔPHFT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	36,9	12,1	40,7	-
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	31,0	17,8	58,0	17,3
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	31,0	17,6	58,1	17,4
SVVE 13	Alvenaria convencional	31,8	14,0	53,0	12,3
Critérios para o nível mínimo de desempenho térmico					-
Critérios para o nível intermediário de desempenho térmico		≤ 38,9	≥ 11,1	> 36,6	≥ 21,4
Critérios para o nível superior de desempenho térmico					

Fonte: A autora, 2022.

Com base na tolerância que a NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) fornece, os dois modelos simulados com o sistema *wood frame* e o modelo simulado em alvenaria convencional cumprem de maneira satisfatória os critérios de temperaturas operativas mínima e máxima e percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa previstos como requisito para o nível mínimo de desempenho térmico.

Para obter os níveis intermediário e superior de desempenho térmico, o incremento mínimo de horas dentro da faixa de temperatura operativa deve ser $\Delta\text{PHFT} \geq 21,4\%$. Sendo assim, nenhum dos modelos cumpriu o requisito.

A Tabela 5.15 apresenta os resultados obtidos para as cargas térmicas do modelo de referência e dos modelos nos sistemas construtivos em *wood frame* e alvenaria convencional. Os sistemas em *wood frame* apresentaram variação entre si de 27,3 kWh/ano, entre as cargas térmicas para refrigeração, 3,3 kWh/ano entre as cargas térmicas para aquecimento e 24,0 kWh/ano entre as cargas térmicas totais.

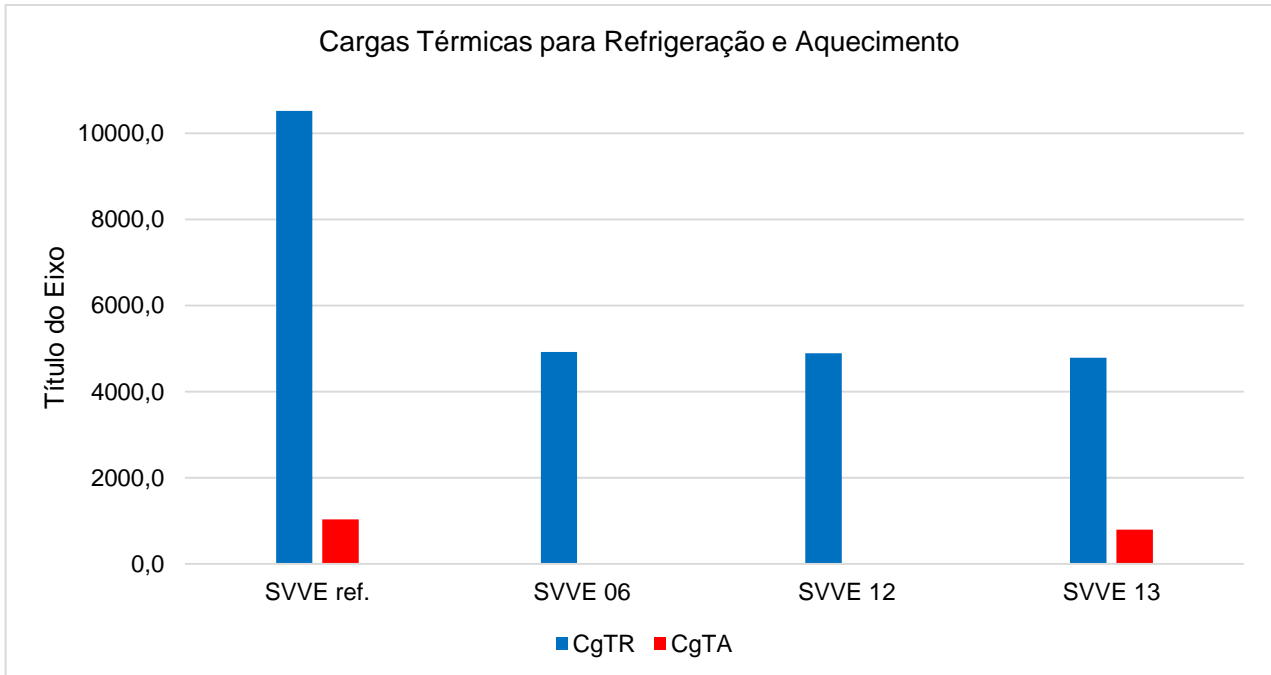
Tabela 5.15. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	CgTR	CgTA [kWh/ano]	CgTT	RedCgTT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	10524,9	1036,7	11561,6	-
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	4921,4	1,2	4922,6	57,4
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	4894,1	4,5	4898,6	57,6
SVVE 13	Alvenaria convencional	4790,2	795,4	5585,6	51,7
Critério para o nível intermediário de desempenho térmico					0
Critério para o nível superior de desempenho térmico					≥ 55

Fonte: A autora, 2022.

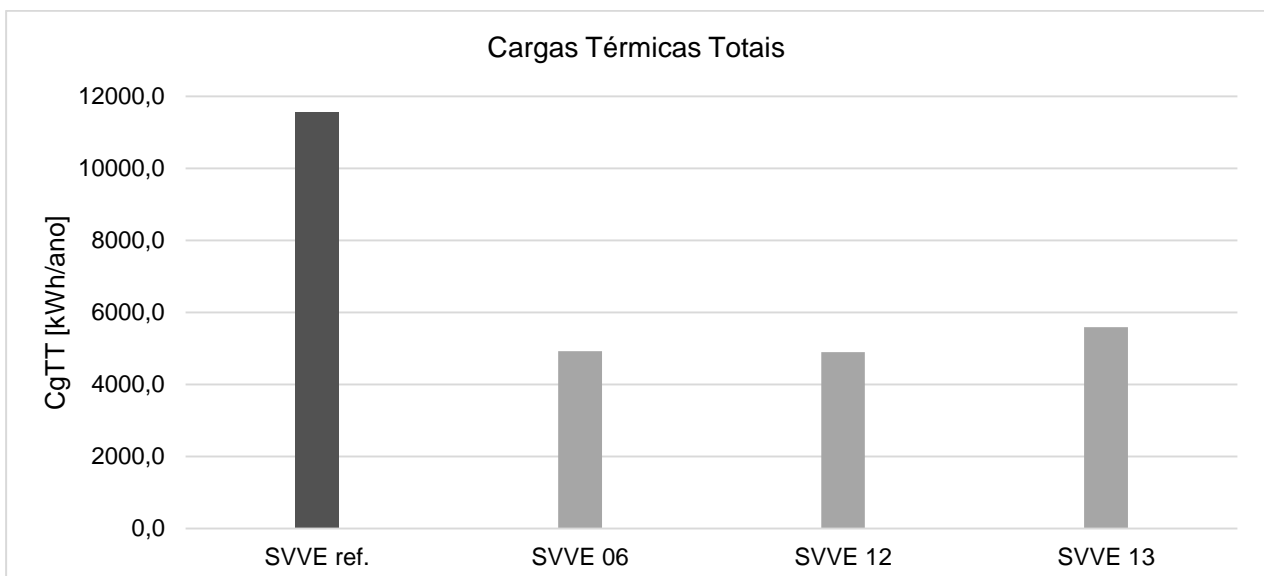
A Figura 5.19 apresenta os resultados das cargas térmicas de refrigeração e de aquecimento dos sistemas construtivos em *wood frame* e alvenaria convencional e a Figura 5.20 as cargas térmicas totais. Destaca-se na Figura 5.19 a quase nula carga térmica de aquecimento dos sistemas construtivos em *wood frame*.

Figura 5.19. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.20. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Com relação ao modelo de referência, os sistemas construtivos em *wood frame* apresentaram reduções de cargas térmicas totais entre 57,4% e 57,6%. Sendo assim, tais sistemas construtivos cumprem o critério de $RedCgTT_{min}$ estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) para serem classificados com o nível superior de desempenho térmico. Contudo, por não terem cumprido com o critério de $\Delta PHFT \geq 21,4\%$, os sistemas construtivos em *wood frame* não podem ser classificados com nível acima do mínimo. Já o sistema construtivo em alvenaria convencional cumpre com o critério de $RedCgTT_{min}$ apenas para o nível intermediário ($RedCgTT_{min} = 0$). Porém, por não ter cumprido com o critério de $\Delta PHFT \geq 21,4\%$, tal sistema não pode ser classificado com nível acima do mínimo.

Para finalizar a análise do modelo unifamiliar “UH unifamiliar em condomínio”, relata-se um comparativo geral entre todos os sistemas construtivos propostos. Nas Tabelas 5.16 e 5.17 é possível observar que o comportamento térmico dos sistemas em CLT e em *wood frame* é muito semelhante, tanto para os revestidos com EIFS, quanto para os com placas cimentícias.

Tabela 5.16. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Código	Sistema Construtivo	$T_{o_{máx}}$ [°C]	$T_{o_{mín}}$ [°C]	PHFT [%]	$\Delta PHFT$ [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	36,9	12,1	40,7	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	31,7	16,9	56,7	16,0
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	31,6	17,1	56,8	16,1
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	31,6	17,1	56,8	16,1
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	31,6	17,2	56,9	16,2
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	31,4	17,3	57,8	17,1
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	31,4	17,6	58,1	17,4
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	31,0	17,8	58,0	17,3
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	31,9	15,4	55,5	14,8
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	31,7	16,0	55,5	14,8
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	31,6	16,2	55,4	14,7
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	31,6	16,3	55,5	14,8
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	31,4	16,4	56,6	15,9
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	31,3	17,3	57,8	17,1
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	31,0	17,6	58,1	17,4
SVVE 13	Alvenaria convencional	31,8	14,0	53,0	12,3
Critérios para o nível mínimo de desempenho térmico					-
Critérios para o nível intermediário de desempenho térmico		$\leq 38,9$	$\geq 11,1$	$> 36,6$	$\geq 21,4$
Critérios para o nível superior de desempenho térmico					$\geq 21,4$

Fonte: A autora, 2022.

Tabela 5.17. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional e critérios para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

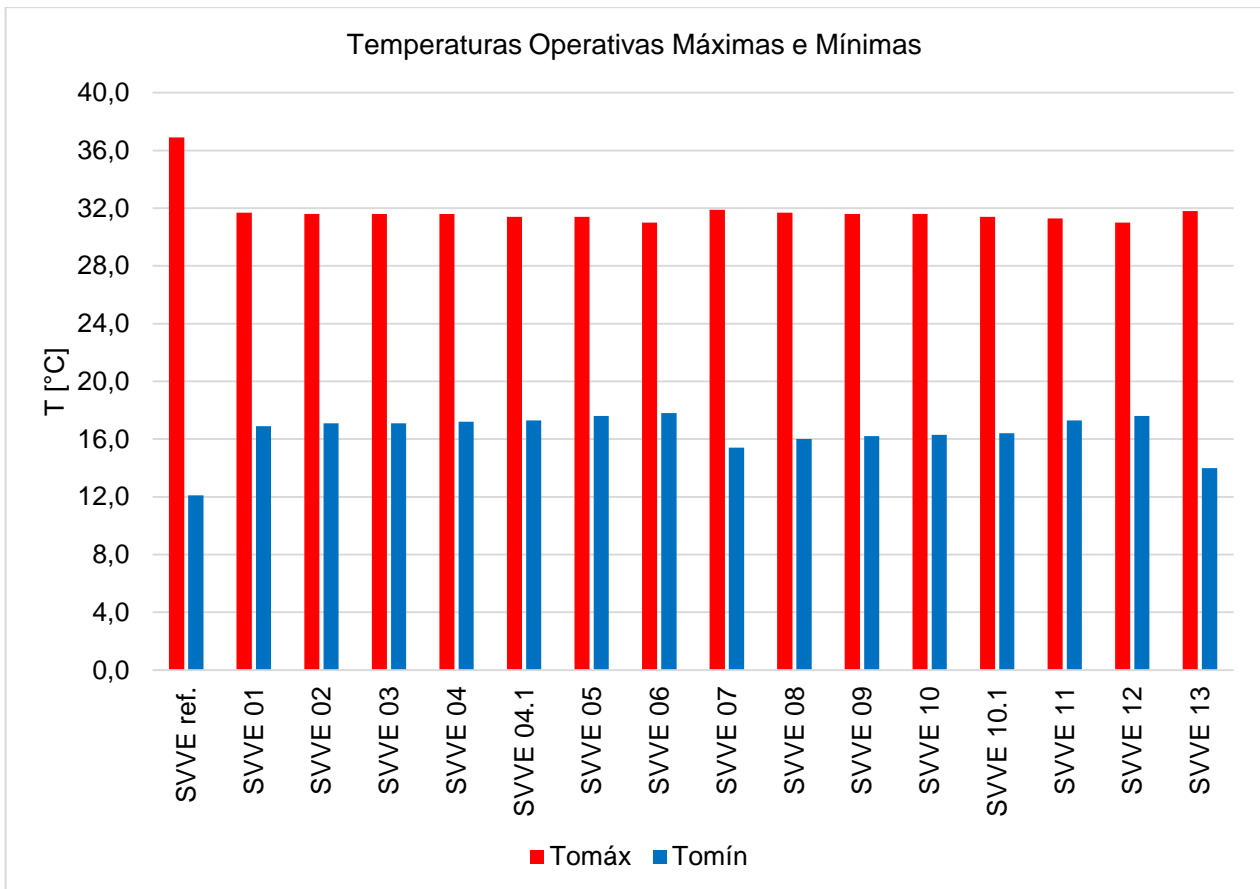
Código	Sistema Construtivo	CgTR	CgTA [kWh/ano]	CgTT	RedCgTT [%]
SVVE ref.	Modelo de referência	10524,9	1036,7	11561,6	-
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm com laje 120 mm	5031,1	78,3	5109,4	55,8
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm com laje 120 mm	5043,8	65,2	5109,0	55,8
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm com laje 120 mm	5049,0	56,4	5105,4	55,8
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm com laje 120 mm	5051,4	50,8	5102,2	55,9
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm com laje 250 mm	4880,6	33,0	4913,6	57,5
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm com laje 250 mm	4914,2	5,4	4919,6	57,4
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	4921,4	1,2	4922,6	57,4
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm com laje 120 mm	4787,3	354,9	5142,2	55,5
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm com laje 120 mm	4855,7	276,6	5132,3	55,6
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm com laje 120 mm	4891,2	235,8	5127,0	55,7
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 120 mm	4904,3	216,4	5120,7	55,7
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm com laje 250 mm	4720,0	184,0	4904,0	57,6
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm com laje 250 mm	4841,5	39,2	4880,7	57,8
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	4894,1	4,5	4898,6	57,6
SVVE 13	Alvenaria convencional	4790,2	795,4	5585,6	51,7
Critério para o nível intermediário de desempenho térmico					0
Critério para o nível superior de desempenho térmico					≥ 55

Fonte: A autora, 2022.

Todos os sistemas construtivos em madeira (CLT e *wood frame*) apresentaram melhor desempenho térmico nas condições de inverno quando comparados ao sistema em alvenaria convencional, refletido nas maiores temperaturas operativas mínimas e nos maiores percentuais de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT), conforme ilustrado nas Figuras 5.21 e 5.22. O mesmo ocorre quando analisadas as cargas térmicas de aquecimento. Conforme apresentado na Figura 5.23, as cargas térmicas para aquecimento dos sistemas construtivos em madeira foram menores que no sistema em alvenaria convencional.

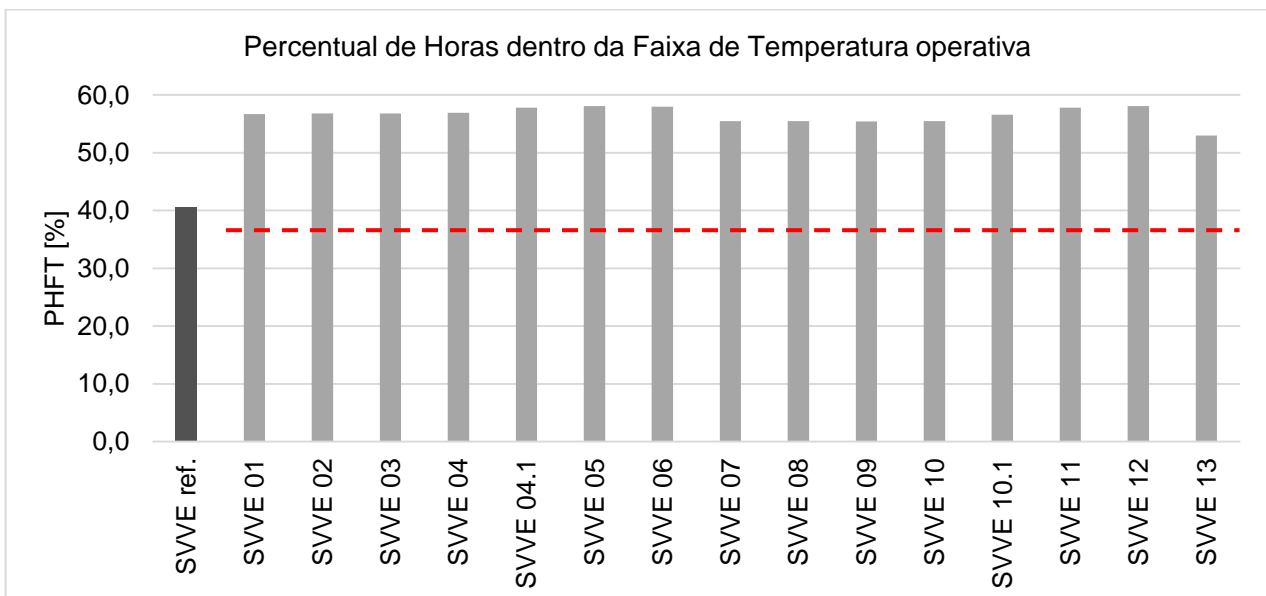
Embora, as temperaturas operativas máximas tenham resultado próximas, observa-se que a carga térmica para refrigeração na maioria dos sistemas construtivos em madeira foi superior à do sistema construtivo em alvenaria convencional. Porém, conforme ilustrado na Figura 5.24, as cargas térmicas totais dos sistemas construtivos em madeira resultaram menores que no sistema construtivo em alvenaria convencional. Esse fato se deve à maior carga térmica de aquecimento demandada pelo sistema construtivo em alvenaria convencional, que compensa a menor carga térmica de refrigeração.

Figura 5.21. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.22. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional

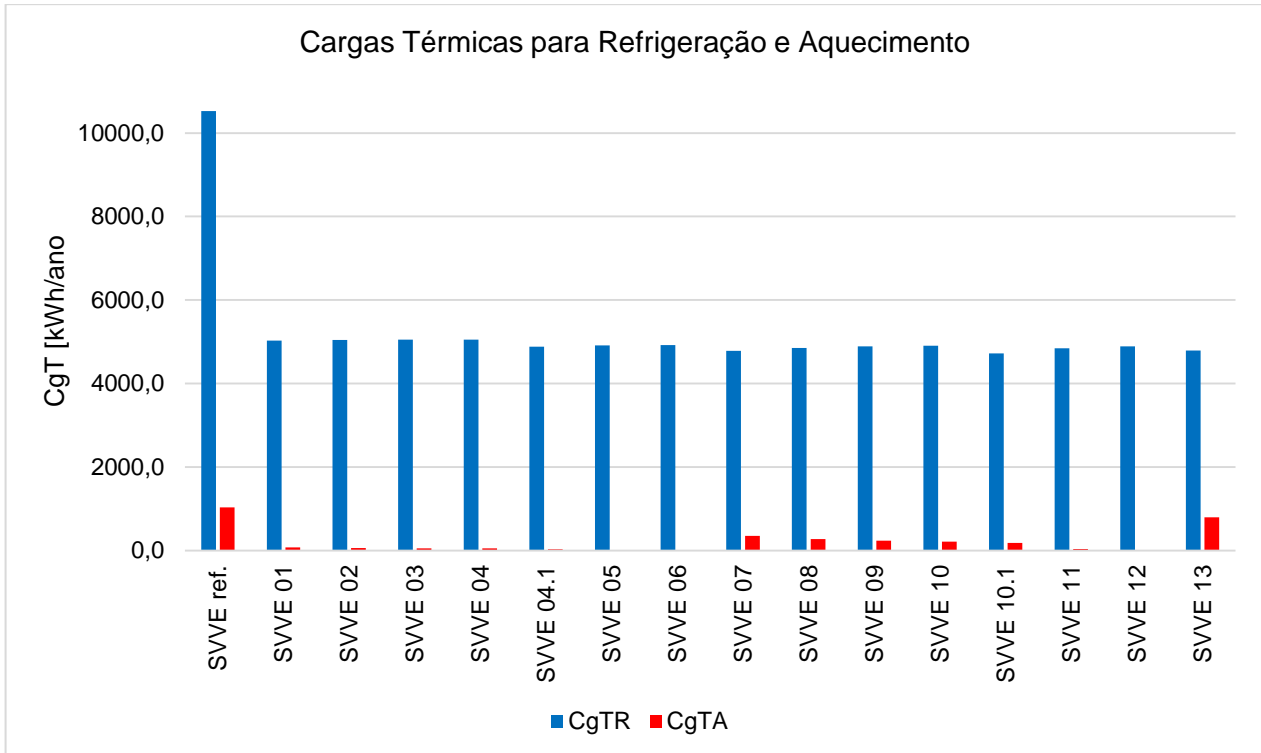


Legenda:

--- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,6%).

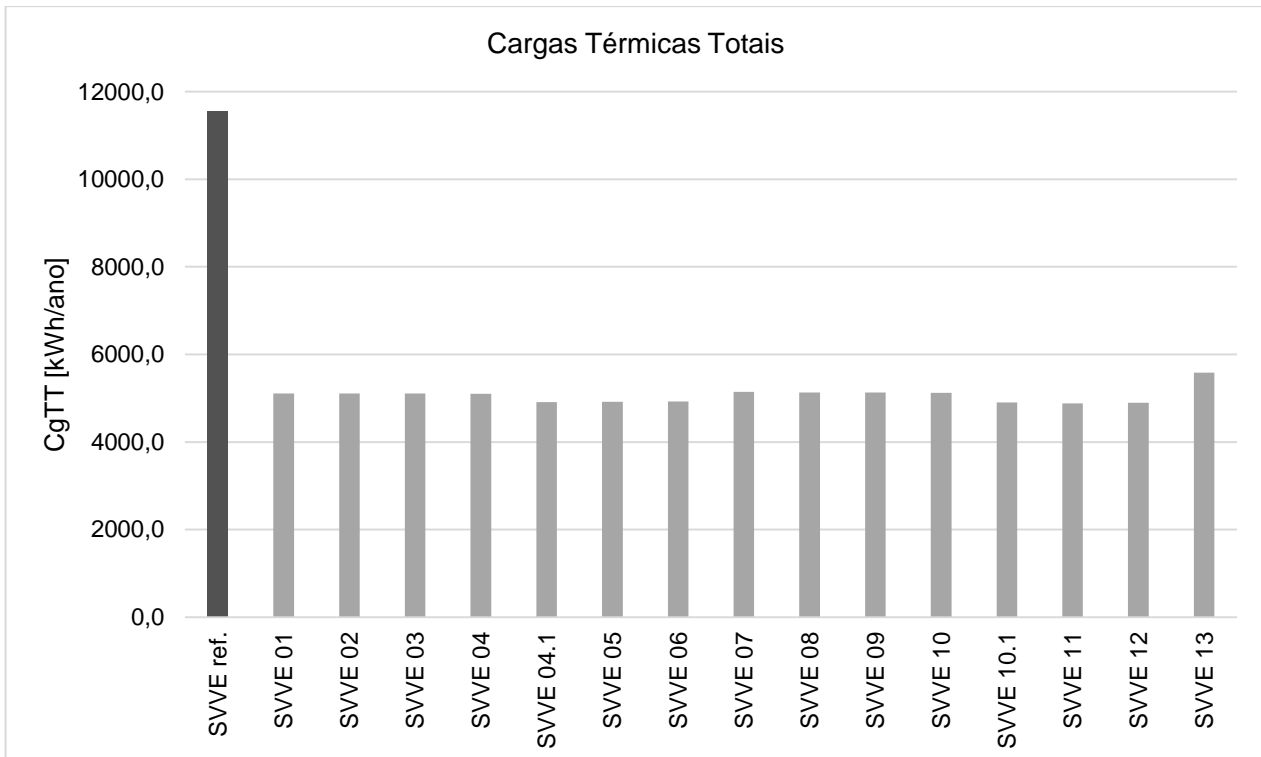
Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.23. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.24. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional



Fonte: A autora, 2022.

Os Apêndices V, VI e VII apresentam as tabelas de diagnóstico de desempenho dos sistemas em CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, comparados ao modelo de referência da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

5.3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DOS MODELOS HABITACIONAIS COM A SUBSTITUIÇÃO DOS VIDROS

Com base nos resultados apresentados nos tópicos 5.2.1 e 5.2.2, optou-se por realizar novas simulações dos modelos habitacionais, substituindo o vidro de espessura 3 mm padrão da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) por vidro (ou conjunto de vidros) de melhor desempenho térmico, de modo a verificar como esses elementos alterariam o desempenho térmico geral dos sistemas construtivos.

Para a escolha dos novos vidros, foi considerado como critério o $\Delta PHFT$ necessário para que a maior parte dos sistemas construtivos pudessem alcançar o nível superior de desempenho térmico quando aplicados ao clima de Foz do Iguaçu - PR. Também foram consideradas as propriedades térmicas dos vidros apresentadas no Anexo N° 50/2013 da Portaria INMETRO (INMETRO, 2015), conforme detalhado no tópico 4.4.3.

Por meio do *software Berkeley Lab Window* versão.7.8.28.0, foi possível determinar a diferença entre a transmitância térmica (U), o coeficiente de ganho de calor (SHGC) e a transmissão de luz visível (T_{vis}) dos vidros utilizados, ou seja, vidro 3 mm padrão da norma e vidro verde laminado 8 mm “Cool-Lite SKN Verde” quando considerados na condição ambiental “NFRC 100” (*National Fenestration Rating Council Incorporated* 100). Essas propriedades térmicas também foram simuladas considerando o vidro verde laminado 8 mm, porém insulado (vidro verde laminado com 8 mm de espessura “Cool-Lite SKN Verde” com câmara de ar com 12 mm de espessura, acrescido de nova camada de vidro verde laminado com 8 mm de espessura “Cool-Lite SKN Verde”) também na condição ambiental “NFRC 100”.

Com relação a transmitância térmica, o vidro 3 mm padrão da norma apresentou $U = 5,90 \text{ W/m}^2\text{K}$, o vidro verde $U = 5,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ e o vidro insulado $U = 2,67 \text{ W/m}^2\text{K}$. A maior variação

observada foi para o vidro verde insulado, que apresentou redução na ordem de 47% em relação aos demais. O coeficiente de ganho de calor foi de $SHGC = 0,863$ para o vidro 3 mm, $SHGC = 0,337$ para o vidro verde e $SHGC = 0,183$ para o vidro verde insulado. As reduções foram de 39% para o vidro verde e 54% para o vidro verde insulado, quando comparados ao vidro 3 mm. A transmissão de luz visível foi $T_{vis} = 0,898$ para o vidro 3 mm, $T_{vis} = 0,460$ para o vidro verde e $T_{vis} = 0,218$ para o vidro verde insulado. Com relação ao vidro 3 mm padrão da norma, as reduções de transmissão de luz visível foram de 47% para o vidro verde e 51% para o vidro verde insulado.

Esses resultados indicam que a substituição do vidro 3 mm padrão da norma por vidro verde laminado 8 mm “Cool-Lite SKN Verde” ou composição de vidro verde laminado 8 mm “Cool-Lite SKN Verde” mais câmara de ar (vidro verde insulado) nas vedações verticais pode favorecer o desempenho térmico dos modelos de simulação analisados.

Sendo assim, no modelo “UH multifamiliar geminada”, foi aplicado o vidro verde, com espessura de 8 mm. Essa escolha se deveu ao fato de que, nas simulações realizadas, a maior parte dos sistemas construtivos requerer pouco incremento no PHFT para que fossem classificados como nível superior de desempenho térmico.

No modelo “UH unifamiliar em condomínio”, o mesmo vidro verde laminado com espessura de 8 mm, porém insulado (vidro verde 8 mm + câmara de ar 12 mm + vidro verde 8 mm). Nesse caso, entendeu-se que a utilização de somente uma camada de vidro de melhor desempenho térmico não seria suficiente para proporcionar o incremento no PHFT necessário, tendo em vista que os resultados das simulações iniciais indicaram considerável distância entre o desempenho apresentado e o necessário para que fossem classificados com nível superior.

5.3.1. Resultados das simulações do modelo UH multifamiliar geminada com o vidro verde

Nesse tópico serão apresentados os resultados das novas simulações para o modelo - UH multifamiliar geminada - com a substituição do vidro 3 mm padrão da norma pelo vidro verde 8 mm.

A Tabela 5.18 apresenta os resultados das simulações na condição de uso de ventilação natural. Após a substituição dos vidros das aberturas, todos os sistemas simulados passaram a atender o critério do nível superior de desempenho térmico estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), tendo em vista que os Δ PHFTs ficaram maiores que o limite mínimo exigido para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico (Δ PHFT \geq 13,4).

Tabela 5.18. Resultados das simulações com ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde 8 mm

Código	Sistema Construtivo	$T_{o\text{máx}}$		$T_{o\text{mín}}$		PHFT		Δ PHFT	
		[°C]		[°C]		[%]		[%]	
SVVE ref.	Modelo de referência	36,5		12,9		40,8		-	
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm - laje 120 mm	32,1	31,0	16,4	15,9	53,9	58,6	13,1	17,8
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm - laje 120 mm	32,0	30,9	16,5	16,1	53,8	58,4	13,0	17,6
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm - laje 120 mm	32,0	30,9	16,6	16,1	53,9	58,4	13,1	17,6
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm - laje 120 mm	32,0	30,9	16,6	16,2	53,9	58,5	13,1	17,7
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm - laje 250 mm	32,1	30,9	17,2	16,9	55,2	59,8	14,4	19,0
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm - laje 250 mm	32,0	30,9	17,4	17,1	55,8	60,0	15,0	19,2
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	32,0	30,9	17,0	16,7	55,5	60,7	14,7	19,9
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm - laje 120 mm	32,2	31,2	14,9	14,7	53,5	57,4	12,7	16,6
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm - laje 120 mm	32,0	31,1	15,4	15,1	53,4	57,3	12,6	16,5
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm - laje 120 mm	32,0	31,0	15,6	15,4	53,3	57,5	12,5	16,7
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm - laje 120 mm	32,0	31,0	15,8	15,5	53,1	57,5	12,3	16,7
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm - laje 250 mm	32,0	30,9	16,4	16,1	54,1	58,7	13,3	17,9
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm - laje 250 mm	32,0	30,9	17,2	16,9	54,9	59,7	14,1	18,9
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	32,0	30,9	16,8	16,5	55,0	60,3	14,2	19,5
SVVE 13	Alvenaria convencional	32,1	31,4	12,8	12,6	52,2	55,2	11,4	14,4
Critérios - nível mínimo de desempenho térmico								-	
Critérios - nível intermediário de desempenho térmico		$\leq 38,5$		$\geq 11,9$		$> 36,7$		$\geq 13,4$	
Critérios - nível superior de desempenho térmico									

LEGENDA:

	Resultados com vidro de 3mm (referência da norma)
	Resultados com vidro verde 8mm

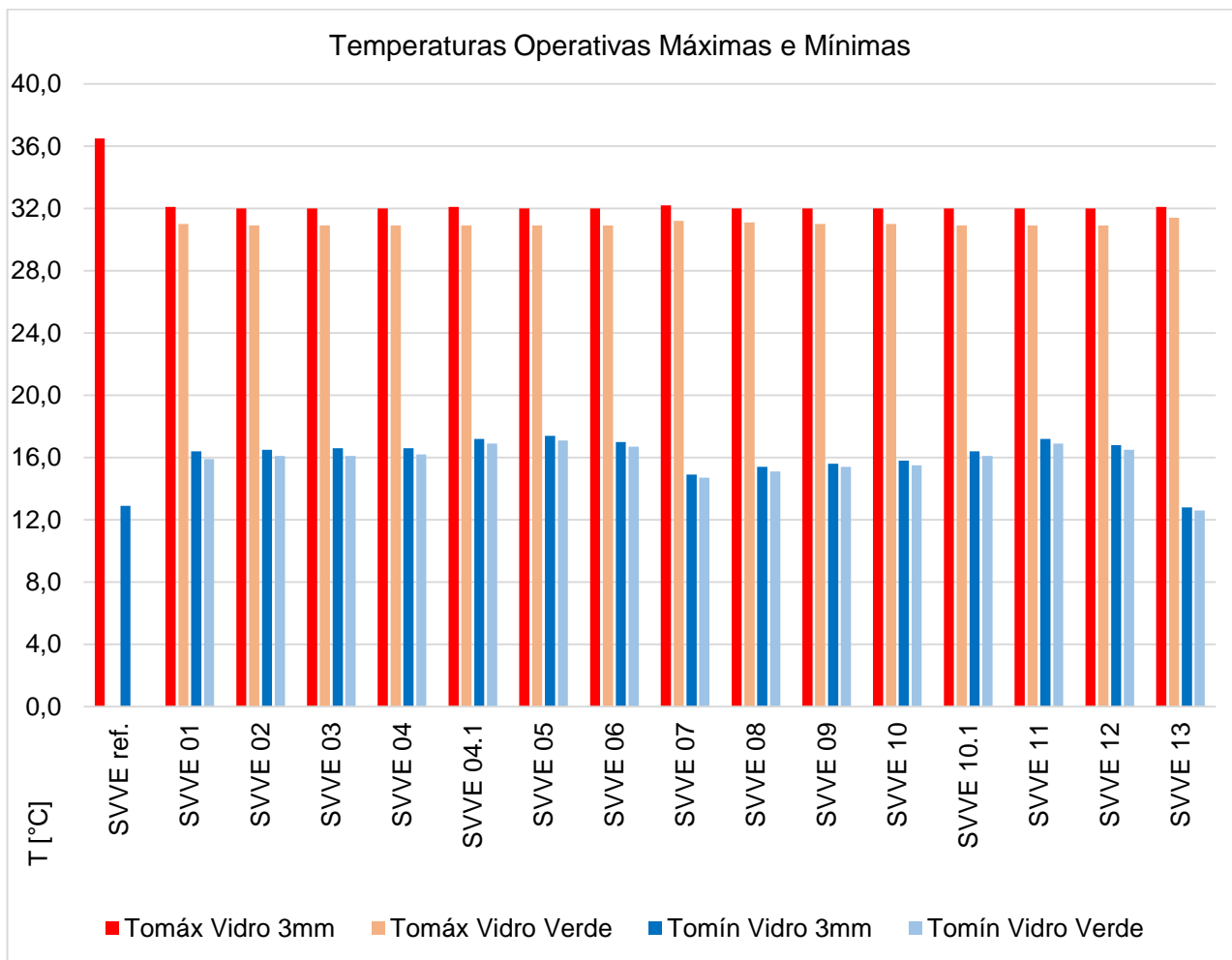
Fonte: A autora, 2022.

Notou-se adicionalmente ligeira diminuição das temperaturas operativas máximas ($T_{o\text{máx}}$) e mínimas ($T_{o\text{mín}}$), conforme ilustrado na Figura 5.25, indicando redução da influência da radiação solar nas temperaturas internas dos modelos. Esse fenômeno pode ser encarado como positivo nos períodos quentes, porém, menos desejável no inverno.

Também foi possível observar que, conforme demonstrado na Figura 5.26, o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) aumentou para todos os

sistemas construtivos. O aumento médio para os sistemas construtivos em madeira foi de 8,4%, propiciado principalmente pela diminuição de $T_{o\text{máx}}$, ou seja, pela temperatura operativa máxima nos períodos quentes. Tanto é maior essa diminuição quanto maior for o isolamento térmico do sistema.

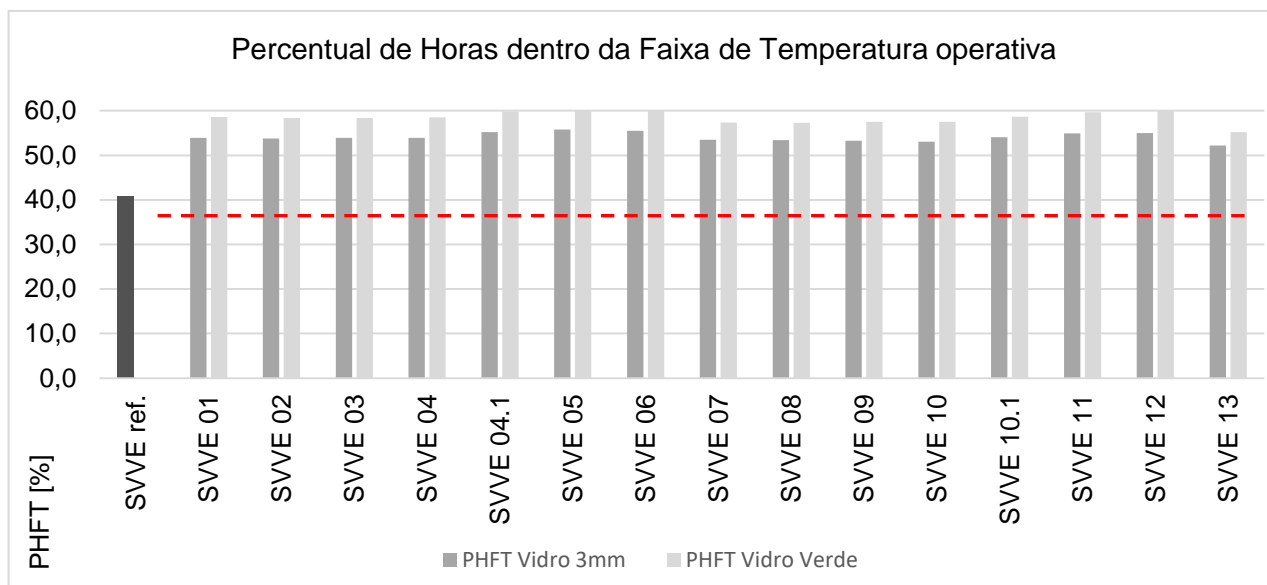
Figura 5.25. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Fonte: A autora, 2022.

Já o aumento do PHFT no sistema construtivo em alvenaria convencional foi menor, na ordem de 5,7%, pois esse sistema possui menor isolamento térmico. Embora o seu desempenho tenha melhorado nos períodos quentes (evidenciado pela diminuição de $T_{o\text{máx}}$), seu desempenho térmico nos períodos frios, que já era baixo, quando considerado o uso do vidro 3 mm padrão da norma, ficou ainda inferior com a utilização do vidro verde 8 mm.

Figura 5.26. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Legenda:

--- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,7%).

Fonte: A autora, 2022.

No que diz respeito à condição sem ventilação natural, a Tabela 5.19 apresenta os resultados das cargas térmicas. Observou-se que em todos os modelos construtivos houve diminuição na carga térmica para refrigeração (C_{gTR}) e aumento na carga térmica para aquecimento (C_{gTA}) como consequência da menor quantidade de radiação solar que consegue atravessar o vidro e atingir o interior dos ambientes (Figura 5.27). Destaca-se que o modelo com menor isolamento térmico (alvenaria convencional) apresentou as menores C_{gTR} , porém, as maiores C_{gTA} , em comparação com os sistemas em madeira e com o modelo de referência da norma.

Antes da substituição dos vidros, todos os sistemas construtivos analisados já apresentavam reduções das cargas térmicas totais acima do limite estabelecido para serem classificados com o nível superior de desempenho térmico ($RedC_{gTT} \geq 40\%$). Com essa substituição, a redução das C_{gTT} ficou próxima a 60% para os sistemas em madeira, enquanto que com vidros de 3 mm a redução se aproximava de 50%. Já no sistema em alvenaria convencional, a $RegC_{gTT}$ subiu de 46,9% para 52,8%. Estes resultados são ilustrados na Figura 5.28.

Tabela 5.19. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH multifamiliar geminada com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde 8 mm

Código	Sistema Construtivo	CgTR [kWh/ano]		CgTA [kWh/ano]		CgTT [kWh/ano]		RedCgTT [%]	
SVVE ref.	Modelo de referência	5120,1		430,8		5550,9		-	
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm - laje 120 mm	2768,8	2165,8	86,0	133,6	2854,8	2299,4	48,6	58,6
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm - laje 120 mm	2774,2	2170,3	80,0	127,0	2854,2	2297,3	48,6	58,6
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm - laje 120 mm	2771,9	2169,8	75,0	122,7	2846,9	2292,5	48,7	58,7
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm - laje 120 mm	2773,0	2170,0	72,2	118,1	2845,2	2288,1	48,7	58,8
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm - laje 250 mm	2828,1	2217,8	26,9	55,9	2855,0	2273,7	48,6	59,0
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm - laje 250 mm	2840,6	2236,6	10,3	31,8	2850,9	2268,4	48,6	59,1
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	2812,3	2194,8	24,8	50,9	2837,1	2245,7	48,9	59,5
SVVE 07	P. C. CLT 57 mm - laje 120 mm	2584,1	2073,1	210,9	264,1	2795,0	2337,2	49,6	57,9
SVVE 08	P. C. CLT 80 mm - laje 120 mm	2626,5	2095,4	174,0	229,9	2800,5	2325,3	49,5	58,1
SVVE 09	P. C. CLT 95 mm - laje 120 mm	2649,4	2108,2	158,2	209,1	2807,6	2317,3	49,4	58,3
SVVE 10	P. C. CLT 105 mm - laje 120 mm	2665,1	2112,7	149,5	198,1	2814,6	2310,8	49,3	58,4
SVVE 10.1	P. C. CLT 105 mm - laje 250 mm	2719,7	2138,2	89,3	136,3	2809,0	2274,5	49,4	59,0
SVVE 11	P. C. CLT 250 mm - laje 250 mm	2800,5	2197,7	30,7	56,6	2831,2	2254,3	49,0	59,4
SVVE 12	P. C. <i>wood frame</i>	2787,1	2167,6	39,9	73,2	2827,0	2240,8	49,1	59,6
SVVE 13	Alvenaria convencional	2396,3	2003,7	553,1	613,7	2949,4	2617,4	46,9	52,8
Critério - nível intermediário de desempenho térmico									0
Critério - nível superior de desempenho térmico									≥ 40

LEGENDA:

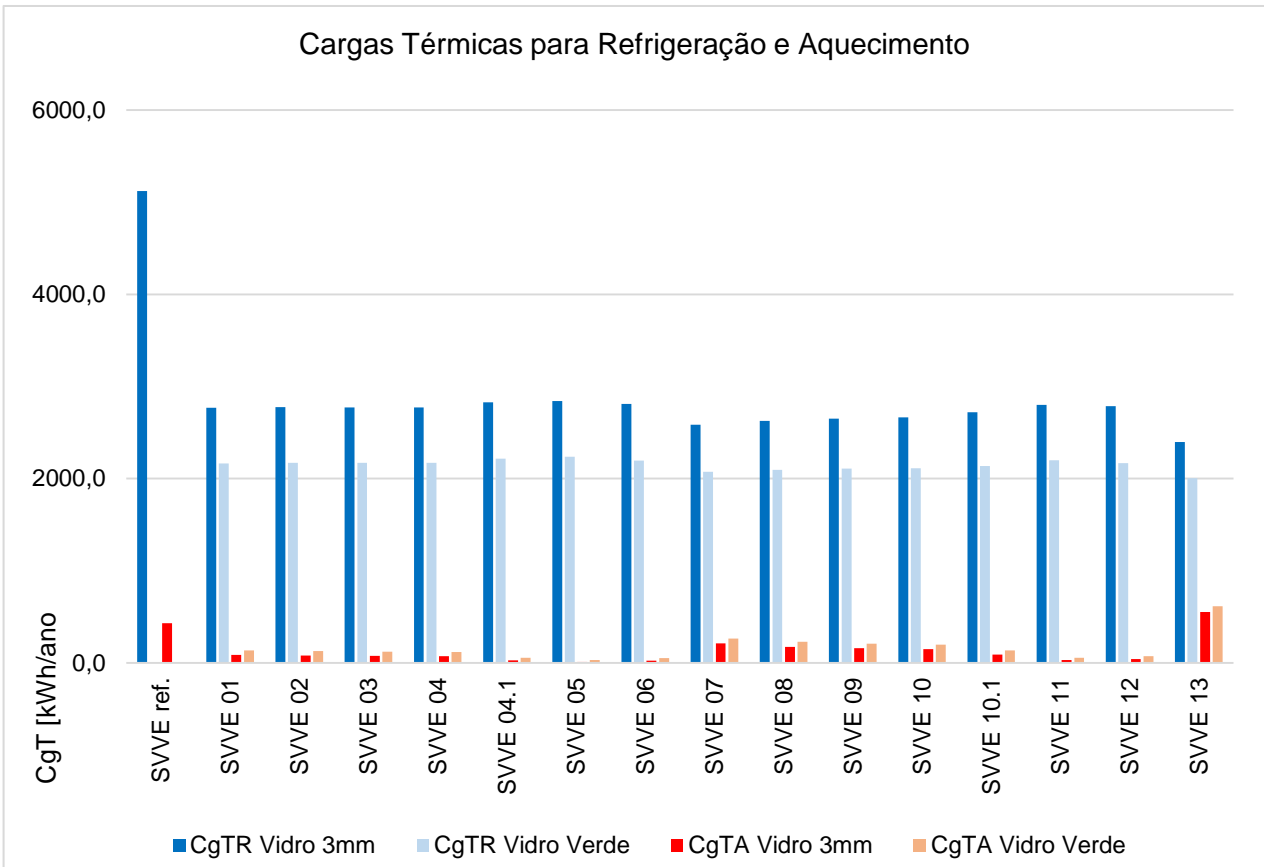
	Resultados com vidro de 3mm (referência da norma)
	Resultados com vidro verde 8mm

Fonte: A autora, 2022.

Com a apresentação desses resultados, foi possível demonstrar que a aplicação dos vidros verdes com espessura de 8 mm no modelo “UH multifamiliar geminada” foi benéfico do ponto de vista de desempenho térmico. Conforme apresentado no tópico 5.2.1, os únicos sistemas construtivos classificados com o nível superior de desempenho térmico com o uso do vidro 3 mm padrão da norma foram os SVVEs 04.1, 05, 06, 11 e 12. Com a substituição dos vidros, todos os demais sistemas construtivos alcançaram o nível superior de desempenho térmico da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

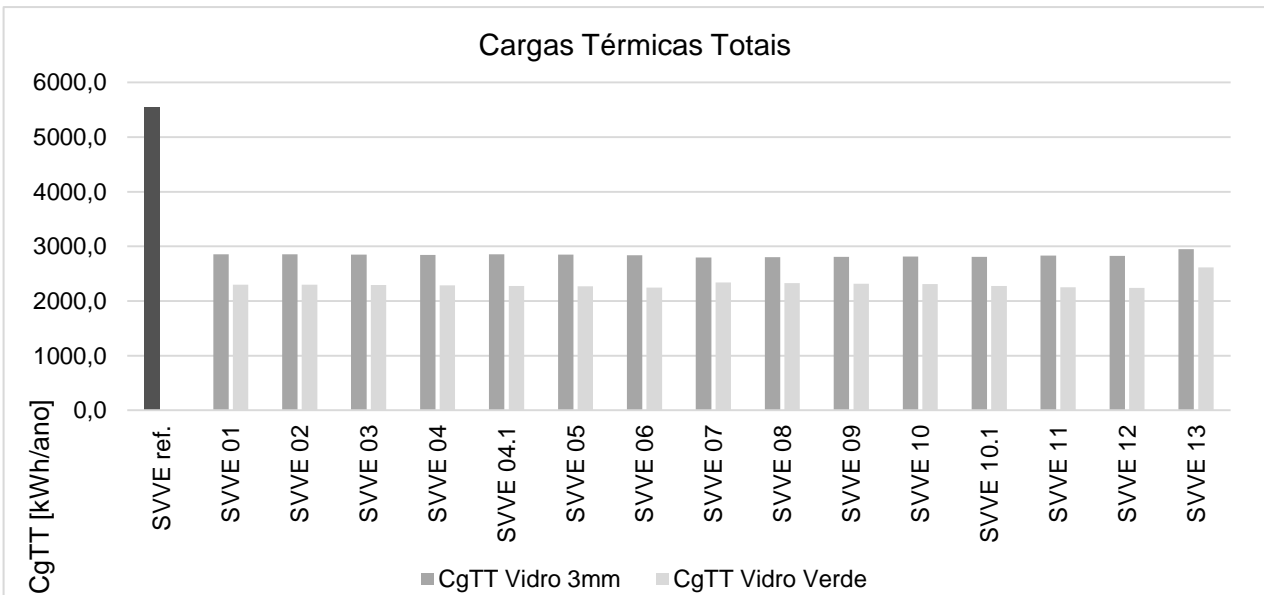
Os Apêndices V, VI e VII apresentam as tabelas de diagnóstico de desempenho dos sistemas em CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, comparados ao modelo de referência da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Figura 5.27. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.28. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Fonte: A autora, 2022.

5.3.2. Resultados das simulações do modelo “UH unifamiliar em condomínio” com o vidro verde duplo

Nesse tópico serão apresentados os resultados das novas simulações para o modelo - UH unifamiliar em condomínio - com a substituição do vidro 3 mm padrão da norma pela composição: vidro verde 8 mm + câmara de ar 12 mm + vidro verde 8 mm (vidro verde insulado). A Tabela 5.20 apresenta os resultados das simulações na condição de uso de ventilação natural.

Após a substituição dos vidros das aberturas, apenas os sistemas SVVEs 07 a 10 e 13 não estariam aptos para serem classificados com o nível superior de desempenho térmico estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), pois os Δ PHFTs dos sistemas ficaram inferiores ao limite mínimo exigido para os níveis intermediário e superior de desempenho térmico (Δ PHFT \geq 21,4).

Tabela 5.20. Resultados das simulações com ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde

Código	Sistema Construtivo	$T_{o\max}$ [°C]		$T_{o\min}$ [°C]		PHFT [%]		Δ PHFT [%]	
SVVE ref.	Modelo de referência	36,9		12,1		40,7		-	
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm - laje 120 mm	31,7	30,4	16,9	16,6	56,7	62,2	16,0	21,5
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm - laje 120 mm	31,6	30,4	17,1	16,7	56,8	62,2	16,1	21,5
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm - laje 120 mm	31,6	30,3	17,1	16,7	56,8	62,4	16,1	21,7
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm - laje 120 mm	31,6	30,3	17,2	16,8	56,9	62,5	16,2	21,8
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm - laje 250 mm	31,4	30,0	17,3	17,0	57,8	65,1	17,1	24,4
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm - laje 250 mm	31,4	29,9	17,6	17,4	58,1	66,5	17,4	25,8
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	31,0	29,6	17,8	17,7	58,0	68,1	17,3	27,4
SVVE 07	Placa cimentícia CLT 57 mm - laje 120 mm	31,9	30,8	15,4	15,4	55,5	59,5	14,8	18,8
SVVE 08	Placa cimentícia CLT 80 mm - laje 120 mm	31,7	30,6	16,0	15,7	55,5	59,8	14,8	19,1
SVVE 09	Placa cimentícia CLT 95 mm - laje 120 mm	31,6	30,5	16,2	15,9	55,4	60,1	14,7	19,4
SVVE 10	Placa cimentícia CLT 105 mm - laje 120 mm	31,6	30,5	16,3	16,0	55,5	60,2	14,8	19,5
SVVE 10.1	Placa cimentícia CLT 105 mm - laje 250 mm	31,4	30,2	16,4	16,2	56,6	62,6	15,9	21,9
SVVE 11	Placa cimentícia CLT 250 mm - laje 250 mm	31,3	29,9	17,3	17,1	57,8	65,8	17,1	25,1
SVVE 12	Placa cimentícia <i>wood frame</i>	31,0	29,6	17,6	17,4	58,1	67,8	17,4	27,1
SVVE 13	Alvenaria convencional	31,8	30,9	14,0	13,9	53,0	56,6	12,3	15,9
Critérios - nível mínimo de desempenho térmico								-	
Critérios - nível intermediário de desempenho térmico		$\leq 38,9$		$\geq 11,1$		$> 36,6$		$\geq 21,4$	
Critérios - nível superior de desempenho térmico									

LEGENDA:

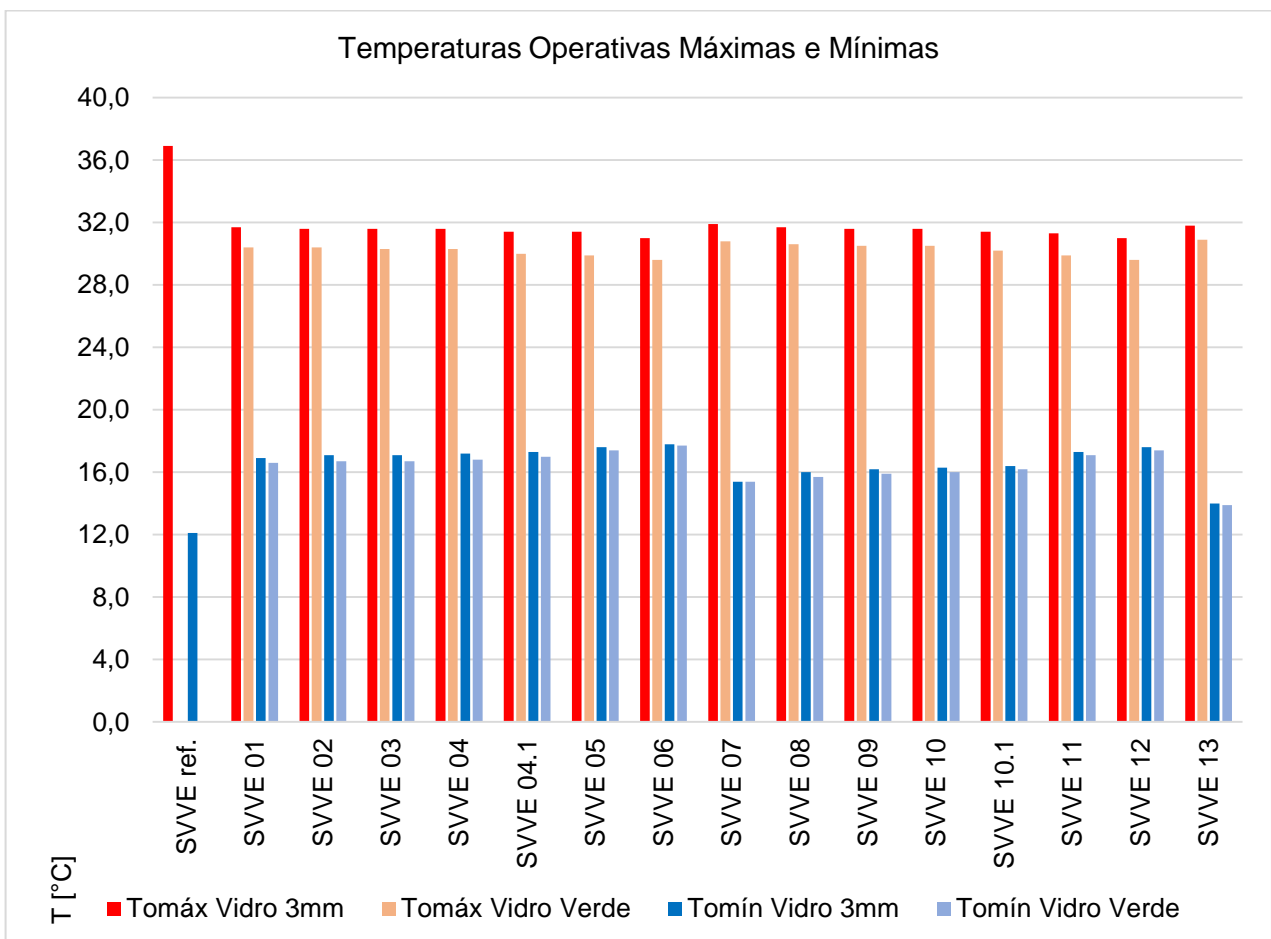
	Resultados com vidro de 3mm (referência da norma)
	Resultados com composição de vidro verde 8mm

Fonte: A autora, 2022.

Notou-se adicionalmente ligeira diminuição das $T_{o\text{máx}}$ e $T_{o\text{mín}}$, conforme ilustrado na Figura 5.29, indicando redução da influência da radiação solar nas temperaturas internas dos modelos. Esse comportamento pode ser encarado como positivo nos períodos quentes, porém menos desejável no inverno.

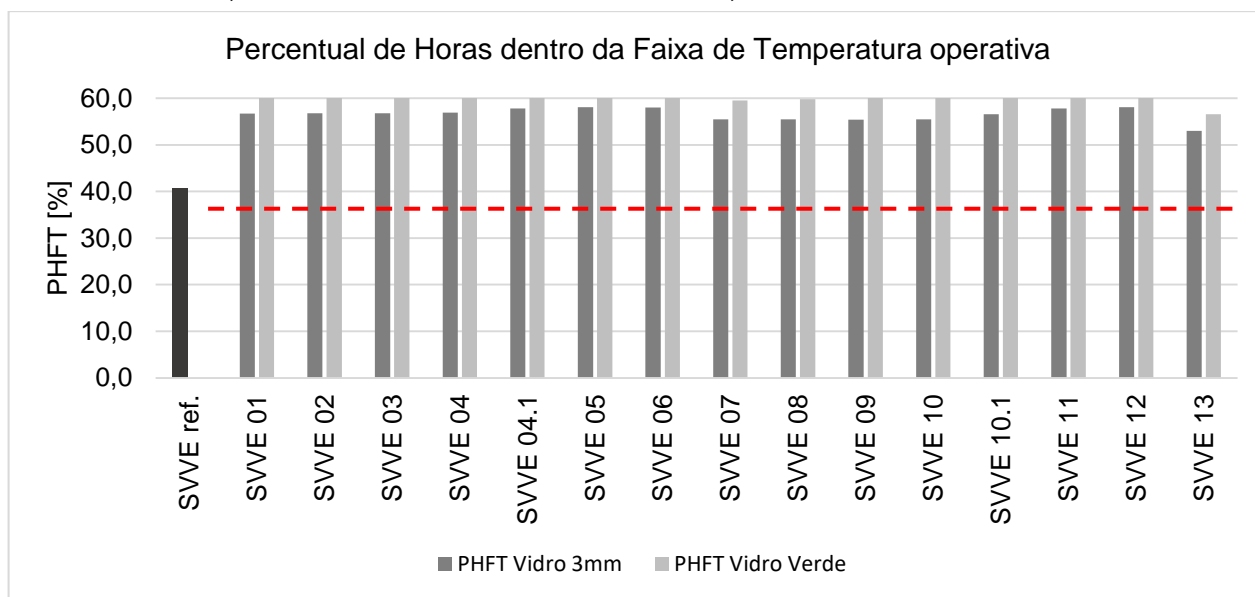
Além disso, foi possível observar que, conforme demonstrado na Figura 5.30, o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT) aumentou para todos os sistemas construtivos. O aumento médio para os sistemas construtivos em madeira foi de 11,2%, propiciado principalmente pela diminuição de $T_{o\text{máx}}$, ou seja, pela temperatura operativa máxima nos períodos quentes. Tanto é maior essa diminuição quanto maior for o isolamento térmico do sistema.

Figura 5.29. Temperaturas operativas máximas e mínimas do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Fonte: A autora, 2022.

Figura 5.30. Resultados dos PHFTs do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Legenda:

----- PHFT mínimo para os modelos reais (> 36,6%).

Fonte: A autora, 2022.

No que diz respeito à condição sem ventilação natural, a Tabela 5.21 apresenta os resultados das cargas térmicas. Observou-se que em todos os modelos construtivos houve diminuição na carga térmica para refrigeração (CgTR) e aumento na carga térmica para aquecimento (CgTA) como consequência da menor radiação solar que consegue atravessar a edificação por meio do vidro (Figura 5.31). Destaca-se que as maiores reduções de CgTR ocorreram nos sistemas mais isolados.

Um fato importante observado nesses resultados é o de que nas simulações com vidro 3 mm padrão da norma, o sistema construtivo em alvenaria convencional apresentava a terceira menor CgTR entre todos os sistemas. Após a substituição do vidro 3mm pelo vidro verde 8 mm insulado, também foi observada redução no CgTR desse sistema, porém, em menor proporção em relação aos sistemas em madeira. Assim, o sistema construtivo em alvenaria convencional passou a ter a maior CgTR entre todos os analisados. Esse fenômeno explicita que o desempenho térmico geral da habitação em períodos quentes depende tanto das características de desempenho térmico dos sistemas empregados nas aberturas, quanto da transmitância térmica do sistema construtivo.

Tabela 5.21. Resultados das simulações sem ventilação natural da UH unifamiliar em condomínio com os sistemas construtivos CLT, wood frame e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde

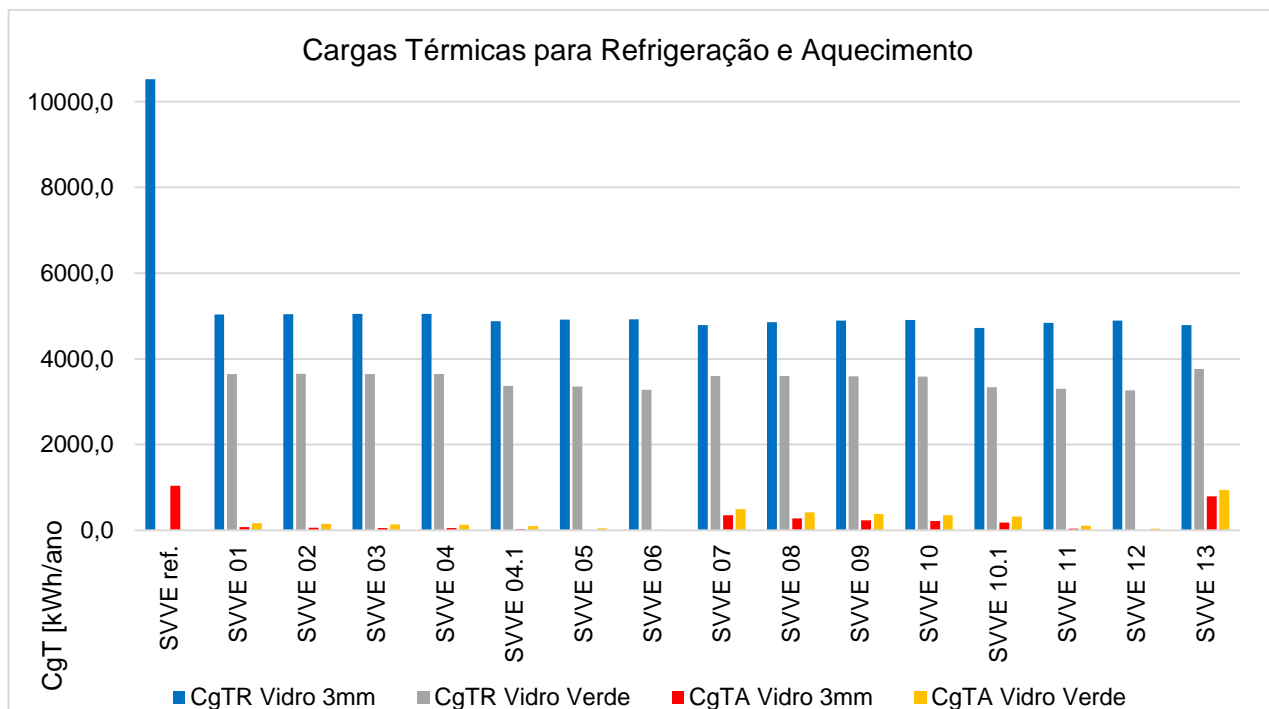
Código	Sistema Construtivo	CgTR [kWh/ano]		CgTA [kWh/ano]		CgTT [kWh/ano]		RedCgTT [%]	
SVVE ref.	Modelo de referência	10524,9		1036,7		11561,6		-	
SVVE 01	EIFS CLT 57 mm - laje 120 mm	5031,1	3648,0	78,3	169,4	5109,4	3817,4	55,8	67,0
SVVE 02	EIFS CLT 80 mm - laje 120 mm	5043,8	3650,2	65,2	147,5	5109,0	3797,7	55,8	67,2
SVVE 03	EIFS CLT 95 mm - laje 120 mm	5049,0	3646,9	56,4	132,5	5105,4	3779,4	55,8	67,3
SVVE 04	EIFS CLT 105 mm - laje 120 mm	5051,4	3646,2	50,8	126,7	5102,2	3772,9	55,9	67,4
SVVE 04.1	EIFS CLT 105 mm - laje 250 mm	4880,6	3368,0	33,0	101,1	4913,6	3469,1	57,5	70,0
SVVE 05	EIFS CLT 250 mm - laje 250 mm	4914,2	3353,4	5,4	43,9	4919,6	3397,3	57,4	70,6
SVVE 06	EIFS <i>wood frame</i>	4921,4	3281,3	1,2	9,7	4922,6	3291,0	57,4	71,5
SVVE 07	P. C. CLT 57 mm - laje 120 mm	4787,3	3598,4	354,9	498,1	5142,2	4096,5	55,5	64,6
SVVE 08	P. C. CLT 80 mm - laje 120 mm	4855,7	3598,3	276,6	421,7	5132,3	4020,0	55,6	65,2
SVVE 09	P. C. CLT 95 mm - laje 120 mm	4891,2	3590,9	235,8	380,1	5127,0	3971,0	55,7	65,7
SVVE 10	P. C. CLT 105 mm - laje 120 mm	4904,3	3588,2	216,4	355,4	5120,7	3943,6	55,7	65,9
SVVE 10.1	P. C. CLT 105 mm - laje 250 mm	4720,0	3337,6	184,0	320,3	4904,0	3657,9	57,6	68,4
SVVE 11	P. C. CLT 250 mm - laje 250 mm	4841,5	3303,4	39,2	104,2	4880,7	3407,6	57,8	70,5
SVVE 12	P. C. <i>wood frame</i>	4894,1	3266,3	4,5	40,0	4898,6	3306,3	57,6	71,4
SVVE 13	Alvenaria convencional	4790,2	3768,3	795,4	944,3	5585,6	4712,6	51,7	59,2
Critério - nível intermediário de desempenho térmico								0	
Critério - nível superior de desempenho térmico								≥ 55	

LEGENDA:

- Resultados com vidro de 3mm (referência da norma)
- Resultados com composição de vidro verde 8mm

Fonte: A autora, 2022.

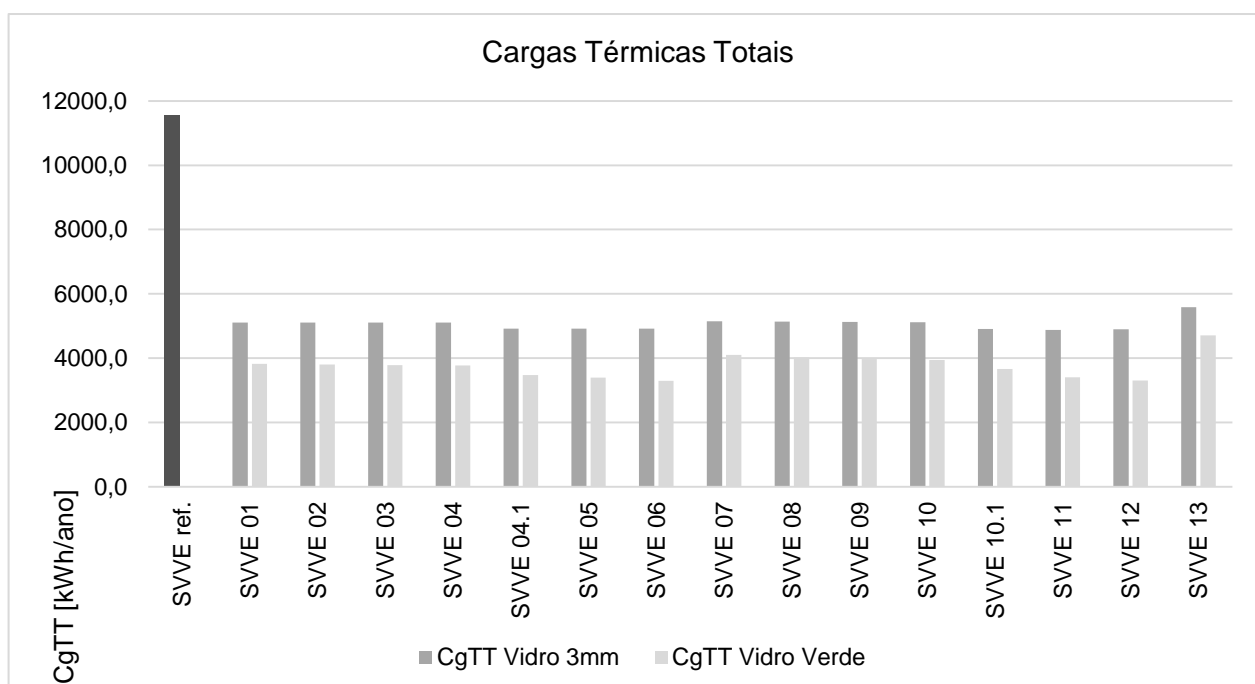
Figura 5.31. Resultados das cargas térmicas para refrigeração e aquecimento do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Fonte: A autora, 2022.

Quanto às cargas térmicas totais, a troca do sistema empregado nas aberturas resultou na redução das CgTT média de 68% para os sistemas em madeira, enquanto que com vidros de 3 mm a redução média se aproximava de 57%. Já no sistema em alvenaria convencional, o RegCgTT subiu de 51,7% para 59,2%. Estes resultados são ilustrados na Figura 5.32.

Figura 5.32. Resultados das cargas térmicas totais do modelo de referência e dos modelos com os sistemas construtivos CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, considerando vidro 3 mm e vidro verde



Fonte: A autora, 2022.

Com a apresentação dos resultados, foi possível demonstrar que a aplicação da composição com vidros verdes de espessura de 8 mm no modelo “UH unifamiliar em condomínio” foi benéfica do ponto de vista de desempenho térmico. Conforme apresentado no tópico 5.2.2, nenhum dos sistemas construtivos foi classificado com o nível superior de desempenho térmico com o uso do vidro 3 mm padrão da norma. A partir da substituição dos vidros, apenas os sistemas SVVEs 07 a 10 e 13 não estariam aptos para serem classificados com o nível superior de desempenho térmico estabelecido pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

Os Apêndices V, VI e VII apresentam as tabelas de diagnóstico de desempenho dos sistemas em CLT, *wood frame* e alvenaria convencional, comparados ao modelo de referência da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a).

6. CONSIDERAÇÕES

6.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho se iniciou com o intuito de contribuir com pesquisas a respeito de sistemas construtivos que proporcionem maior conforto térmico aos usuários, que sejam mais eficientes energeticamente e que apresentem características que contribuam com a sustentabilidade, diminuindo os impactos ambientais, sociais e econômicos produzidos pela construção civil.

Para tanto, foram exploradas alternativas para a cidade de Foz do Iguaçu - PR, que possui um clima peculiar em função da amplitude térmica entre os períodos quentes e os períodos frios, cujas temperaturas mínimas e máximas absolutas oscilam entre 1,0°C e 39,0°C. Fazendo-se necessária a aplicação de soluções construtivas que atendam satisfatoriamente ambas as situações.

Assim sendo, tomou-se como hipótese a adoção de um sistema construtivo novo no Brasil, pouco conhecido e pouco estudado nas características do clima delimitado, denominado *Cross Laminated Timber* (CLT). Tal sistema implementa um novo arranjo de lâminas de madeira que, ao mesmo tempo, fornece características estruturais interessantes aliadas às propriedades térmicas da madeira como potencial isolante térmico.

Diante desses aspectos importantes, tomou-se como critério para avaliação do desempenho térmico e da eficiência energética das edificações, a emenda da norma NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho - publicada em 2021. Na parte 1 da referida norma, são abordados, entre outros temas, conceitos e metodologias para simulação computacional do desempenho térmico das edificações. Da mesma forma, foram utilizados trechos das partes 4 e 5 dessa norma para avaliação simplificada do referido desempenho.

Naturalmente que este estudo não se tornaria completo e efetivo se não abordados outros sistemas construtivos, de modo a utilizá-los como base de comparação, objetivando construir conhecimento sobre a real possibilidade de se substituir os sistemas mais

comumente empregados pelo CLT. Os sistemas construtivos adicionais analisados foram o *wood frame* e o sistema em alvenaria convencional de blocos cerâmicos.

Para demonstrar as características térmicas dos sistemas construtivos delimitados, foram modeladas duas tipologias de unidade habitacional que, conforme dados levantados junto à prefeitura da cidade, representam as principais tipologias arquitetônicas atualmente construídas em Foz do Iguaçu - PR. O primeiro tipo definido foi uma moradia multifamiliar térrea denominada “UH multifamiliar geminada”. O segundo tipo foi uma moradia unifamiliar térrea denominada “UH unifamiliar em condomínio”. Esses tipos são tratados em condições distintas no contexto da norma NBR 15575-1 (ABNT, 2021a), oferecendo condições de avaliação de seus desempenhos nas classificações mínima, intermediária e superior de desempenho térmico.

Após a definição das unidades habitacionais, essas foram modeladas em *software* específico, ou seja, *Sketchup + plug-in Euclide*, e simuladas no *software Energyplus*, em acordo com as condições determinadas na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a). O *Energyplus* tem condições de fornecer resultados para uma série de variáveis de interesse, tais como as temperaturas operativas máximas e mínimas em condição de ventilação natural, além dos gastos energéticos com climatização na condição de climatização artificial.

Após o extenso processo de modelagem, definição de parâmetros, cenários e condições, e da realização das simulações computacionais, foi possível estabelecer algumas conclusões a respeito da aplicabilidade do sistema construtivo em CLT na cidade de Foz do Iguaçu, bem como suas vantagens ou desvantagens em relação aos outros sistemas construtivos no que diz respeito ao desempenho térmico.

1. Notou-se que existe alguma variabilidade no desempenho térmico dos sistemas construtivos em CLT, associada diretamente à espessura do painel e à presença ou não de material de isolamento térmico (EPS). Como esperado, o desempenho térmico no inverno é superior com o aumento da espessura e conforme se incorpora isolante térmico;

2. Em todos os cenários simulados, o sistema construtivo em *wood frame* teve resultados com correspondência direta aos sistemas construtivos em CLT com maior espessura de painel;
3. Sob todas as condições simuladas, ficou evidente que a grande disparidade no desempenho ocorreu entre o conjunto de sistemas em madeira e o sistema em alvenaria convencional, de modo que é possível resumir os resultados nas condições individuais entre esses dois grupos;
4. Sob condição de ventilação natural e considerando os períodos quentes, os sistemas construtivos em madeira (CLT e *wood frame*) apresentaram comportamento muito próximo ao sistema construtivo em alvenaria convencional, evidenciado pela similaridade nas temperaturas máximas operativas;
5. Sob condição de ventilação natural e considerando os períodos frios, os sistemas construtivos em madeira apresentaram desempenho térmico consideravelmente superior à alvenaria convencional, evidenciado pela disparidade nas temperaturas mínimas operativas;
6. Logo, sob condição de ventilação natural, os sistemas construtivos em madeira apresentaram maior percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa, quando considerado o período de um ano e comparado ao sistema em alvenaria convencional;
7. Sob condição sem ventilação natural (climatização artificial) e considerando os períodos quentes, o sistema construtivo em alvenaria convencional apresentou consumo energético ligeiramente inferior aos sistemas em madeira;
8. Sob condição sem ventilação natural e considerando os períodos frios, o sistema construtivo em alvenaria convencional apresentou consumo energético consideravelmente maior que os sistemas em madeira;

9. Sob condição sem ventilação natural, considerando o consumo energético total anual, os sistemas em madeira apresentaram consumo energético total inferior ao sistema em alvenaria convencional.

Tomando como base esses fatos, conclui-se que, nas condições climáticas de Foz do Iguaçu - PR, a aplicação do sistema construtivo em painéis CLT tem desempenho térmico favorável na condição de ventilação natural e, além disso, pode implicar numa redução de consumo energético ao longo do ano, quando considerada climatização artificial, com destaque maior para a redução das cargas térmicas de aquecimento. É importante ressaltar que isso se aplica à projetos cujas tipologias sejam próximas à analisadas no presente trabalho, uma vez que uma maior variação de características em termos de projeto, poderá alterar de certa forma os resultados em termos de desempenho térmico.

Cabe discutir, porém, que no Brasil é dada menor importância à climatização artificial para os períodos frios, de modo que o consumo energético para aquecimento previsto na NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) deve ser considerado na perspectiva do usuário final da edificação. Se em termos comportamentais, o usuário não tem por hábito ou interesse em manter a edificação dentro da faixa de temperatura operativa nos períodos frios, o consumo energético total da edificação ao longo do ano será o mesmo que o consumo energético para refrigeração, tornando o sistema construtivo em alvenaria convencional uma opção melhor. Destaca-se, porém, que nessas condições o usuário abre mão do conforto térmico natural proporcionado pelos sistemas em madeira no inverno.

Apesar dos resultados das simulações indicarem maior conforto térmico, obtido por meios passivos e maior eficiência energética, quando comparados aos modelos de referência estabelecidos pela norma, apenas 5 dos 30 modelos simulados foram classificados com nível superior de desempenho térmico.

Dessa forma, sabendo-se que as aberturas também fazem parte dos sistemas de vedações verticais, e que seu desempenho pode ser preponderante no desempenho térmico geral das edificações, optou-se por realizar intervenção no material transparente das aberturas dos

modelos, de modo a verificar como esses elementos alterariam os resultados obtidos. Observa-se que nas primeiras simulações, o material utilizado nas aberturas foi o vidro indicado pela NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) para o modelo de referência.

Como alternativa a essa tipologia, foi proposto o uso de vidro verde laminado com 8 mm de espessura (Cool-Lite SKN Verde) nas aberturas do modelo “UH multifamiliar geminada” e unidade de vidro insulado composto por vidro verde laminado com 8 mm de espessura (Cool-Lite SKN Verde), câmara de ar de 12 mm e mais um vidro verde laminado com 8 mm de espessura (Cool-Lite SKN Verde) no modelo “UH unifamiliar em condomínio”. Após a realização das novas simulações considerando essas configurações nas aberturas, pode-se inferir as seguintes observações:

1. Sob condição com ventilação natural (característica da simulação), todas as temperaturas operativas dos modelos diminuíram, indicando que a substituição dos vidros foi responsável pela diminuição da radiação solar que adentra à edificação;
2. Sob condição com ventilação natural, foram observadas diminuições maiores nas temperaturas operativas dos sistemas construtivos em madeira que na alvenaria convencional. Dentro do grupo dos sistemas construtivos em madeira, observou-se que, quanto maior a espessura do painel, e na presença de isolamento térmico, maior foi a diminuição das temperaturas operativas;
3. Tendo em vista que os períodos de temperatura elevada na cidade de Foz do Iguaçu - PR são longos, a diminuição da temperatura operativa máxima dos modelos contribuiu significativamente para o aumento da quantidade de horas dentro da faixa de temperatura operativa, ou seja, permitindo melhores condições de conforto térmico;
4. Sob condição sem ventilação natural (climatização artificial), foi observada queda do consumo energético para refrigeração e aumento no consumo energético para

aquecimento em todos os modelos. Como a diminuição das cargas de refrigeração foi maior que o aumento das cargas de aquecimento, o consumo energético total anual dos modelos resultou menor;

5. No modelo “UH unifamiliar em condomínio”, o sistema construtivo em alvenaria convencional apresentava a terceira menor carga térmica de refrigeração entre todos os sistemas nas simulações com vidro 3 mm padrão da norma. Após a substituição pela composição com vidro verde 8 mm, também foi observada redução na carga térmica de refrigeração desse sistema, porém, em menor proporção em relação aos sistemas em madeira. Assim, o sistema construtivo em alvenaria convencional passou a ter a maior carga térmica de refrigeração entre todos os analisados. Isso explicita que o desempenho térmico geral da habitação depende tanto das características de desempenho térmico dos sistemas empregados nas aberturas quanto da transmitância térmica do sistema construtivo empregado na edificação;
6. Após a adoção das aberturas, substituindo o tipo de vidro (vidro verde com 8 mm de espessura), a quantidade de modelos simulados classificados com nível superior de desempenho térmico passou de 5 para 25 dos 30 casos analisados. Destaca-se que o sistema em alvenaria convencional aplicado ao modelo “UH unifamiliar em condomínio” foi o mais distante de atender ao critério $\Delta PHFT$ mínimo exigido para classificação como nível superior pela norma.

Considerando esses fatos, notou-se que para todos os sistemas construtivos avaliados, a adoção de vidros com melhor comportamento térmico favoreceu os resultados, porém, de maneira mais significativa para os sistemas construtivos considerados termicamente isolados.

É importante frisar que a modificação no material das aberturas foi uma proposta de melhoria baseada na troca de um elemento de baixo desempenho térmico, por um com desempenho superior. Porém, essa estratégia não é a única que poderia ser adotada para atingir a

mesma finalidade. Poderia ser proposta a adoção de elementos específicos de proteção solar nas aberturas (como brises ou persianas), a modificação nos percentuais de abertura, a modificação na orientação das edificações em relação ao sol; entre outras.

Considerando todo o conjunto de simulações realizado, notou-se que os modelos de referência de ambas as unidades habitacionais (UH multifamiliar geminada e UH unifamiliar em condomínio) tiveram resultados muito próximos. Isso se explica devido a modelagem sem elementos de proteção solar das edificações. O mesmo foi observado quando aplicado o sistema construtivo em alvenaria convencional. Isso indica que as estratégias bioclimáticas utilizadas no modelo de UH unifamiliar em condomínio não foram suficientes, quando associadas a um sistema construtivo com maior transmitância térmica ($U = 2,58 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$). Porém, as simulações dos sistemas em madeira tiveram resultados superiores para os modelos da UH unifamiliar em condomínio quando comparados à UH multifamiliar geminada, indicando que a adoção de estratégias bioclimáticas aliadas a sistemas construtivos mais isolados ($0,40 < U < 2,17 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$) pode incrementar o desempenho térmico das edificações.

Além disso, vale destacar que o modelo UH unifamiliar em condomínio foi modelado com uma cobertura (telha de aço + EPS + telha de aço) diferente da UH multifamiliar geminada (telha cerâmica). Embora a telha de aço não cumpra com o critério de emitância térmica para ser classificada como um "*cool material*", conforme apresentado no tópico 3.6, a presença do isolante térmico (EPS) melhorou seu desempenho térmico quando comparado com a telha cerâmica. A transmitância térmica das coberturas com telhas de aço ficou entre $0,28 < U < 0,51 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ enquanto que as coberturas com telhas cerâmicas apresentaram valores entre $0,43 < U < 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$. Os maiores valores para a transmitância térmica de ambas as coberturas foram para os modelos em alvenaria convencional, o que também explicaria seu desempenho térmico inferior aos demais modelos analisados.

Uma consideração importante no que diz respeito à NBR 15575-1 (ABNT, 2021a) é a diferenciação entre os critérios para avaliação de desempenho térmico entre as habitações unifamiliares e multifamiliares. O item 3.31 da norma estabelece que UH geminadas devem ser tratadas como habitações multifamiliares. No entanto, nota-se que a tipologia de UH geminadas não

se diferencia tanto da tipologia de habitação unifamiliar, de modo que não parece adequado que os critérios para classificação entre ambas as tipologias habitacionais sejam tão distintos (tabelas 20, 21 e figura 4 da norma). Uma UH multifamiliar geminada apresenta exposição ao ambiente externo e insolação inferior ao de uma habitação unifamiliar, no entanto, os critérios para classificação de seu desempenho térmico são consideravelmente permissivos, o que prejudica a classificação das UH unifamiliares avaliadas sob o mesmo prisma.

Ilustra-se o comentário anterior considerando os resultados obtidos para a UH unifamiliar em condomínio. No cenário considerando o uso de vidro padrão da norma, a UH unifamiliar em condomínio não atende ao $\Delta PHFT$ mínimo para classificação com nível intermediário e superior quando avaliada como habitação unifamiliar. A situação seria muito diferente se o critério $\Delta PHFT$ mínimo fosse o mesmo adotado para a UH multifamiliar geminada: apenas o sistema construtivo em alvenaria convencional não seria classificado como nível superior.

6.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

São indicados a seguir algumas sugestões para continuidade do presente estudo ou novos estudos na área.

Em relação à NBR 15575-1 (ABNT, 2021), recomenda-se com base nos resultados deste estudo, que sejam estabelecidos critérios mais adequados para as habitações multifamiliares térreas geminada, que certamente se encontram mais próximas à modelos unifamiliares, do que de edifícios multipavimentos. Da mesma forma, é importante considerar com maior cautela, a disparidade em termos de avaliação entre os modelos unifamiliar e multifamiliar, principalmente quando o tipo de sistema construtivo avaliado é o mesmo, a menos que o número de pavimentos seja distinto. Vale considerar ainda, a necessidade de realizar simulações de desempenho térmico em edificações multipavimentos com o uso dos sistemas construtivos estudados e os diferentes critérios que a norma estabelece para cada pavimento, ou seja, pavimento térreo, pavimento tipo e cobertura.

Além disso, o sistema construtivo em CLT está em expansão em território nacional e seu desempenho térmico deve ser avaliado para cada clima do país. Análises desse porte servem não apenas para caracterizar o desempenho térmico e a eficiência energética do sistema, mas também para avaliar a viabilidade econômica de seu emprego, quando comparado aos demais sistemas construtivos disponíveis no Brasil.

Outra oportunidade de análise de desempenho térmico dos painéis CLT seria por meio da elaboração de protótipos para medições da temperatura de bulbo seco, para comparação com os resultados das simulações computacionais. Também, poderiam ser considerados nos protótipos, a aplicação de estratégias bioclimáticas nos sistemas em CLT, *wood frame* e alvenaria convencional para verificar se os resultados observados seguiriam o mesmo padrão obtido para o modelo de UH unifamiliar em condomínio presente nesse trabalho, validando assim as simulações computacionais.

Para completar a análise de desempenho térmico, os painéis que compõem os sistemas construtivos em CLT poderiam ser simulados por meio do software *Therm*, que permite analisar a transferência de calor por condução por meio do método de elementos finitos, sendo possível assim, verificar a influência das pontes térmicas entre pisos e paredes e entre paredes e lajes ou paredes e coberturas (BERKELEY LAB, 2019).

Por fim, o sistema construtivo avaliado na presente pesquisa ainda carece de estudos de desempenho acústico, com base nas normativas brasileiras, como a NBR 15575 partes 1, 3, 4 e 5, recentemente atualizada. Cabe ainda, a realização de simulações computacionais para análise de desempenho acústico dos sistemas em CLT e dos demais sistemas construtivos para comparação entre os resultados.

REFERÊNCIAS

AECWEB. **Cool Lite SKN e Cool Lite KNT**. 2022. Disponível em:

<https://www.aecweb.com.br/empresa/cebrace/9391/conteudo/cool-lite-skn-e-cool-lite-knt/981> . Acesso em: 22 Jul. 2022.

AKBARI, H; LEVINSON, R; BERDAHL, P. Cool Materials Rating Instrumentation and Testing. In: **Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment**. Bentham Science Publishers, 2013. eISBN: 978-1-60805-471-8. ISBN: 978-1-60805-597-5.

A MATA BRASIL. **Primeiro prédio de madeira engenheirada do brasil é inaugurado**. São Paulo, 2021.

Disponível em: <https://amatabrasil.com.br/primeiro-predio-de-madeira-engenheirada-do-brasil-e-inaugurado/#:~:text=O%20primeiro%20e%20mais%20alto,sua%20primeira%20loja%20de%20rua>.

Acesso em: 22 Jul. 2022.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). Indoor environmental quality – Thermal Comfort. Cap. 9. In: **ASHRAE Handbook Fundamentals 2017**. 2017.

ARAUJO, V. A. de; GUTIÉRREZ-AGUILAR, C. M; CORTEZ-BARBOSA, J; GAVA, M; GARCIA, J. N.

Disponibilidad de las técnicas constructivas de habitación

en madera, en Brasil. **Revista de Arquitectura**, nº 21, p. 68-75. Bogotá, 2019. DOI:

<http://dx.doi.org/10.14718/RevArg.2019.21.1.2014>.

ARAUJO, V. A. de; VASCONCELOS, J. S; MORALES, E. A. M; GAVA, M; SAVI, A. F. Wooden residential buildings – a sustainable approach. **Bulletin of the Transilvania University of Braşov**. V. 9 nº 2. Romênia, 2016. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/312489541_Wooden_Residential_Buildings_-_A_Sustainable_Approach. Acesso em: 22 Jul. 2022.

ASHRAE. **ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E903-12**: Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres. West Conshohocken: ASTM, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA (ABCEM). **Manual técnico telhas de aço**.

São Paulo, 2009. Disponível em: <https://www.abcem.org.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

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

ABNT. **ABNT NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2. Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ABNT. **ABNT NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2. Componentes e elementos construtivos das edificações - Resistência e transmitância térmica - Métodos de cálculo (ISO 6946:2017 MOD). Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ABNT. **ABNT 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, 2005.

ABNT. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2021a.

ABNT. **ABNT NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro: ABNT, 2021b.

ABNT. **ABNT NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021c.

ABNT. **ABNT NBR 7190**: Estruturas em madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ARQUIVO ARQUITETURA. **057 - Sede do IPHAN - Curitiba**. Curitiba, 2022. Disponível em: <https://arquivoarquitetura.com/057>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

AULICIEMS, A; SZOKOLAY, S. V. **Thermal Comfort**. PLEA – Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture, The University of Queensland. 2ª edição. Austrália, 2007.

BAVARESCO, M. V.; MAZZAFERRO, L; MELO, A. P; LAMBERTS, R. **Classificação de climas brasileiros empregada na atualização dos regulamentos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edificações**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/Relatorio_GruposClimaticos.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

BERKELEY LAB, 2019. **Therm**. Disponível em: <https://windows.lbl.gov/software/therm>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

BERKELEY LAB, 2019. **Window**. Disponível em: <https://windows.lbl.gov/software/window>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

BRASIL. **Balanco Energético Nacional – BEN 2021**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

BRASIL. **Plano nacional de energia 2030 (PNE)**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2007. Disponível em: [http://euroclimaplus.org/intranet/documentos/repositorio/Plan%20Nacional%20de%20Energ%C3%ADa%202030%20\(2007\).pdf](http://euroclimaplus.org/intranet/documentos/repositorio/Plan%20Nacional%20de%20Energ%C3%ADa%202030%20(2007).pdf). Acesso em: 22 Jul. 2022.

BRASIL. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Lei de Eficiência Energética. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 1, 18 de out. 2001. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2001/lei-10295-17-outubro-2001-408176-norma-pl.html>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CALIL JUNIOR, C. Timber structures in Brazil: past, present and future. In: WCTE – Word Conference on Timber Engineering. 10 a 14 de agosto de 2014, Quebec, Canadá. **Anais [...]**. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002682714>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CALIL JUNIOR, C; BRITO, L. D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010. Disponível em: <https://ibramem.files.wordpress.com/2011/05/manualdeprojetoconstruc3a7c3a3odeestruturascompec3a7asrolic3a7asdemadairadereflorestamento.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CASTRO V. G. de; GUIMARÃES, P. P. **Deterioração e preservação da madeira**. Editora da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (EDUFERSA). Mossoró, 2018. Disponível em: <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2019/02/deterioracao-e-preservacao-da-madeira002.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). **Projetos em andamento**. 2021. Disponível em: <https://cb3e.ufsc.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CB3E. **Proposta de instrução normativa Inmetro para a classe de eficiência energética de edificações residenciais (INI-R)**. Florianópolis, 2020. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/2020.11.09-INI-R_V1.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CCIA IMÓVEIS. **Venda casa**. Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://www.cciaimoveis.com.br>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CHACON, I. M. N. **Estudo sobre o panorama da arquitetura brasileira em madeira: à luz da tectônica e da empatia**. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38291>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CHVATAL, K. M. S. **Relação entre o nível de isolamento térmico da envolvente dos edifícios e o potencial de sobreaquecimento no verão**. 2007. 280 f. Tese (Doutorado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007. Disponível em: https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/71557/22_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CIDADE BRASIL, 2021. **Município de Foz do Iguaçu**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-foz-do-iguacu.html>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CLARO, A. **A produção de casas de madeira em Santa Catarina**. 1991. Dissertação (Mestrado) FAUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 1991. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/75813>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CLIMATE CONSULTANT 6.0 (2021). Disponível em: <http://climate-consultant.freedownloadscenter.com/windows/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CLT brasileiro e exemplos de prédios de madeira - vamos falar de madeira? Publicado por Alan Dias, CROSSLAM BRASIL, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=oGkZ2LXiRIQ>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

COMPANHIA DE HABITAÇÃO DO PARANÁ (COHAPAR), 2021. **Residencial Foz do Iguaçu I**. Disponível em: <https://www.sistemas.cohapar.pr.gov.br/portalDeEmpreendimentos/empreendimento.php?p=8WXCcRV=xtMOJeCCN9EFIAyRlQT66qndHCFjIAm>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

COSTA FILHO, R. F. **Sistema construtivo em madeira: modelo de referência para habitação na zona de Minas Gerais**. 2017 Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, 2017. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/19365>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CROSSLAM. **CLT: Cross Laminated Timber**. Suzano, 2020. Disponível em: <https://www.crosslam.com.br/site/clt/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

DEAR, R. J. de; BRAGER, G. S. **Developing an adaptive model of thermal comfort and preference**. This preprint is for discussion purposes only, for inclusion in ASHRAE transactions 1998, v. 104, pt. 1. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/4qq2p9c6>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

DEPARTMENT OF ENERGY (DOE). **Openstudio comes full polygon**. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. EUA, 2017. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/buildings/articles/openstudio-comes-full-polygon>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: método de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/429167?guid=1651449605964&returnUrl=%2Fresultado%2Flistar%3Fguid%3D1651449605964%26quantidadePaginas%3D1%26codigoRegistro%3D429167%23429167&i=4>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

DORNELLES, K. A. **Biblioteca de absortância de telhas**. Base de dados para análise de desempenho termoenergético de edifícios. Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo - IAU - USP, São Paulo, 2021. DOI: [10.11606/9786586810103](https://doi.org/10.11606/9786586810103)

ELI, L. G; KRELLING, A. F; MENDES, L. S; SILVA, R. M. e; MAZZAFERRO, L; MELO, A. P; LAMBERTS, R. **Manual de simulação computacional de edifícios com o uso do objeto Ground Domain no programa Energyplus – versão 9.0.1.** LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>. Acesso em 22 Jul. 2022.

ESPÍNDOLA, L. da R. **O wood frame na produção de habitação social no Brasil.** 2017. Tese (Doutorado) Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-04092017-113504/publico/TeseCorrigidaLucianaEspindola.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

EUROPEAN STANDARD. **EN 15251:** Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. Brussels, 2007.

FAZ CASA. **Casas de madeira.** Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://fazcasa.com.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

CONSTRUTORA CASA RÁPIDA. **Projetos.** Paraná, 2020. Disponível em: <https://construtoracasarapida.com.br/projetos/chale-em-toras/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

FOGAÇA, S.; PEDROZO, C. Uso da madeira em larga escala na construção civil brasileira – aspectos socioculturais, técnicos e econômicos. **UniBrasil.** V.4, nº 2, p. 230-245. Curitiba, outubro de 2018. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/anaisvinci/article/view/4311/3491>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

GARMAN-KOLOKOTSA, J; SYNNEFA, A. Policy Aspects of Cool Materials. In: **Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment.** Bentham Science Publishers, 2013. eISBN: 978-1-60805-471-8. ISBN: 978-1-60805-597-5.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings.** V. 18, p. 11-23, Los Angeles, 1992. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](https://doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K)

GUARDIAN INDUSTRIES CORP. **Manual técnico.** 2010. Disponível em: <https://www.guardianglass.com/us/en/our-glass/solar-control-glass>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

HOME PROJETOS E OBRAS. **Residência Village Visconde de Itamaracá.** Disponível em: <https://www.home.pro.br/copia-11th-project>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBA). **Relatório 2020.** São Paulo, 2020. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes/relatorios>. Acesso: 22 Jul. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Madeira:** uso sustentável na construção civil. 2ª edição, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.ipt.br/publicacoes/3.htm>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Normais climatológicas.** 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

INMET. **Arquivos climáticos.** 2018. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/downloads/arquivos-climaticos/inmet2018>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Regulamento técnico da Qualidade para o nível de eficiência energética de edificações residenciais – RTQ-R.** 2012. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/residencial/downloads/RTQR.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA (INMETRO). **Anexo geral V - catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. Anexo da portaria INMETRO nº 50/2013. Brasília, 2015. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/anexos_rac/AnexoV.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL (IPHAN). **Sede do IPHAN em Curitiba (PR) é reaberta, após restauro**. Curitiba, 2018. Disponível em: <https://portal.iphan.gov.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

JOÃO DA MADEIRA. **Kit madeira**. Colônia São João Batista, 2018. Disponível em: <http://www.jmmadeira.com.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

KOLOKOTRONI, M; KOLOKOTSA, D. Energy and Environmental Aspects of Cool Materials. In: **Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment**. Bentham Science Publishers, 2013. eISBN: 978-1-60805-471-8. ISBN: 978-1-60805-597-5.

KOTEEK, M; GRIESER, J; BECK, C; RUDOLF, B; RUBEL, F. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, nº 3, p. 259-263. Berlin, 2006. DOI: [10.1127/0941-2948/2006/0130](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130)

KRELLING, A. F.; ELI, L. G.; OLINGER, M. S.; VEIGA, R. K. S.; MELO, A. P.; LAMBERTS, R. Proposta de método de avaliação do desempenho térmico de residências: NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, Porto Alegre, nov. 2020. **Anais [...]**. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/documents/2020ENTAC-Proposta_de_metodo_de_avaliacao_do_desempenho_termico_de_residencias_NBR15575-Krelling_et_al.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL (LCA). **Laboratório de conforto ambiental**. IAU/USP - Instituto de arquitetura e urbanismo da Universidade de São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.iau.usp.br/laboratorios/lca/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

LABORATÓRIO DE CONFORTO AMBIENTAL E FÍSICA APLICADA (LACAF). **LACAF3E**. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas, 2021. Disponível em: <https://www.fec.unicamp.br/~lacaf3e/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). **NBR 15575-2020 – Desempenho térmico**. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/NBR15575-2020>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (LabEEE). **Sobre o LabEEE**. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2021. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sobre>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

LATHA, P. K; DARSHANA, Y; VENUGOPAL, V. Role of building material in thermal comfort in tropical climates – A review. **Journal of Building Engineering**, v 3, p. 104 – 113, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.06.003>

LECHNER, N. Thermal Comfort. In: **Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects**. John Wiley & Sons, Inc, 4ª edição. New Jersey, 2015.

LEITE, T. M; SANTOS, P. A. F. M; VALLE, I. M. R. do. O uso da Madeira Laminada Colada no Brasil: panorama e desafios. In: CLEM+CIMAD – II Congresso Latinoamericano de Estructuras de Madera – II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera em la Construcción. 17 a 19 de maio de 2017, Buenos Aires, Argentina. **Anais [...]**. Disponível: <http://clem-cimad2017.unnoba.edu.ar/papers/T7-20.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

LIMA, M. de F. de B. **Minha casa de madeira**: levantamento e proposta de adequação ao custo unitário básico. 2017. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

- LOBATO IMOBILIÁRIA. **Venda casa**. Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://www.lobatomachado.com.br/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- LUTTER, S; GILJUM, S; GÖZET, B. **Global trends of material use**. MaterialFlows.Net, 2018. Disponível em: <http://www.materialflows.net/global-trends-of-material-use/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- MEIRELLES, C. R. M; DINIS, H; SEGALL, M. L; SANT'ANNA S. S. **Considerações sobre o uso da madeira no Brasil em construções habitacionais**. III Fórum de Pesquisa Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Mackenzie. São Paulo, 2007. Disponível em: <https://livrozilla.com/doc/806584/considera%C3%A7%C3%B5es-sobre-o-uso-da-madeira-no-brasil-em>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- MELLO, R. L. de. **Projetar em madeira: uma nova abordagem**. 2007. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/3133>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- MGA IMOBILIÁRIA. **Venda casa**. Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://www.mgaimobiliaria.com.br>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná, 2014. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- MORIYAMA, M; TAKEBAYASHI, H. Colored Cool Materials. In: **Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment**. Bentham Science Publishers, 2013. eISBN: 978-1-60805-471-8. ISBN: 978-1-60805-597-5.
- NITSCHKE, P. R; CARAMORI, P. H; RICCE, W. S; PINTO, L. F. D. **Atlas Climático**. Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER, 2019. Disponível em: <http://www.idrparana.pr.gov.br/Pagina/Atlas-Climatico#>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- NUMAZAWA. C. T. D. **Arquitetura japonesa no Pará: estudo de caso em edificações de técnica construtiva que favoreceu uma maior durabilidade da arquitetura em madeira no município de Tomé-Açu**. 2009. Dissertação (Mestrado) UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92386>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- NUNES, G. MOURA, J. D. M; GÜTHS; ATEM, C; GIGLIO, T. Termo-energetic performance of wooden dwellings: Benefits of cross-laminated timber in Brazilian climates. **Journal of Building Engineering**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101468>.
- OLIVEIRA, G. L. **Cross Laminated Timber (CLT) no Brasil: processo construtivo e desempenho. Recomendações para o processo do projeto arquitetônico**. 2018. 194 f. Dissertação (Mestrado) FAUSP – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-09012019-144057/pt-br.php>. Acesso: 22 Jul. 2022.
- OLIVEIRA, G. L; OLIVEIRA, F. As interferências do processo produtivo na concepção de projetos de edifícios em CLT – *Cross Laminated Timber*. In: TECSIC – I Workshop de Tecnologias de Processos e Sistemas Construtivos. 03 a 04 de agosto de 2017, Campinas, SP. **Anais [...]**. Disponível em: <https://proceedings.science/tecsic/papers/as-interferencias-do-processo-produtivo-na-concepcao-de-projeto-de-edificios-em-clt-%E2%80%93-cross-laminated-timber>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- OLIVEIRA, R. P. O projeto de arquitetura para clima quente e úmido: diretrizes para residências unifamiliares em Fortaleza-CE. **Revista Tecnol. Fortaleza**. Fortaleza, v. 33, n 2, p. 165-176, dez. 2012. Disponível em: <https://periodicos.unifor.br/tec/article/view/4588/3699>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- OSMOND, P; SHARIFI, E. **Guide to urban cooling strategies 2017**. University of NSW and the Infrastructure Sustainability Council of Australia. 2017. Disponível em: http://www.lowcarbonlivingcsrc.com.au/sites/all/files/publications_file_attachments/rp2024_guide_to_urban_cooling_strategies_2017_web.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

- PASSARELLI, R. N. Timber architecture education using active learning method. A short-course case study at the University of São Paulo, Faculty of Architecture. In: Conference on Timber Engineering. 10 a 14 de agosto de 2014, Quebec, Canadá. **Anais [...]**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/326989343_Timber_architecture_education_using_active_learning_method_A_short-course_case_study_at_the_University_of_Sao_Paulo_Faculty_of_Architecture. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- PEREIRA, I. M; ASSIS, E. S. de. Avaliação de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 31-51, jan./mar. 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/6319/7490>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- PEREIRA, C. D; MARINOSKI, D. L; LAMBERTS, R; GÜTHS, S; GHISI, E. **Guia de medição e cálculo para refletância e absortância solar em superfícies opacas**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E. Florianópolis, mai. 2015. Disponível em: https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Guia_medicao_refletancia_CB3E_v1.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- PISOSSUL ENGENHARIA & CONSTRUÇÃO. **Residência em XLAM**. Foz do Iguaçu, 2020. Disponível em: <https://www.pissosul.com.br/residencia-xlam/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- PREK, M. Thermodynamical analysis of human thermal comfort. **Energy**. V. 31, 5ª edição, p. 732 - 743. Slovenia, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.001>.
- PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). **Instrução Normativa Inmetro para a Classificação de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)**. 2021. Disponível em: <https://www.pbeedifica.com.br/nova-ini/inir>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- PUNHAGUI, K. R. G. **Potencial de reducció de las emisiones de CO₂ y de la energía incorporada em la consrucció de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera**. Tese (Doutorado) UPC – Universitat Politècnica de Catalunya, e Universidade de São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-29042015-164644/pt-br.php>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- RAZOR. **História dos softwares: sketchup**. Passo Fundo, 2020. Disponível em: <https://razor.com.br/blog/arquitetura-e-construcao/historia-dos-softwares-sketchup/#:~:text=O%20SketchUp%20foi%20desenvolvido%20pela,cria%C3%A7%C3%A3o%20de%20projetos%20em%203D>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- REFORMA CASA DE MADEIRA. **Casas com estrutura em madeira**. Paraná, 2019. Disponível em: <https://reformacasademadeira.com.br/casas-com-estruturas-em-madeira/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- ROTHOBLAAS. **Construction Sealing**. 2022. Disponível em: <https://www.rothoblaas.pt/produtos/acustica/perfis-resilientes/construction-sealing>. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- ROVARIS, C. **Estudo para ampliação do uso da madeira para a construção de habitações no Brasil**. 2019. Dissertação (Mestrado) UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, 2019. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNIL_0e542be2044a51e6c579d0c723182bba. Acesso em: 22 Jul. 2022.
- SACHT, H. M; BRAGANÇA, L; ALMEIDA, M; CARAM, R. Specification of Glazings for Façades Based on Spectrophotometric Characterization of Transmittance. **Sustainability** V. 13, 10ª EDIÇÃO. Switzerland, 2021. DOE: <https://doi.org/10.3390/su13105437>
- SHIGUE, E. K. **Difusão da Construção em Madeira no Brasil: Agentes, ações e produtos**. 2018. 250 p. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2018. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-03092018-094051/publico/DissCorrigidaErichKazuoShigue.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

SILVA, R. D. **Plantando casas**: estudo da cadeia produtiva para implantação de habitação de interesse social em madeira de Pinus spp no Paraná – Brasil. 2010. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-05092013-143946/pt-br.php>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

SOL IMÓVEIS. **Venda casa**. Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://www.solimoveis.com.br>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

SORGATO, M. J. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. Tese (Doutorado) UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/169395>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

STOBRASIL REVESTIMENTO E FACHADAS. **Sistemas de Isolamento Térmico**. Itaquaquecetuba, 2017. Disponível em: <https://stobrasil.com.br/produtos/sistemas-de-isolamento-termico-stotherm/>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

SYNNEFA, A; SANTAMOURIS, M. White or Light Colored Cool Roofing Materials. In: **Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment**. Bentham Science Publishers, 2013. eISBN: 978-1-60805-471-8. ISBN: 978-1-60805-597-5.

TEIXEIRA, C. A; INVIDIATA, A; SORGATO, M. J; MELO, A. P; FOSSATI, M; LAMBERTS, R. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações - CB3E, 2015. Disponível em: https://cb3e.ufsc.br/sites/default/files/Relatorio_TipologiasResidenciais.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

VALLE, A. do; MORAES, P. D. de; SZÜCS, C. A; TEREZO, R. F. **Estruturas de madeira**. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2012. Disponível em: <https://giem.ufsc.br/files/2017/02/Apostila-Estrutura-de-Madeira.pdf>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

VALDENEBRO, E; DIETRICH, U; INO, A. Thermal comfort analysis of a representative multi-story social housing unit with wood as an alternative construction material in Brazil. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v 297 SBE 19 – Emerging concepts for Sustainable Built environment. Finland, mai. 2019. DOE: <https://doi:10.1088/1755-1315/297/1/012019>

VEIGA, R. K. S; OLINGER, M. S; KRELLING, A. F; ELI, L. G; MELO, A. P; LAMBERTS, R. Proposta para as escalas dos níveis de desempenho térmico de residências: NBR 15575. In: ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, 2020. **Anais [...]**. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345958810_Proposta_para_as_escalas_dos_niveis_de_desempenho_termico_de_residencias_NBR_15575. Acesso em: 22 Jul. 2022.

WEBER, F. da S; MELO, A. P; MARINOSKI, D. L; GUTHS, S; LAMBERTS, R. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiro para uso no programa EnergyPlus**. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017. Disponível em: https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Biblioteca_ComponentesConstrutivos_0.pdf. Acesso em: 22 Jul. 2022.

WIT, M; HOOGZAAD, J; DANIELS C. V. **The Circularity Gap Report (CGR), 2020**. Circle Economy, 2020. Disponível em: <https://www.circularity-gap.world/about>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

WJ NEGÓCIOS IMOBILIÁRIOS. **Venda casa**. Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <https://www.wjimob.com.br/home>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

WONG, N. H; JUSUF, S. K. Urban Heat Island and Mitigation Strategies at City and Building Level. In: **Advances in the Development of Cool Materials for the Built Environment**. Bentham Science Publishers, 2013. eISBN: 978-1-60805-471-8. ISBN: 978-1-60805-597-5.

ZANI, A. C. **Arquitetura em madeira**. Londrina, PR. Editora da Universidade Estadual de Londrina – EDUEL, 2013. Disponível em:

http://www.uel.br/editora/portal/pages/arquivos/arquitetura%20em%20madeira_digital.pdf.

Acesso em: 22 Jul. 2022.

ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO BRAZILEIRO (ZBBR). **Classificação bioclimática das sedes dos municípios brasileiros e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, conforme a ABNT NBR 15220-3, de 29/04/2005**. Disponível em:

<https://labeee.ufsc.br/downloads/softwares/zbbbr>. Acesso em: 22 Jul. 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Memorial de cálculo das propriedades térmicas dos materiais conforme procedimento da NBR 15220-2 de 2008

Vedação Vertical Externa e Interna em alvenaria de Blocos Cerâmicos

Dados:

Dimensões bloco cerâmico: 9 cm x 14 cm x 24 cm;

Dimensões das câmaras de ar: 3 cm x 3,33 cm x 24 cm;

Espessura da argamassa de assentamento (e): 1 cm.

$$R_{ar} = 0,16 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$$

$$\lambda_{\text{cerâmica}} = 0,90 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

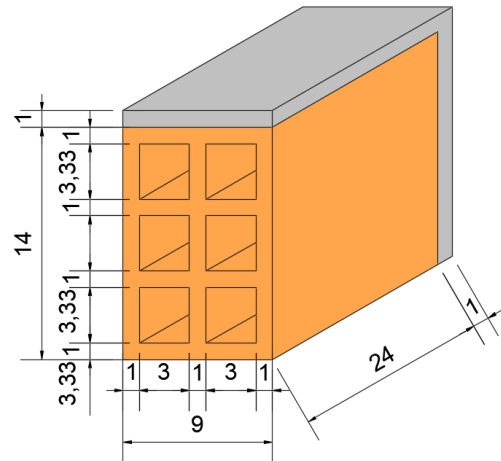
$$\rho_{\text{cerâmica}} = 1600 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{\text{cerâmica}} = 0,92 \text{ kJ/(kg. K)}$$

$$\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

$$\rho_{\text{argamassa}} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{\text{argamassa}} = 1,00 \text{ kJ/(kg. K)}$$



Resistência Térmica de Superfície a Superfície (R_t)

Seção a: (argamassa)

$$R_a = \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} = \frac{0,09}{1,15} = 0,0783 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$A_a = (0,01 \cdot 0,25 + 0,01 \cdot 0,14) = 0,0039 \text{ m}^2$$

Seção b: (bloco cerâmico)

$$R_b = \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} = \frac{0,09}{0,90} = 0,10 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$A_b = (0,01 \cdot 0,24) = 0,0024 \text{ m}^2$$

Seção c: (bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico)

$$R_c = \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{bloco cerâmico}}}{\lambda_{\text{bloco cerâmico}}}$$

$$R_c = \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} = 0,3533 \text{ (m}^2\text{.K)/W}$$

$$A_c = (0,033 \cdot 0,24) = 0,00792 \text{ m}^2$$

$$R_t = \frac{A_a + 4 \cdot A_b + 3 \cdot A_c}{\frac{A_a}{R_a} + \frac{4 \cdot A_b}{R_b} + \frac{3 \cdot A_c}{R_c}} = \frac{0,0039 + 4 \cdot 0,0024 + 3 \cdot 0,00792}{\frac{0,0039}{0,0783} + \frac{4 \cdot 0,0024}{0,10} + \frac{3 \cdot 0,00792}{0,3533}} = 0,1749 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência Térmica Total (R_T)

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 0,04 + 0,1749 + 0,13 = 0,3449 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Transmitância Térmica Total (U_T)

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{0,3752} = 2,8997 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Capacidade Térmica da Parede (C_p)

Seção a: (argamassa)

$$C_a = (e \cdot p \cdot c)_{\text{argamassa}}$$

$$C_a = (0,09 \cdot 2000 \cdot 1,00)$$

$$C_a = 180 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção b: (bloco cerâmico)

$$C_b = (e \cdot p \cdot c)_{\text{bloco cerâmico}}$$

$$C_b = (0,09 \cdot 1600 \cdot 0,92)$$

$$C_b = 132,48 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Seção c: (bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico + câmara de ar + bloco cerâmico)

$$C_c = 3 \cdot (e \cdot p \cdot c)_{\text{bloco cerâmico}}$$

$$C_c = 3 \cdot (0,01 \cdot 1600 \cdot 0,92)$$

$$C_c = 44,16 \text{ kJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Capacidade Térmica Total (C_T)

$$C_T = \frac{A_a + 4 \cdot A_b + 3 \cdot A_c}{\frac{A_a}{C_a} + \frac{4 \cdot A_b}{C_b} + \frac{3 \cdot A_c}{C_c}} = \frac{0,0039 + 4 \cdot 0,0024 + 3 \cdot 0,00792}{\frac{0,0039}{180} + \frac{4 \cdot 0,0024}{132,48} + \frac{3 \cdot 0,00792}{44,16}} = 58,94 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo da Espessura para o Modelo Equivalente

$$C_{T,eq.} = 2 \cdot (e_{eq.} \cdot c \cdot p)_{\text{bloco cerâmico}} = C_T$$

$$e_{eq.; \text{cerâmica}} = \frac{C_T}{2 \cdot (c \cdot p)_{\text{bloco cerâmico}}} = \frac{58,94}{2 \cdot (0,92 \cdot 1600)} = 0,02002 \text{ m}$$

$$e_{eq.; \text{cerâmica}} = 2 \text{ cm}$$

$$e_{eq.; \text{câmara de ar}} = 9 - 2 \cdot 2 = 5 \text{ cm}$$

APÊNDICE II – Memorial de cálculo das pontes térmicas dos sistemas de vedações externas conforme procedimento da NBR 15575-1 (ABNT, 2021a)

Para o cálculo das pontes térmicas dos sistemas construtivos em CLT e *wood frame*, foi selecionada a parede norte da unidade habitacional “UH multifamiliar geminada”, pois todas as paredes apresentam a mesma configuração de espaçamento dos barrotes (CLT) ou de estrutura em madeira (*wood frame*) tanto nesse modelo como no modelo de UH unifamiliar em condomínio.

Sistema *wood frame*

$$\text{Área total parede} = 15,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área estrutura em madeira} = 2,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Área lâ de rocha} = 12,8 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{madeira}} = 3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$U_{\text{lã de rocha}} = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

Sistema CLT

$$\text{Área total parede} = 15,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área barrotes} = 1,8 \text{ m}^2$$

$$\text{Área câmara de ar} = 13,4 \text{ m}^2$$

$$U_{\text{madeira}} = 3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$U_{\text{câmara de ar}} = 6,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

H = coeficiente de transferência térmica W/K

$$H_{\text{estrutura em madeira}} = A_{\text{estrutura em madeira}} \cdot U_{\text{madeira}}$$

$$H_{\text{estrutura em madeira}} = 7,2 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{lã de rocha}} = A_{\text{lã de rocha}} \cdot U_{\text{lã de rocha}}$$

$$H_{\text{lã de rocha}} = 11,5 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{estrutura em madeira}} + H_{\text{lã de rocha}}$$

$$H_{\text{total}} = 18,8 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{estrutura em madeira}} = 38,65\% \text{ do } H_{\text{total}}$$

$$H_{\text{barrotes}} = A_{\text{barrotes}} \cdot U_{\text{madeira}}$$

$$H_{\text{barrotes}} = 5,4 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{câmara de ar}} = A_{\text{lã de rocha}} \cdot U_{\text{lã de rocha}}$$

$$H_{\text{câmara de ar}} = 83,7 \text{ W/K}$$

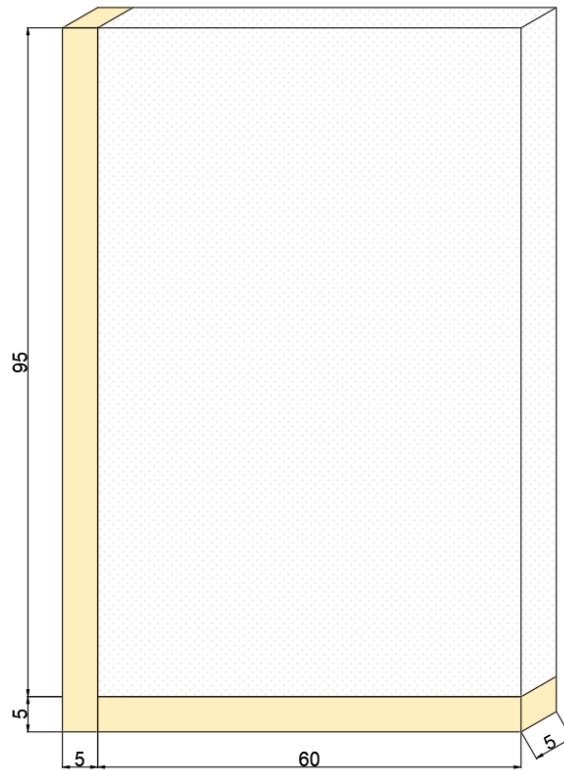
$$H_{\text{total}} = H_{\text{barrotes}} + H_{\text{câmara de ar}}$$

$$H_{\text{total}} = 89,1 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{barrotes}} = 6,09\% \text{ do } H_{\text{total}}$$

Os resultados indicam que a estrutura em madeira no sistema construtivo em *wood frame* deve ser considerada, pois representa mais de 20% do coeficiente de transferência térmica total da parede. Já os barrotes no sistema CLT não precisam ser considerados. A seguir será apresentado o cálculo da parede equivalente de *wood frame*.

Módulo considerado para cálculo da parede equivalente no sistema *wood frame*



Espessura da parede:	$e = 0,05 \text{ m}$
Calor específico da lã de rocha:	$c_{\text{lã de rocha}} = 0,75 \text{ kJ}/(\text{kgK})$
Calor específico da madeira:	$c_{\text{madeira}} = 1,34 \text{ kJ}/(\text{kgK})$
Densidade lã de rocha:	$\rho_{\text{lã de rocha}} = 20 \text{ kg}/\text{m}^3$
Densidade madeira:	$\rho_{\text{madeira}} = 525 \text{ kg}/\text{m}^3$
Condutividade lã de rocha:	$\lambda_{\text{lã de rocha}} = 0,045 \text{ W}/(\text{m. K})$
Condutividade madeira:	$\lambda_{\text{madeira}} = 0,15 \text{ W}/(\text{m. K})$
Resistência térmica lã de rocha:	$R_{\text{lã de rocha}} = 1,111 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$
Resistência térmica madeira:	$R_{\text{madeira}} = 0,333 \text{ (m}^2\text{K)}/\text{W}$
Área lã de rocha:	$A_{\text{lã de rocha}} = 0,57 \text{ m}^2$
Área madeira:	$A_{\text{madeira}} = 0,08 \text{ m}^2$
Resistência R_t :	$R_t = \frac{A_{\text{lã de rocha}} + A_{\text{madeira}}}{\frac{A_{\text{lã de rocha}}}{R_{\text{lã de rocha}}} + \frac{A_{\text{madeira}}}{R_{\text{madeira}}}} = 0,8632 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$

Resistência térmica total equivalente:	$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} = 1,0332 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$
Transmitância térmica equivalente:	$U_{parede \text{ equivalente}} = 0,9679 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
Capacidade térmica lã de rocha:	$C_{\text{lã de rocha}} = 0,75 \text{ kJ/(m}^2 \text{K)}$
Capacidade térmica madeira:	$C_{\text{madeira}} = 35,175 \text{ kJ/(m}^2 \text{K)}$
Capacidade térmica Total equivalente:	$C_{\text{equivalente}} = \frac{A_{\text{lã de rocha}} + A_{\text{madeira}}}{\frac{A_{\text{lã de rocha}}}{C_{\text{lã de rocha}}} + \frac{A_{\text{madeira}}}{C_{\text{madeira}}}} = 0,8632 \text{ kJ/(m}^2 \text{K)}$
Condutividade equivalente:	$\lambda = \frac{e}{R_t} = 0,058 \text{ W/(mK)}$
Densidade equivalente:	$\rho_{\text{equivalente}} = \frac{A_{\text{lã de rocha}} + A_{\text{madeira}}}{\frac{A_{\text{lã de rocha}}}{\rho_{\text{lã de rocha}}} + \frac{A_{\text{madeira}}}{\rho_{\text{madeira}}}} = 22,6857 \text{ kg/m}^3$
Calor específico equivalente:	$C_{\text{equivalente}} = \frac{C_{\text{equivalente}}}{e \cdot \rho_{\text{equivalente}}} = 0,7518 \text{ kJ/(kgK)}$

APÊNDICE III – Entrevista realizada na Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu

1. Informações sobre o entrevistado

- 1.1. Data da entrevista: 15/06/2021.
- 1.2. Nome do entrevistado: Amauri Severo.
- 1.3. Cargo: Desenhista sênior.
- 1.4. Departamento: Projetos e Urbanismo.

2. Perguntas e respostas

2.1. Quais os principais tipos de projetos que vocês recebem/aprovam atualmente?

A principal tipologia arquitetônica em construção em Foz do Iguaçu é de casas geminadas e em série, para os programas minha casa minha vida ou Fozhabita. Em segundo lugar são casas de médio padrão construídas em condomínios, com destaque para os condomínios Terras Alpha I e Terras Alpha II, Vila A Park, Arco de Paris, Arco Di Roma e Leonardo da Vinci.

2.2. Desses projetos residenciais, qual a principal tipologia arquitetônica?

Casas térreas geminadas e nos condomínios são sobrados, devido ao menor tamanho dos terrenos.

2.3. As casas têm aproximadamente quantos metros quadrados?

Até 70 m² no caso das casas geminadas e acima de 150 m² nas casas de condomínio.

2.4. Qual o número de quartos?

Dois ou três nas casas geminadas e acima de três nas casas de condomínio.

2.5. Qual o número de suítes?

Nenhuma nas casas geminadas e acima de duas nas casas de condomínio.

2.6. Quantos banheiros?

Um nas casas geminadas e acima de dois nas casas de condomínio.

2.7. Quantos lavabos?

Nenhum nas casas geminadas e pelo menos um nas casas de condomínio.

2.8. As salas costumam ser integradas com as cozinhas?

Sim, para ambos as tipologias.

2.9. As cozinhas costumam ser integradas com a área de serviço?

Não, pois já são integradas com as salas. As áreas de serviço são separadas. No caso das casas geminadas, elas ficam para fora da edificação.

2.10. Qual a altura do pé direito?

Nas casas geminadas no máximo 3 metros, nas casas em condomínio as salas costumam ter pé direito de 5 metros e o restante da casa 3 metros.

2.11. Os acabamentos são em platibanda ou telhados com beirais?

Nas casas geminadas são em telhado com beirais de 60 cm, nas casas em condomínio são em platibanda com beiral de cimento ao redor.

2.12. Qual o tipo de cobertura mais utilizado?

As coberturas são na maioria em laje convencional de concreto. No caso das casas em condomínio, elas ainda possuem acabamento em forro de gesso.

2.13. Qual o tipo de telha mais utilizado?

Nas casas geminadas são as telhas cerâmicas, nas casas em condomínio são utilizadas telhas sanduíche de zinco com isolamento em isopor.

APÊNDICE V – Classificação do nível de desempenho dos painéis CLT conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021^a)

SVVE 01 - EIFS CLT 57 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,9	40,8	(x) Sim () Não
Tomá _{xUH} [°C]	32,1	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,4	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2768,8	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	86,0	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2854,9	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /A _{puH} [kWh/ano.m ²]	86,6	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério:	Δ PHFT [%]	Δ PHFT _{mín} [%]	Atendimento
PHFT _{UH} \geq Δ PHFT _{mín}	13,1	13,4	() Sim (x) Não
Critério:	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
RedCgTT \geq RedCgTT _{mín}	48,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério:	Δ PHFT [%]	Δ PHFT _{mín} [%]	Atendimento
PHFT _{UH} \geq Δ PHFT _{mín}	13,1	13,4	() Sim (x) Não
Critério:	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
RedCgTT \geq RedCgTT _{mín}	48,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo
	() Intermediário
	() Superior

SVVE 02 - EIFS CLT 80 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,8	40,8	(x) Sim () Não
Tomá _{XUH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,5	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2774,2	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	80,0	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2854,2	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	86,6	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	13,0	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	13,0	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 03 - EIFS CLT 95 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,9	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,6	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2771,9	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	75,0	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2846,9	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	86,4	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério:	Δ PHFT [%]	Δ PHFT _{mín} [%]	Atendimento
PHFT _{UH} \geq Δ PHFT _{mín}	13,1	13,4	() Sim (x) Não
Critério:	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
RedCgTT \geq RedCgTT _{mín}	48,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério:	Δ PHFT [%]	Δ PHFT _{mín} [%]	Atendimento
PHFT _{UH} \geq Δ PHFT _{mín}	13,1	13,4	() Sim (x) Não
Critério:	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
RedCgTT \geq RedCgTT _{mín}	48,7	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH			(x) Mínimo
			() Intermediário
			() Superior

SVVE 04 - EIFS CLT 105 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,9	40,8	(x) Sim () Não
Tomá _{XUH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,6	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2773,0	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	72,2	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2845,3	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	86,4	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	13,1	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	13,1	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,7	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 04.1 - EIFS CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,2	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,1	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,2	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2828,1	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	26,9	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2855,0	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /A _{UH} [kWh/ano.m ²]	86,6	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,4	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,4	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 05 - EIFS CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,8	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,4	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2840,6	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	10,3	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2850,9	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	86,5	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	15,0	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	15,0	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	48,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 07 - Placa cimentícia CLT 57 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,5	40,8	(x) Sim () Não
Tomá _{XUH} [°C]	32,2	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	14,9	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2584,1	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	210,9	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2795,0	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	84,8	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,7	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,7	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	---

SVVE 08 - Placa cimentícia CLT 80 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,4	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,4	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2626,5	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	174,0	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2800,5	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	85,0	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,6	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,5	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,6	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,5	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 09 - Placa cimentícia CLT 95 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,3	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,6	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2649,4	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	158,2	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2807,6	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	85,2	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,5	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,5	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,4	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 10 - Placa cimentícia CLT 105 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,1	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,8	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2665,1	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	149,5	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2814,6	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	85,4	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,3	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,3	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,3	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,3	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 10.1 - Placa cimentícia CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	54,1	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,4	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2719,7	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	89,3	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2809,0	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	85,2	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	13,3	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	13,3	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,4	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 11 - Placa cimentícia CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	54,9	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,2	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2800,5	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	30,7	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2831,2	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	85,9	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,1	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,0	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,1	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,0	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 01 - EIFS CLT 57 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,6	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,9	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2165,8	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	133,6	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2299,5	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,8	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,8	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,8	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 02 - EIFS CLT 80 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,4	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,1	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2170,3	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	127,0	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2297,3	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,7	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 03 - EIFS CLT 95 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,4	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,1	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2169,8	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	122,7	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2292,4	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,6	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,7	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 04 - EIFS CLT 105 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,5	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,2	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2170,0	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	118,1	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2288,0	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,4	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,7	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,8	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,7	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,8	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 04.1 - EIFS CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	59,8	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,9	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2217,8	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	55,9	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2273,8	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,0	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,0	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,0	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,0	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,0	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 05 - EIFS CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	60,0	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,1	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2236,6	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	31,8	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2268,4	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	68,8	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,2	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,1	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,2	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,1	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 07 – Placa cimentícia CLT 57 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	57,4	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,2	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	14,7	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2073,1	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	264,1	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2337,2	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	70,9	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,9	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,9	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 08 – Placa cimentícia CLT 80 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	57,3	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,1	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,1	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2095,4	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	229,9	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2325,3	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	70,6	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,1	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,6	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,1	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 09 – Placa cimentícia CLT 95 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	57,5	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,4	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2108,2	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	209,1	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2317,3	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	70,3	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,7	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,3	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,7	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,3	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 10 – Placa cimentícia CLT 105 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	57,5	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,5	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2112,7	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	198,1	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2310,8	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	70,1	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,8	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,8	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	58,4	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 10.1 – Placa cimentícia CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,7	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,1	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2138,2	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	136,3	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2274,5	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,0	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,9	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,0	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,9	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,0	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 11 – Placa cimentícia CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	59,7	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,9	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2197,7	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	56,6	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2254,3	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	68,4	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	18,9	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	18,9	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,4	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 01 - EIFS CLT 57 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	56,7	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,7	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,9	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	5031,1	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	78,3	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5109,4	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,5	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,0	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,8	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,0	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,8	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 02 - EIFS CLT 80 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	56,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,1	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	5043,8	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	65,2	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5109,0	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,5	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,8	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,0	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,8	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 03 - EIFS CLT 95 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	56,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,1	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	5049,0	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	56,4	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5105,3	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,5	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,8	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,8	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 04 - EIFS CLT 105 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	56,9	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,2	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	5051,4	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	50,8	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5102,2	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,4	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,2	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,9	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	16,2	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,9	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 04.1 - EIFS CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	57,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,4	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,3	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4880,6	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	33,0	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4913,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	61,1	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,5	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,5	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 05 - EIFS CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,1	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,4	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,6	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4914,2	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	5,4	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4919,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	61,2	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,4	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,4	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,4	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 07 – Placa cimentícia CLT 57 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,5	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,9	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,4	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4787,3	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	354,9	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5142,2	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,9	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,8	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,5	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,8	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,5	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 08 – Placa cimentícia CLT 80 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,5	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,7	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,0	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4855,7	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	276,6	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5132,3	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,8	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,7	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,7	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,6	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 09 – Placa cimentícia CLT 95 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,4	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,2	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4891,2	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	235,8	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5127,0	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,7	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,7	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,7	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,7	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 10 – Placa cimentícia CLT 105 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,5	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,3	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4904,3	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	216,4	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5120,7	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	63,7	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,8	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,8	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	55,7	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 10.1 – Placa cimentícia CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	56,6	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,4	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,4	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4720,0	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	184,0	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4904,0	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	61,0	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	15,9	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	15,9	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,6	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo
	() Intermediário
	() Superior

SVVE 11 – Placa cimentícia CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	57,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,3	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,3	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4841,5	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	39,2	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4880,7	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	60,7	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,8	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,8	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo
	() Intermediário
	() Superior

SVVE 01 - EIFS CLT 57 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	62,2	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,4	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,6	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3648,0	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	169,4	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3817,4	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	47,5	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,5	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,0	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,5	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,0	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 02 - EIFS CLT 80 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	62,2	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,4	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,7	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3650,2	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	147,5	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3797,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	47,2	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,5	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,2	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,5	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,2	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 03 - EIFS CLT 95 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	62,4	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,3	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,7	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3646,9	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	132,5	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3779,4	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	47,0	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,7	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,3	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,7	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,3	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 04 - EIFS CLT 105 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	62,5	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,3	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,8	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3646,2	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	126,7	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3772,9	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	46,9	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,8	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,8	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	67,4	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 04.1 - EIFS CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	65,1	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,0	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,0	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3368,0	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	101,1	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3469,1	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	43,1	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	24,4	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	70,0	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	24,4	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	70,0	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 05 - EIFS CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	66,5	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	29,9	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,4	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3353,4	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	43,9	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3397,2	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	42,2	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	25,8	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	70,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	25,8	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	70,6	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 07 – Placa cimentícia CLT 57 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	59,5	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,8	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,4	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3598,4	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	498,1	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4096,5	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	50,9	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	18,8	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	64,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	18,8	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	64,6	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	---

SVVE 08 – Placa cimentícia CLT 80 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	59,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,7	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3598,3	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	421,7	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4020,0	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	50,0	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	65,2	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,1	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	65,2	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 09 – Placa cimentícia CLT 95 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	60,1	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,5	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	15,9	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3590,9	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	380,1	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3971,0	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	49,4	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,4	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	65,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,4	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	65,7	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 10 – Placa cimentícia CLT 105 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	60,2	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,5	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,0	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3588,2	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	355,4	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3943,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	49,0	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,5	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	65,9	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,5	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	65,9	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 10.1 – Placa cimentícia CLT 105 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	62,6	40,7	(x) Sim () Não
Tomá _{UH} [°C]	30,2	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,2	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3337,6	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	320,3	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3657,9	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	45,5	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,9	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	68,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	21,9	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	68,4	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 11 – Placa cimentícia CLT 250 mm laje 250 mm - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	65,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	29,9	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,1	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3303,4	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	104,2	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3407,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	42,4	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	25,1	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	70,5	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	25,1	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	70,5	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

APÊNDICE VI – Classificação do nível de desempenho dos sistemas em wood frame conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021^a)

SVVE 06 - EIFS wood frame - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,5	40,8	(x) Sim () Não
Tomá _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomí _{UH} [°C]	17,0	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2812,3	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	24,8	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2837,2	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	86,1	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{min}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{min} [%]	Atendimento
	14,7	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{min}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{min} [%]	Atendimento
	48,9	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{min}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{min} [%]	Atendimento
	14,7	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{min}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{min} [%]	Atendimento
	48,9	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 12 – Placa cimentícia *wood frame* - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,0	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,0	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,8	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2787,1	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	39,9	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2826,9	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	85,8	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,2	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,1	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,2	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	49,1	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 06 - EIFS wood frame - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	60,7	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,7	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2194,8	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	50,9	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2245,7	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	68,2	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	20,0	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,5	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	20,0	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,5	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

SVVE 12 – Placa cimentícia *wood frame* - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	60,3	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	16,5	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2167,6	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	73,2	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2240,8	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	68,0	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,5	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	19,5	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,6	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH			(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--	--	---

SVVE 06 - EIFS wood frame - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,0	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,0	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,8	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4921,4	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	1,2	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4922,5	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	61,2	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,2	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,2	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,4	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH			(x) Mínimo () Intermediário () Superior
--	--	--	---

SVVE 12 – Placa cimentícia *wood frame* - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	58,1	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,0	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,6	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4894,1	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	4,5	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4898,5	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	60,9	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,4	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,6	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	17,4	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	57,6	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo
	() Intermediário
	() Superior

SVVE 06 - EIFS wood frame - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	68,1	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	29,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,7	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3281,3	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	9,7	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3291,0	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	40,9	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	27,4	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	71,5	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	27,4	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	71,5	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH			(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--	--	---

SVVE 12 – Placa cimentícia *wood frame* - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	67,8	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	29,6	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	17,4	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3266,3	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	40,0	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	3306,3	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	41,1	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	27,1	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	71,4	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	27,1	21,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	71,4	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	---

APÊNDICE VII – Classificação do nível de desempenho do sistema em alvenaria convencional conforme a NBR 15575-1 (ABNT, 2021^a)

SVVE 13 - alvenaria convencional - Casa Geminada (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	52,2	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	32,1	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	12,8	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2396,3	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	553,1	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2949,3	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	89,5	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{min}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{min} [%]	Atendimento
	11,4	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{min}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{min} [%]	Atendimento
	46,9	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{min}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{min} [%]	Atendimento
	11,4	13,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{min}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{min} [%]	Atendimento
	46,9	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 13 - alvenaria convencional - Casa Geminada (vidro verde 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	55,2	40,8	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,4	36,5	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	12,6	12,9	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	2003,7	5120,1	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	613,7	430,8	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	2617,4	5550,9	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	79,4	168,5	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,4	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	52,8	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	14,4	13,4	(x) Sim () Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	52,8	40	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo (x) Intermediário (x) Superior
---	--

SVVE 13 - alvenaria convencional - Casa Condomínio (vidro padrão da norma)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	53,0	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	31,8	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	14,0	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	4790,2	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	795,4	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	5585,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	69,4	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,3	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	51,7	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	12,3	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	51,7	55	() Sim (x) Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--

SVVE 13 - alvenaria convencional - Casa Condomínio (vidro verde duplo 8 mm)

Diagnóstico de Desempenho Térmico da UH			
	Modelo Real	Modelo de Referência	Atendimento do Nível Mínimo
PHFT _{UH} [%]	56,6	40,7	(x) Sim () Não
Tomáx _{UH} [°C]	30,9	36,9	(x) Sim () Não
Tomín _{UH} [°C]	13,9	12,1	(x) Sim () Não
CgTR _{UH} [kWh/ano]	3768,3	10524,9	Não se aplica
CgTA _{UH} [kWh/ano]	944,3	1036,7	Não se aplica
CgTT _{UH} [kWh/ano]	4712,6	11561,5	Não se aplica
CgTT _{UH} /Ap _{UH} [kWh/ano.m ²]	58,6	143,7	Não se aplica

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Intermediário			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	15,9	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,2	0	(x) Sim () Não

Diagnóstico do Nível de Desempenho Térmico da UH			
Nível Superior			
Critério: PHFT _{UH} ≥ ΔPHFT _{mín}	ΔPHFT [%]	ΔPHFT _{mín} [%]	Atendimento
	15,9	21,4	() Sim (x) Não
Critério: RedCgTT ≥ RedCgTT _{mín}	RedCgTT [%]	RedCgTT _{mín} [%]	Atendimento
	59,2	55	(x) Sim () Não

Nível de Desempenho Térmico obtido pela UH	(x) Mínimo () Intermediário () Superior
---	--