

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**Escola de Arquitetura, Pós-Graduação em Sustentabilidade em Cidades,
Edificações e Produtos**

Mariana Costa dos Santos

**Análise comparativa de desempenho térmico de dois sistemas
construtivos para habitação de interesse social em Belo Horizonte, Minas
Gerais**

Belo Horizonte

2024

Mariana Costa dos Santos

**Análise comparativa de desempenho térmico de dois sistemas
construtivos para habitação de interesse social em Belo Horizonte, Minas
Gerais**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos.

Professora orientadora: Profa. Dra.
Eleonora Sad de Assis

Belo Horizonte

2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S237a Santos, Mariana Costa dos.
Análise comparativa de desempenho térmico de dois sistemas construtivos para habitação de interesse social em Belo Horizonte, Minas Gerais [recurso eletrônico] / Mariana Costa dos Santos. - 2024.
1 recurso eletrônico (104 f. : il), pdf.

Orientadora: Eleonora Sad de Assis.
Monografia (especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Edifícios - Propriedades térmicas. 2. Habitação popular. 3. Construção civil. 4. Construção sustentável. I. Assis, Eleonora Sad de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 720.47



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ARQUITETURA - EAUFMG
Rua Paraíba, 697 – Funcionários
30130-140 – Belo Horizonte – MG - Brasil

ATA DA REUNIÃO DA COMISSÃO EXAMINADORA DO TRABALHO DE MONOGRAFIA DA ALUNA **MARIANA COSTA DOS SANTOS** COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO CERTIFICADO DO CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE EM CIDADES, EDIFICAÇÕES E PRODUTOS.

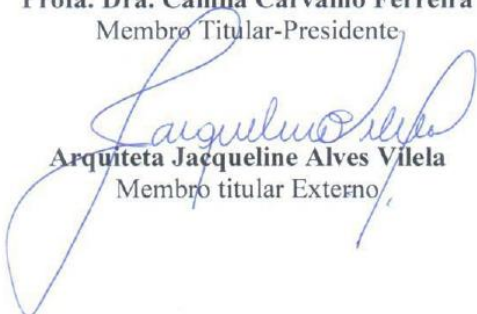
Às 10:00 horas do dia 01 de Novembro de 2024, reuniu-se virtualmente, a Comissão Examinadora composta pela Profa. Dra. Camila Carvalho Ferreira, como membro titular-presidente e pela Arquiteta Jacqueline Alves Vilela, membro titular externo designada pela Comissão Coordenadora do Curso de Especialização em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos, para avaliação da monografia intitulada "*Análise comparativa de desempenho térmico de dois sistemas construtivos para habitação de interesse social em Belo Horizonte, Minas Gerais*" de autoria da aluna **Mariana Costa dos Santos** como requisito final para obtenção do Certificado de Especialista em Sustentabilidade em Cidades, Edificações e Produtos. A citada Comissão examinou o trabalho e, por unanimidade, concluiu que a monografia atende às exigências para a obtenção do Certificado de Conclusão do Curso, obtendo a nota 94 /Conceito A e recomenda que seja encaminhado 01 (um) exemplar digital para o Repositório da UFMG.

Belo Horizonte, 01 de novembro de 2024

**Camila
Ferreira**

Assinado de forma digital
por Camila Ferreira
Dados: 2024.11.01
11:18:05 -03'00'

Profa. Dra. Camila Carvalho Ferreira
Membro Titular-Presidente


Arquiteta Jacqueline Alves Vilela
Membro titular Externo

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, que me apoia e me impulsiona a conquistar meus sonhos e ver que são possíveis; aos meus amigos, pelo apoio e compreensão pelos momentos de ausência e aos meus colegas, que me acompanham nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida e companheiro nas longas madrugadas de estudo. Agradeço aos meus pais, por sempre investirem e acreditarem na minha formação e no meu potencial. Seu apoio, desde o princípio, foram cruciais e indispensáveis para ser quem sou hoje. Agradeço também à Paula e ao Pedro, que estiveram ao meu lado o tempo todo me dando o suporte necessário para concluir mais esta etapa.

Gostaria de expressar também os agradecimentos aos meus amigos, familiares e colegas, que me apoiaram em todo o processo, me ajudando a vencer os desafios ao longo do caminho. Agradeço especialmente à Luiza Barrio e à Luisa Vecchini, que me iluminaram com seus conhecimentos e ajuda, indispensáveis para o sucesso deste trabalho. Agradeço também aos meus colegas de especialização, Marina, Ana Beatriz, Priscylla, Gilmar e Isabela, que viveram essa aventura comigo ainda em tempos de pandemia.

Agradeço ao Departamento de Tecnologia do Design, da Arquitetura e do Urbanismo da Universidade Federal de Minas Gerais, por proporcionar o ambiente acadêmico propício ao desenvolvimento deste trabalho e tornar possível o sonho de ser especialista em sustentabilidade. Agradeço especialmente à minha orientadora, Profa. Dra. Eleonora Sad de Assis, pela sua orientação e apoio na conclusão deste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para o sucesso desta monografia e para minha formação acadêmica. Agradeço também a todos os professores e pessoas queridas que de alguma forma contribuíram para esta jornada.

“A sustentabilidade consiste em construir pensando no futuro.”

Renzo Piano

RESUMO

Habitações de interesse social comumente são construídas utilizando sistemas construtivos convencionais, como alvenaria de tijolos cerâmicos. A industrialização pode ser vista como uma alternativa para tornar o processo e a construção de HIS mais sustentáveis. Entretanto, não se deve considerar o sistema isoladamente como uma boa solução. É importante avaliar o clima da região em que o empreendimento está ou será situado, uma vez que influencia diretamente no desempenho térmico e na eficiência energética da edificação. Este trabalho propõe-se a investigar sistemas construtivos inovadores e mais sustentáveis, comparando-os às construções convencionais, sob a perspectiva da sua aplicabilidade a habitações de interesse social a partir de pré-requisitos determinantes. Assim, o estudo busca avaliar se o uso de uma técnica de construção inovadora como o sistema construtivo de painel de EPS, para o clima de Belo Horizonte/MG, teria um desempenho térmico melhor do que o do sistema construtivo de alvenaria de tijolo cerâmico. Foram utilizadas como embasamento e critérios de análise as normas NBR 15575-1: 2021 e NBR 15220-3:2005 para a realização de simulações de desempenho térmico no software EnergyPlus. Concluiu-se que o sistema de painel de EPS não atendeu ao nível mínimo de desempenho estipulado pela norma, enquanto o de tijolo atendeu, demonstrando que, para a HIS avaliada para Belo Horizonte, o sistema conservador se destacou.

Palavras-chave: Desempenho térmico, sistemas construtivos inovadores, habitação de interesse social, NBR 15575, NBR 15220.

ABSTRACT

Social housing is commonly constructed using conventional building systems, such as ceramic bricks. Industrialization can be seen as an alternative to make the process and construction of SIH more sustainable. However, construction systems should not be considered isolated as a good solution. It is important to evaluate the climate of the region where the project is or will be located, as it directly influences the thermal performance and energy efficiency of the building. This study seeks to examine innovative and more sustainable building systems, contrasting them with conventional methods, with a focus on their suitability for social housing based on key requirements. Therefore, this study aims to assess whether the use of an innovative construction technique, such as the EPS panel system, in the climate of Belo Horizonte, MG, would provide better thermal performance than the conventional ceramic brick system. The analysis was based on the NBR 15575-1:2021 and NBR 15220-3:2005 standards, with thermal performance simulations performed using EnergyPlus software. The results indicated that the EPS panel system did not meet the minimum thermal performance required by the standards, whereas the brick system did, demonstrating that for the social housing project in Belo Horizonte, the conventional system performed better.

Keywords: Thermal performance, innovative building systems, social housing, NBR 15575, NBR 15220.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação esquemática do Painel de EPS Armado	27
Figura 2: Procedimentos de avaliação de desempenho térmico	31
Figura 3: Zoneamento bioclimático brasileiro	40
Figura 5: Fluxograma das etapas do trabalho	42
Figura 4: Modelo de UH tipo para HIS	45
Figura 6: Lógica de nomenclatura das zonas térmicas	47
Figura 7: Planta do pavimento tipo com a demarcação das zonas térmicas.....	47
Figura 8: Corte esquemático	48
Figura 9: Exemplo de zona térmica	49
Figura 10: Vista isométrica do modelo real	49
Figura 12: Configuração do IDF	50
Figura 13: Outputs para modelo com ventilação natural.....	51
Figura 14: Outputs para modelo sem ventilação natural.....	51
Figura 15: Modelo de referência	52
Figura 16: Localização da UH 1 no pavimento	64
Figura 17: Localização da UH 2 no pavimento	66
Figura 18: Localização da UH 3 no pavimento	68
Figura 19: Localização da UH 4 no pavimento	70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Temperatura do ar e umidade relativa de Belo Horizonte, período de 2007-2021	43
Gráfico 2: Rosa dos ventos de Belo Horizonte, período de 2007-2021	44
Gráfico 3: Comparação da Carga Térmica de Resfriamento (Térreo)	60
Gráfico 4: Comparação da carga térmica de resfriamento (Tipo).....	62
Gráfico 5: Comparação da carga térmica de resfriamento (Cobertura)	63
Gráfico 6: Comparação da Carga Térmica (UH 1)	66
Gráfico 7: Comparação da Carga Térmica (UH 2)	67
Gráfico 14: Comparação da Carga Térmica (UH 3)	69
Gráfico 9: Comparação da Carga Térmica (UH 4)	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco	32
Tabela 2: Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFTAPP	32
Tabela 3: Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto ao PHFTUH.....	33
Tabela 4: Valores de temperatura operativa para o cálculo da CgTRAPP e da CgTAAPP	34
Tabela 5: Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à CgTTUH.....	34
Tabela 6: Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência	35
Tabela 7: Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência	35
Tabela 8: Propriedades térmicas do material de isolamento da cobertura para o modelo	35
Tabela 9: Características dos elementos transparentes nas esquadrias para ..	36
Tabela 10: Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para.....	36
Tabela 11: Características dos perfis das esquadrias para o modelo de referência	36
Tabela 12: Padrões de ocupação diários dos APP	37
Tabela 13: Taxa metabólica e fração radiante para os usuários.....	37
Tabela 14: Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP	37

Tabela 15: Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema.....	38
Tabela 16: Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema.....	38
Tabela 17: Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para	38
Tabela 18: Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas	39
Tabela 19: Normais climatológicas de Belo Horizonte, período de 2007-2021 ..	43
Tabela 20: Descrição dos sistemas construtivos.....	46
Tabela 21: Transmitâncias térmicas das superfícies	46
Tabela 22: Exposição solar das zonas térmicas	48
Tabela 23: Limites para TomáxUH e TomínUH para Belo Horizonte/MG	53
Tabela 24: Resultados pavimento térreo - Tijolo	55
Tabela 25: Resultados pavimento tipo - Tijolo	56
Tabela 26: Resultados pavimento cobertura - Tijolo	56
Tabela 27: Nível de Atendimento – Tijolo.....	57
Tabela 28: Resultados pavimento térreo - Painel EPS.....	57
Tabela 29: Resultados pavimento tipo - Painel EPS	58
Tabela 30: Resultados pavimento cobertura - Painel EPS	58
Tabela 31: Nível de Atendimento – Tijolo.....	59

Tabela 32: Diagnóstico - térreo	60
Tabela 33: Diagnóstico - tipo.....	62
Tabela 34: Diagnóstico - cobertura.....	64
Tabela 35: Diagnóstico - UH 1	65
Tabela 36: Diagnóstico - UH 2	68
Tabela 37: Diagnóstico - UH 3	70
Tabela 38: Diagnóstico - UH 4	71
Tabela 39: Diagnóstico final	72
Tabela 40: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Térreo – Tijolo	79
Tabela 41: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Térreo – Tijolo	80
Tabela 42: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Térreo – Tijolo	81
Tabela 43: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Térreo – Tijolo	82
Tabela 44: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Tipo – Tijolo.....	83
Tabela 45: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Tipo – Tijolo.....	84
Tabela 46: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Tipo – Tijolo.....	85
Tabela 47: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Tipo – Tijolo.....	86
Tabela 48: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Cobertura – Tijolo	87
Tabela 49: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Cobertura – Tijolo	88
Tabela 50: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Cobertura – Tijolo	89
Tabela 51: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Cobertura – Tijolo	90

Tabela 52: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Térreo – EPS	92
Tabela 53: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Térreo – EPS	93
Tabela 54: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Térreo – EPS	94
Tabela 55: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Térreo – EPS	95
Tabela 56: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Tipo – EPS	96
Tabela 57: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Tipo – EPS	97
Tabela 58: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Tipo – EPS	98
Tabela 59: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Tipo – EPS	99
Tabela 60: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Cobertura – EPS	100
Tabela 61: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Cobertura – EPS	101
Tabela 62: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Cobertura – EPS	102
Tabela 63: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Cobertura – EPS	103

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO	21
2.1	SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO	21
2.2	SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES	23
2.2.1	PAINÉIS DE ESTRUTURA ARMADA EM EPS	26
2.2.2	SISTEMA CONVENCIONAL DE ALVENARIA	28
2.3	NORMAS TÉCNICAS	29
2.3.1	NBR 15575/21	29
2.3.2	Critério – Percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa (PHFTUH)	32
2.3.3	Temperaturas operativas anuais máxima e mínima da UH (TomáxUH e TomínUH)	33
2.3.4	Critério – Carga térmica total da UH (CgTTUH)	33
2.3.5	Método: simulação computacional	34
2.3.6	NBR 15220-3	39
3	METODOLOGIA	41
3.1	LOCALIZAÇÃO	42
3.2	ESTUDO DE CASO	45
3.3	SIMULAÇÃO NO ENERGY PLUS	47
3.3.1	Modelo real	49
3.3.2	Modelo de referência	51
3.3.3	Crítérios da NBR 15575	53

3.3.4	Análise comparativa.....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1	TIJOLO CERÂMICO	55
4.2	PAINEL DE EPS	57
4.3	COMPARATIVO DOS SISTEMAS	59
4.3.1	Térreo	59
4.3.2	Tipo	60
4.3.3	Cobertura	62
4.3.4	UH 1.....	64
4.3.5	UH 2.....	66
4.3.6	UH 3.....	68
4.3.7	UH 4.....	70
4.3.8	Análise comparativa final	71
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
6	REFERÊNCIAS.....	75
7	APÊNDICES.....	78
7.1	APÊNDICE A – Diagnósticos de desempenho para o sistema construtivo de tijolo	78
7.2	APÊNDICE B – Diagnósticos de desempenho para o sistema construtivo de painel de EPS.....	91

1 INTRODUÇÃO

A sociedade contemporânea enfrenta uma crise ambiental sem escala de precedentes. Poluição da água e do ar, ilhas de calor, exploração em grande escala de recursos, principalmente não renováveis, crise de alimentos e até mesmo problemas psicológicos e doenças são consequências da ação do homem em relação à natureza. A Terra é nossa fonte de recursos, nossa fonte de vida, mas, com a mitificação do avanço e do desenvolvimento pautados na exploração e no consumo excessivos, estamos cada vez mais distantes de um equilíbrio ecossistêmico. "Os sistemas de suporte de vida – ar, água, solo e energia – estão gravemente ameaçados, colocando em risco a oportunidade dos nossos descendentes de desfrutar das maravilhas da vida e do planeta." (SATTLER, 2007, p. 11)

Sobre toda essa problemática, Andrade (2005, p. 57) consegue sintetizar bem a relação atual entre natureza, homem e conhecimento, sugerindo que:

A consciência da crise ambiental nos ensina que o desenvolvimento da ciência e da técnica, associado a um urbanismo incontrolado, ameaça não somente a destruição dos ecossistemas locais, mas a própria destruição da vida na Terra, considerando todo o conjunto da biosfera.

Vivemos em uma sociedade que muitas vezes negligencia a importância da natureza, sociedade tal que mantém hábitos e ações que contribuem para a degradação do meio ambiente. Contudo, há uma parcela da população, ainda que momentaneamente pequena, que se preocupa com o caminho que estamos trilhando. Discussões sobre novos rumos, novas medidas, sobre um novo futuro para o nosso planeta, visando um cenário mais harmonioso com a natureza, começaram a tomar força no final do século XX.

Em 1983 foi criada pela ONU a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, onde foram discutidos meios de harmonizar o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. Foi definido como desenvolvimento sustentável o desenvolvimento que é capaz de suprir as necessidades da geração atual sem prejudicar as gerações futuras. O tema do desenvolvimento sustentável foi tomando proporções tão grandes que, em 1992, foi o pilar da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, a ECO-92. Nessa conferência foi

criada a Agenda 21, um plano de ações que objetiva alcançar, a nível global, o desenvolvimento sustentável.

Em uma realidade na qual não há um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e conservação ambiental, pensar em sustentabilidade é muito tangível. Esse tema tem tomado cada vez mais força nas discussões, abrangendo várias áreas de conhecimento e atuação. Uma dessas áreas é a da construção, que envolve primordialmente a Arquitetura e a Engenharia Civil. Com uma vertente sustentável, a construção pode alcançar uma interação mais respeitosa e equilibrada com a natureza, mas ainda há muitos desafios pelo caminho.

O impacto da indústria tradicional da construção no meio-ambiente é inegável, e pode ser percebido desde o momento da extração de matéria prima até o do descarte de resíduos. Para conseguir superar tantos impactos, é preciso uma “aplicação direta dos conhecimentos ecológicos para a reformulação dos fundamentos de nossas tecnologias e instituições sociais, visando vencer a barreira que separa as criações humanas dos sistemas ecologicamente sustentáveis da natureza” (Andrade, 2005, p. 63).

A própria Agenda 21 introduz um novo conceito de construção, pensando em minimizar esses impactos: a construção sustentável. Ela é conceituada da seguinte maneira: "um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica" (BRASIL, 2018).

Como afirma Soares (2007, p.5), “a questão dos recursos é tomada como a alma do desenvolvimento sustentável”, porém, são diversos os desafios que o setor da construção enfrenta, como pontua o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2018). Podemos destacar a redução e otimização do consumo de materiais e energia, a redução dos resíduos gerados, a preservação do ambiente natural e a melhoria da qualidade do ambiente construído. Para isso, é recomendado:

- mudança dos conceitos da arquitetura convencional na direção de projetos flexíveis com possibilidade de readequação para futuras mudanças de uso e atendimento de novas necessidades, reduzindo as demolições;
- busca de soluções que potencializem o uso racional de energia ou de energias renováveis;

- gestão ecológica da água;
- redução do uso de materiais com alto impacto ambiental;
- redução dos resíduos da construção com modulação de componentes para diminuir perdas e especificações que permitam a reutilização de materiais.

Considerando estes pontos e o tripé da Sustentabilidade – dimensão social, dimensão econômica e dimensão ambiental – este trabalho propõe-se a investigar sistemas construtivos inovadores e mais sustentáveis, comparando-os às construções convencionais, sob a perspectiva da sua aplicabilidade a habitações de interesse social a partir de pré-requisitos determinantes. Consequente, busca-se selecionar e comparar um dos sistemas construtivos inovadores com o sistema convencional de alvenaria em relação ao desempenho térmico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar o desempenho térmico de um sistema construtivo convencional a um sistema inovador a partir da simulação computacional de um modelo representativo de habitação de interesse social, para a cidade de Belo Horizonte, MG, tendo como critério a norma NBR 15575-1:2021.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Delimitar os parâmetros da NBR 15575 para desempenho térmico que serão considerados como critérios de análise para o estudo proposto.
2. Compreender o comportamento térmico de um sistema construtivo inovador e um convencional para um projeto representativo de edifício-padrão de HIS a partir de simulações de desempenho térmico no software Energy Plus.
3. Comparar o nível de desempenho térmico e os resultados obtidos para cada sistema construtivo.

Este trabalho é composto por sete capítulos. Logo após a introdução, o capítulo dois é composto por uma revisão bibliográfica sobre sustentabilidade na construção e

sistemas construtivos inovadores, tendo como foco os aplicáveis à habitação de interesse social. Ainda neste capítulo, é feita também uma síntese das normas NBR 15575-1, de desempenho térmico para edificações, e da NBR 15220-3, de zoneamento bioclimático brasileiro, a fim de levantar os critérios que irão fundamentar a análise a que se propõe este estudo.

O capítulo três é composto pelo estudo de caso. Nele, é apresentada a cidade escolhida, bem como suas características climáticas. A tipologia-padrão a ser avaliada e suas características construtivas também estão expostas nesta parte do texto.

Já o capítulo quatro apresenta os métodos adotados para a elaboração deste trabalho. Nele, as etapas de trabalho são elencadas e percorridas. Neste capítulo está descrito como foram realizadas as simulações, utilizando o software EnergyPlus.

O capítulo cinco, por sua vez, apresenta os resultados obtidos nas simulações e sua análise, de acordo com os critérios da norma de desempenho. O capítulo seis, para finalizar o estudo, apresenta as considerações finais e é seguido pelas referências bibliográficas utilizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO

A revisão bibliográfica deste trabalho será realizada em duas etapas. Inicialmente, propõe-se a discorrer, brevemente, a questão da sustentabilidade no cenário da construção civil e sua importância quanto às habitações de interesse social (HIS). Complementando a discussão, este trabalho busca investigar soluções construtivas tecnológicas que sejam aplicáveis às HIS, de modo a embasar a definição do sistema construtivo inovador que será analisado por este estudo.

2.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO

Os impactos da indústria da construção exercem um papel significativo frente a essa crise ambiental que estamos vivendo. Eles podem ser detectados desde o momento da extração da matéria prima até o descarte dos resíduos, tanto durante o processo de produção quanto o de uso das edificações.

Segundo Sattler (2012, p. 2), podemos classificar esses danos determinados pela atividade construtiva quanto a: aumento da escassez de materiais brutos; dano ecológico causado pela extração destes materiais; consumo de energia em todos os estágios (incluindo transporte); consumo de água; poluição por ruídos e odores; emissões danosas, como aquelas conduzindo à redução na camada de ozônio; aquecimento global e chuvas ácidas; aspectos relativos à saúde humana; risco de desastres; durabilidade e manutenção; re-uso e desperdícios.

Isto posto, podemos afirmar que mudanças são necessárias. Em um quadro geral, é imprescindível buscar novas formas de lidar com a natureza, de modo que se respeite seu tempo de renovação e suas limitações. Um meio para alcançar uma relação homem-natureza mais harmoniosa é a sustentabilidade.

Discussões sobre essa temática começaram a ser mais difundidas a partir da 2ª metade do século XX. Uma publicação marcante dessa época foi o Relatório Brundtland, ou “Nosso Futuro Comum”, criado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, que tinha como objetivo formular uma “agenda global de mudança” (Fontoura, 2007, p. 52). O conceito de desenvolvimento sustentável mais difundido até hoje foi definido nesse relatório, sendo “aquele que atende às

necessidades presentes sem comprometer a possibilidade de futuras gerações atenderem às suas próprias necessidades” (Brundtland, 1987, p. 46).

Em essência, o desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas (Brundtland, 1987, p.49).

Esse relatório aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo, trazendo à tona mais uma vez a necessidade de uma nova relação “ser humano-meio ambiente”. Ao mesmo tempo, esse modelo não sugere a estagnação do crescimento econômico, mas sim essa conciliação com as questões ambientais e sociais. Uma das conclusões que a Comissão chegou é de que, para alcançar desenvolvimento sustentável, requer-se um sistema tecnológico que busque constantemente novas soluções.

No cenário da Habitação de Interesse Social (HIS), pensar em novas soluções é um grande desafio, pois, como cita Nunes (2015), ainda há uma predominância de padrões desatualizados de planejamento e projeto e do uso das mesmas soluções tecnológicas norteadas pelo custo de produção. “No Brasil, as inovações ainda são consideradas incipientes, focadas principalmente na obtenção do lucro, em detrimento da qualidade” (Mendes et. al., 2017).

Sendo as HIS de extrema importância para o desenvolvimento social, uma vez que têm o objetivo de suprir o déficit habitacional, é crucial pensar em novos formatos e novas soluções de construção. No Brasil, segundo um estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2022), o déficit habitacional é de 6.215.313 habitações, em que são consideradas habitações precárias, coabitação e ônus excessivo com aluguel.

Tendo isso em vista, vê-se a necessidade de buscar soluções tecnológicas que não distanciem a produção de habitações sociais do seu custo tradicional. Tanto Nunes (2015) quanto Toledo, Natividade e Vrcibradic (2014) sugerem a implementação de um processo de montagem que se fundamenta em sistemas estruturais e componentes arquitetônicos industrializados como parte essencial de sua abordagem inovadora. Assim, a industrialização e a modulação entram como fortes estratégias para alcançar um modelo construtivo mais otimizado,

proporcionando uma melhoria na agilidade de montagem, menos desperdício de material e uma menor produção de resíduos, quando comparado com os sistemas convencionais. Outro ponto abordado por esses autores é a flexibilidade, que permite não só a modulação como possíveis modificações nas habitações já construídas.

2.2 SISTEMAS CONSTRUTIVOS INOVADORES

Diante da busca por soluções tecnológicas que permitam a produção de habitações sociais dentro dos seus limites de custo, surge a necessidade de explorar abordagens inovadoras. Mendes, Fabricio e Imai (2017, p. 169) trazem uma perspectiva de sistema inovador dentro do contexto do Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Sistemas Inovadores e Convencionais (SiNAT), onde “tecnologia inovadora é aquela que não dispõe de uma norma técnica nacional em vigor”.

Eles também discutem sobre os principais pontos relacionados a essas novas tecnologias e a importância do SiNAT. Novas tecnologias construtivas buscam a redução de custos, o aumento de produtividade e o controle de qualidade do processo e do produto, resultando em sistemas construtivos com grau de industrialização mais alto. Em relação ao Brasil, a grande dificuldade é conseguir superar o foco obstinado pelo custo em detrimento da qualidade.

Por conseguinte, Mendes, Fabricio e Imai (2017) contemplam a importância do SiNAT. Seguindo premissas de redução de custos e garantia de desempenho e vida útil dos produtos, o SiNAT passou a atender aos requisitos da Norma de Desempenho - NBR 15575 (ABNT, 2013). Dessa forma, os produtos são avaliados antes de entrarem no mercado por meio de ensaios laboratoriais, garantindo o desempenho mínimo e a segurança dos usuários.

Vale ressaltar a importância da Norma de Desempenho no cenário global da construção civil no Brasil. Por ser um conjunto de diretrizes orientativas, informativas e normativas para a construção de edificações habitacionais e todos os seus sistemas, seu papel é amparar os principais sistemas de uma edificação com base no resultado que se deseja atingir, estabelecendo padrões mínimos, intermediários e superiores de qualidade. Além disso, prevê deveres e responsabilidades aos usuários da edificação, isto é, os moradores e proprietários, especialmente quanto à necessidade de manutenção/conservação dos sistemas construtivos ao longo da sua utilização, para

que haja a garantia de desempenho e de vida útil dos produtos – objetivos dados como premissas do SiNAT. Ainda que de maneira sugestiva, a NBR15575 também estipula prazos de garantia, métodos de avaliação e os níveis de desempenho para garantir a qualidade da construção.

Dada a importância do SiNAT, especialmente tendo em vista as diretrizes para desempenho mínimo das edificações, podemos prever que, quanto mais sistemas construtivos pré-fabricados forem homologados pelo SiNAT, maior será a variedade de opções, possibilitando diferentes métodos construtivos no Brasil.

Mendes, Fabricio e Imai (2017) adotam sistemas industrializados como sinônimos de pré-fabricados e os classificam em duas categorias:

1. Sistemas leves para vedação:
 - a. Peso inferior a 60 kgf/m²;
 - b. Utilizado para divisões internas;
 - c. Surgiu no Brasil a partir de 1970, sob influência do sistema *drywall*.
2. Sistemas estruturais e de fechamento
 - a. Função estrutural e/ou de vedação;
 - b. Usualmente em concreto armado ou concreto protendido;
 - c. Surgiu no Brasil junto com a indústria cimenteira e com a criação de normas de concreto.

Dentro dessa classificação, eles apresentam três opções de sistemas:

- Sistemas pré-fabricados mistos
 - Estrutura e vedação: painéis pré-moldados misto de concreto e blocos cerâmicos, de caráter portante.
 - A diretriz nº 002 do SiNAT define os parâmetros para seu uso nas construções de habitações sociais.
- Paredes estruturais de painéis de PVC e concreto
 - Estrutura e vedação: painéis estruturais de PVC modulares para concretagem *in loco*
 - A diretriz nº 004 do SiNAT define os parâmetros para seu uso nas construções de habitações sociais.
- Painéis estruturais de vedação em peças leves de madeira maciça e fechamento em chapa

- Estrutura: montantes de madeira
- Vedação: fechamentos em madeira ou placas de gesso acartonado
- A diretriz nº 005 do SiNAT define os parâmetros para seu uso nas construções de habitações sociais.

Sousa e Santos (2021) também abordam uma variedade de sistemas construtivos, oriundos de uma revisão sistêmica da literatura, com o objetivo de identificar os principais métodos utilizados no Brasil desde 2001 para HIS. Eles estão listados a seguir.

- Light Wood Frame (LWF)
 - Estrutura: peças leves de madeira maciça;
 - Vedação: chapas delgadas;
 - A diretriz nº 005 do SiNAT define os parâmetros para seu uso nas construções de habitações sociais.
- Light Steel Frame (LSF)
 - Estrutura: perfis esbeltos de aço zincado formados a frio
 - Vedação: painéis ou placas de origem industrializada (podendo ser de aço, madeira, concreto ou outro material de boa resistência)
 - Recomendado seguir a diretriz nº 003 do SiNAT para construções.
- Alvenaria Convencional
 - Estrutura: concreto armado moldado *in loco*
 - Vedação: blocos cerâmicos assentado por argamassa
 - Sistema mais utilizado no Brasil
- Concreto Pré-fabricado
 - Estrutura: de concreto moldada em fábrica
- Alvenaria Estrutural
 - Estrutura e vedação: blocos estruturais (cerâmicos ou de concreto) com argamassa, graute e aço.
- Concreto-PVC:

- Estrutura e vedação: placas de PVC vazadas que são preenchidas com concreto autoadensável e armadura de aço após sua montagem na obra.
- Painéis de Concreto in Loco
 - Estrutura e vedação: paredes e lajes de concreto armado moldados no local, utilizando fôrmas removíveis pré-fabricadas.
 - A diretriz nº 001 do SiNAT estabelece seu uso nas construções de habitações sociais.
- *Containers*
 - Estrutura e vedação: *container*, utilizado com conjunto de outros materiais para adaptá-lo para uso.
- *Mobile Steel System (MSS)*
 - Estrutura e vedação: painéis-sanduíche de aço galvanizado com seu interior preenchido com poliuretano.

Vale destacar que a maioria dessas opções apresenta um sistema inovador, demonstrando que, complementar à necessidade de inovação demonstrada por Fabricio e Imai (2017), há uma gama significativa de pesquisa no assunto. Sousa e Santos (2021) afirmam que a alvenaria convencional foi abordada como sendo um sistema ineficiente quando comparado aos demais, tendo aparecido em 13% dos artigos analisados. Dentre os outros sistemas que apareceram em maior frequência estão o LSF (34,8%), LWF (21,7) e o Concreto-PVC (13%).

2.2.1 PAINÉIS DE ESTRUTURA ARMADA EM EPS

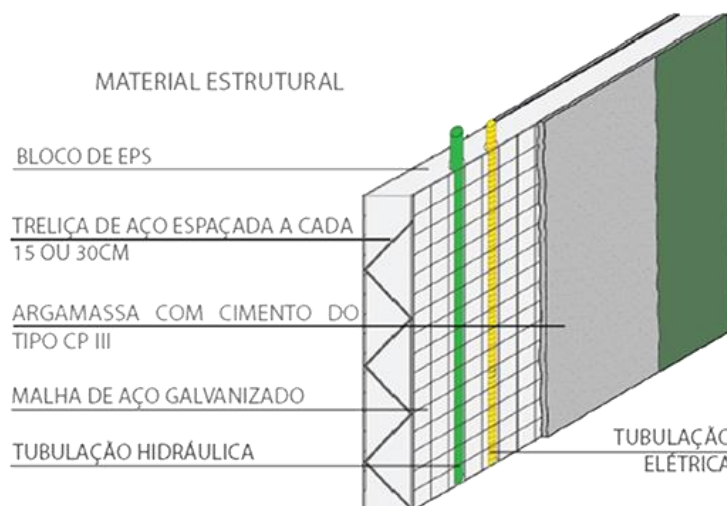
O poliestireno expandido (EPS) começou a ser utilizado na construção civil brasileira em 1990, mas vem ganhando notoriedade nos últimos anos, como comenta Castro *et. al.* (2018). Destaca-se por ser um material 100% reciclável, não gerando resíduos e é muito conhecido por seu potencial de isolamento térmico e acústico, cooperando no aumento da eficiência energética da edificação. Além disso, o “EPS não absorve água, logo, não acumula umidade, o que minimiza a ocorrência de manifestações patológicas decorrentes deste fator” (Pedrozo, Budny e Silva, 2021, p. 108).

Castro *et. al.* (2018, p.106) também aponta os benefícios do uso deste material em substituição aos agregados graúdos na produção de concreto: “menor massa específica, redução do volume total de concreto, da energia utilizada no transporte e no processo construtivo e, ainda, do consumo de energia no condicionamento térmico das edificações”, tendo como empecilho o uso estrutural, devido à baixa densidade do concreto e, conseqüentemente, sua resistência. Em suma, é uma solução ecológica, econômica e sustentável.

O sistema construtivo de painel de estrutura armada de EPS, como o próprio nome traduz, traz a capacidade estrutural para o EPS a partir de uma malha de aço com argamassa. Castro *et. al.* (2018, p.108) define o sistema da seguinte forma:

Trata-se de painéis formados por blocos de EPS intercalados por treliças de aço galvanizado, envoltas nos dois lados por malha de ferro galvanizado, que conferem resistência de 20 a 40 toneladas por metro linear sem a utilização de vigas e pilares. Os painéis recebem aplicação de argamassa em ambos lados com resistência de 9 a 13 MPA(s) e espessura de até 3 cm.

Figura 1: Representação esquemática do Painel de EPS Armado



Fonte: Adaptado de LCP Engenharia & Construções.

Este sistema inovador demanda projeto específico, para que a pré-fabricação dos painéis ocorra adequadamente, sendo este o início do processo construtivo. Requer mão-de-obra especializada, para garantir a montagem e instalação correta dos painéis e sistemas complementares compatibilizados a eles. É um sistema construtivo altamente versátil, devido à sua modulação e personalização. Dentre as vantagens apresentadas por Mazuco e Matheus (2018), estão:

- Redução no tempo de execução;
- Ideal para residências, prédios comerciais, escolas, hospitais, galpões e outros;
- Até 50% mais leve; (Fundação do tipo radier mais barata e simples).
- Resistência antissísmica, tremor de terra (terremoto);
- Menor custo e economia de material;
- Isolamento térmico e acústico;
- Rapidez e facilidade na aplicação;
- Flexibilidade de projeto, podendo assumir as mais diversas formas;
- Limpeza no canteiro, sem desperdício de material.

Entretanto, o sistema apresenta desafios que devem ser considerados. Há uma necessidade de um projeto específico e compatibilizado, além de mão de obra especializada, para garantir uma montagem e aplicação correta dos revestimentos. Requer também equipamentos específicos, podendo limitar sua utilização em algumas regiões, além de necessitar cuidados adicionais devido à sensibilidade do EPS ao calor antes do revestimento. Por sua vez, o painel armado de EPS enfrenta resistência cultural em relação aos métodos tradicionais e pode ter um custo inicial elevado, especialmente em projetos menores. Apesar disso, quando bem planejado e executado, proporciona vantagens significativas em eficiência, sustentabilidade e desempenho, como foi citado anteriormente.

A partir da análise comparativa entre o sistema convencional de alvenaria de bloco e o sistema de painéis de EPS, Mazuco e Matheus (2018) afirmam que é possível alcançar uma economia média de 15%, uma vez que se tenha um bom projeto adequado ao sistema e profissionais capacitados para executá-lo.

2.2.2 SISTEMA CONVENCIONAL DE ALVENARIA

Formada por estrutura em concreto armado moldado *in loco* e vedação em tijolos cerâmicos ou blocos não estruturais de concreto, a alvenaria convencional é o sistema mais utilizado no Brasil. Souza e Santos (2021) em sua revisão sistemática da literatura sobre sistemas construtivos para habitação social atestam a prevalência da abordagem sobre construção convencional como sistema a ser substituído.

A alvenaria convencional é baseada na construção *in loco*, onde há alto consumo de água, desperdício de material, alta geração de resíduos e o tempo de construção é mais lento, quando comparado aos sistemas pré-fabricados. Dessa forma, a discussão sobre construções mais sustentáveis, mais econômicas e mais rápidas é necessária.

2.3 NORMAS TÉCNICAS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas é o órgão responsável pela normatização no Brasil. Em relação às construções, as normas surgem com o objetivo de padronização, a fim de garantir a qualidade e a segurança das edificações.

Em relação ao desempenho térmico, as normas 15575 e 15220 se complementam, uma vez que a primeira apresenta os requisitos para a avaliação de desempenho térmico e a segunda, descreve os métodos e classificações para a avaliação.

Este trabalho adota a NBR 15575-1:2021 e a NBR 15220-3:2005 como embasamento para a avaliação proposta, que serão apresentadas a seguir.

2.3.1 NBR 15575/21

A Norma de Desempenho 15575 estabelece uma série de critérios para garantir a qualidade e a durabilidade de edificações habitacionais. Seus requisitos visam garantir segurança, sustentabilidade e habitabilidade. A primeira edição desta norma foi publicada em 2008 e foi revista e publicada novamente em 2013, com o nome de Edificações habitacionais – Desempenho.

Esta norma foi dividida em 6 partes:

1. Parte 1: Requisitos gerais;
2. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;
3. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos
4. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações internas e externas – SVVIE;
5. Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas;

6. Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Os requisitos de desempenho térmico estão presentes na parte 1, na 15575-1:2013 e determinam que a edificação deva atender aos requisitos para um dia típico de verão e um dia típico de inverno. Esses requisitos, por sua vez, variam de acordo com a zona bioclimática (ZB – definida na ABNT NBR 15220-3) em que a edificação se encontra.

Esta norma teve sua revisão mais recente publicada em 2021, em que foram revistas as partes 1, 4 e 5.

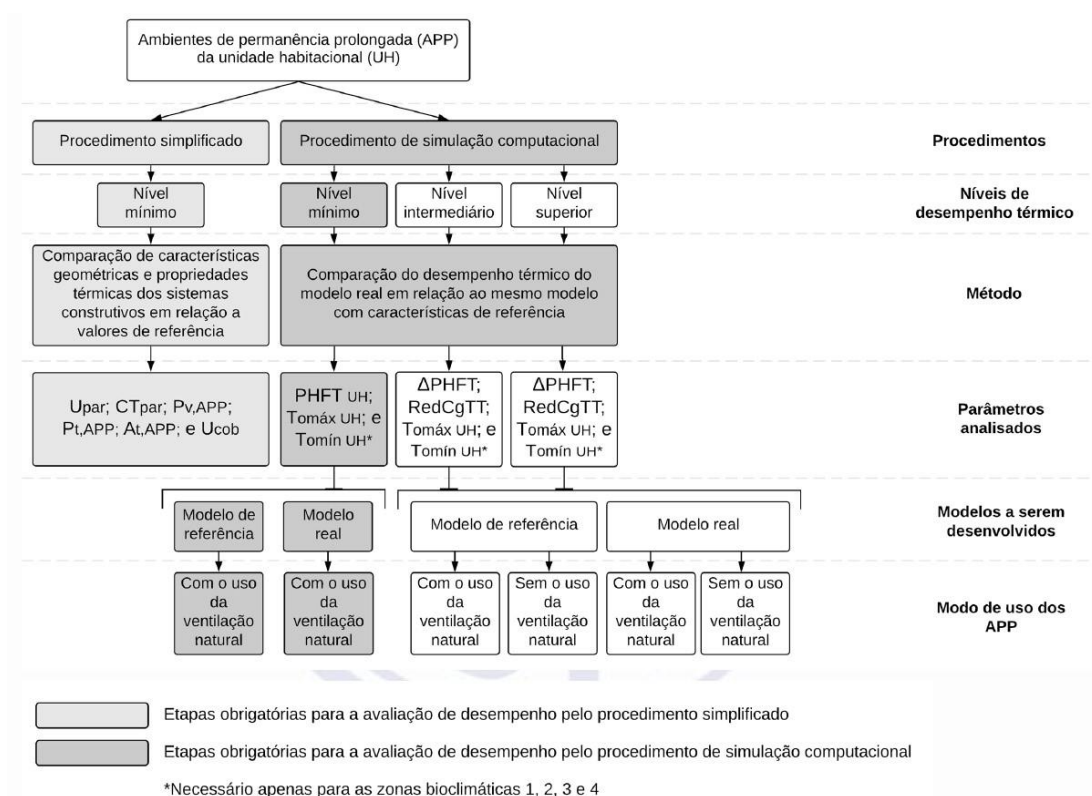
A NBR 15575-1:2021, que está em vigor, adicionou uma série de critérios à avaliação de desempenho e passa a avaliar o nível de desempenho anual, a partir de dados climáticos coletados de 10 anos.

São definidos três níveis de desempenho, sendo o atendimento ao nível mínimo (M) obrigatório e aos níveis intermediário (I) e superior (S), facultativos. A avaliação é feita para ambientes de permanência prolongada (APP), como sala e quartos, e, quando em uma habitação multifamiliar, todas as unidades habitacionais (UH) dos pavimentos térreo, tipo(s) e cobertura devem ser consideradas.

O desempenho deve ser analisado a partir de dois métodos, o procedimento simplificado ou o procedimento de simulação computacional. O primeiro permite a análise para o atendimento ao nível mínimo e o segundo, para os três níveis.

A figura a seguir apresenta, esquematicamente, as principais características dos procedimentos.

Figura 2: Procedimentos de avaliação de desempenho térmico



Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Para o procedimento de simulação computacional, são considerados e comparados os resultados de dois modelos, o real e o referência. O modelo real considera a geometria, o sistema construtivo, as propriedades térmicas da UH avaliada e as composições dos elementos transparentes. O modelo de referência, por sua vez, é representativo da edificação avaliada, mas, utilizando-se de características de referência determinadas na norma.

A avaliação considerando o uso de ventilação natural estipula se houve ou não o atendimento ao nível mínimo. Para isso, são utilizados dois critérios: o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa (PHFTUH) e as temperaturas operativas anuais máxima e mínima da unidade habitacional (TomáxUH e TomínUH).

Para a identificação do intervalo a ser considerado para a análise, é feita a média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBSm) do arquivo climático utilizado, conforme a tabela a seguir.

Tabela 1: Intervalos de temperaturas externas de bulbo seco

Intervalos de temperaturas externas	Média anual da temperatura externa de bulbo seco (TBS _m) °C
Intervalo 1	TBS _m < 25,0 °C
Intervalo 2	25,0 °C ≤ TBS _m < 27,0 °C
Intervalo 3	TBS _m ≥ 27,0 °C

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

2.3.2 Critério – Percentual de horas de ocupação da UH dentro da faixa de temperatura operativa (PHFT_{UH})

O PHFT_{UH} resulta da avaliação de cada ambiente de permanência prolongada, durante seu período de ocupação, dentro da sua faixa de temperatura operativa (PHFT_{APP}), estabelecida conforme a tabela a seguir:

Tabela 2: Faixas de temperaturas operativas para a determinação do PHFT_{APP}

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa a ser considerada
Intervalo 1	18,0 °C < ToAPP ^a < 26,0 °C
Intervalo 2	ToAPP < 28,0 °C
Intervalo 3	ToAPP < 30,0 °C
^a ToAPP é a temperatura operativa do APP, que atende aos limites estabelecidos nesta Tabela.	

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Para o atendimento aos níveis de desempenho, a relação entre o PHFT_{UH,real} e o PHFT_{UH,ref} deve ser de acordo com o critério estabelecido na Tabela 3Tabela 4.

Tabela 3: Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto ao PHFT_{UH}

Nível de desempenho	Critério
Mínimo (M)	$PHFT_{UH,real} > 0,9.PHFT_{UH,ref}$
Intermediário (I)	$\Delta PHFT^a \geq \Delta PHFT_{mín}^b$
Superior (S)	$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT_{mín}$
^a $\Delta PHFT$ é o incremento do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$. ^b $\Delta PHFT_{mín}$ é o incremento mínimo do $PHFT_{UH,real}$ em relação ao $PHFT_{UH,ref}$, com valor obtido pela Tabela 20, para o nível intermediário, e pela Tabela 21, para o nível superior.	

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

2.3.3 Temperaturas operativas anuais máxima e mínima da UH (Tomáx_{UH} e Tomín_{UH})

Quanto às temperaturas operativas anuais máxima e mínima, elas também devem ser obtidas a partir dos horários de ocupação de cada ambiente avaliado. Este critério vale para todos os níveis de desempenho e para todas as zonas bioclimáticas. A Tomáx_{UH} do modelo real deve ser menor ou igual à soma da Tomáx_{UH} do modelo de referência com um valor de tolerância $\Delta Tomáx$. Para as UH unifamiliares e as UH em edificações multifamiliares, o valor de tolerância é igual a 2°C. Já para as UH localizadas nos pavimentos tipo e cobertura de edifícios multifamiliares, deve-se considerar o valor de tolerância de 1°C.

Nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3 e 4, deve ser analisada a temperatura operativa anual mínima, em que Tomín_{UH} do modelo real deve ser menor ou igual à subtração da Tomín_{UH} do modelo de referência pelo valor de tolerância $\Delta Tomín$ igual a 1°C para todas as UH avaliadas.

2.3.4 Critério - Carga térmica total da UH (CgTTUH)

Esta avaliação é feita para o atendimento aos níveis intermediário e/ou superior, por meio do modelo de simulação sem o uso da ventilação natural. A simulação, tanto do modelo real quanto do modelo de referência, é feita para os períodos em que os ambientes de permanência prolongada com o uso de ventilação natural estiverem ocupados e com temperaturas operativas dentro dos limites determinados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Valores de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e da $CgTA_{APP}$

Intervalos de temperaturas externas	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da $CgTR_{APP}$	Faixa de temperatura operativa para o cálculo da $CgTA_{APP}$
Intervalo 1	$To_{APP}^a \geq 26,0^\circ\text{C}$	$To_{APP} \leq 18,0^\circ\text{C}$
Intervalo 2	$To_{APP} \geq 28,0^\circ\text{C}$	Não considera
Intervalo 3	$To_{APP} \geq 30,0^\circ\text{C}$	Não considera
^a To_{APP} é a temperatura operativa do APP considerada para o cálculo da $CgTR_{APP}$ e da $CgTA_{APP}$.		

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

A Tabela 5, por sua vez, apresenta os critérios de avaliação de desempenho térmico. Vale ressaltar que o critério de carga térmica não tem caráter obrigatório.

Tabela 5: Critério de avaliação de desempenho térmico da envoltória quanto à $CgTT_{UH}$

Nível de desempenho	Critério
Mínimo (M)	Não considera
Intermediário (I)	$RedCgTT^a \geq RedCgTT_{\min}^b$
Superior (S)	$RedCgTT \geq RedCgTT_{\min}$
^a $RedCgTT$ é a redução da carga térmica total do modelo real ($CgTT_{UH,real}$) em relação à referência ($CgTT_{UH,ref}$). ^b $RedCgTT_{\min}$ é a redução mínima da $CgTT_{UH,real}$ em relação à referência ($CgTT_{UH,ref}$), com valor obtido por meio da Tabela 20, para o nível intermediário, e da Tabela 21, para o nível superior.	

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

2.3.5 Método: simulação computacional

O procedimento consiste na modelagem da UH de modo integral, considerando ambientes de permanência prolongada (APP) e ambientes de permanência transitória (APT). Deverão ser considerados os pavimentos térreo, tipo e pavimentos que em que haja cobertura exposta, desde que possuam uso residencial.

O modelo real é feito conforme as suas características volumétricas, percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação, propriedades térmicas dos sistemas construtivos e presença de elementos de sombreamento externos fixos na fachada, quando existentes – por exemplo, brises, beirais e venezianas (ABNT,2021).

Quanto ao modelo de referência, que deve representar a UH analisada, mantêm-se a volumetria do modelo real, mas adotando características de referência. Neste modelo, não são considerados elementos de sombreamento externos (brises e venezianas), bem como não se considera a presença de sacadas.

A norma define as propriedades térmicas dos sistemas construtivos, tal como os percentuais de elementos transparentes e de aberturas para ventilação. Estas características de referência estão apresentadas nas tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6: Propriedades térmicas de paredes e pisos para o modelo de referência

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m ³
Paredes externas	1,75	1 000	0,58	0,90	2 200
Paredes internas	1,75	1 000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2 200
Pisos	1,75	1 000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2 200

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 7: Propriedades térmicas da cobertura para o modelo de referência

Elemento	Condutividade térmica W/(m.K)	Calor específico J/(kg.K)	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa	Densidade kg/m ³
Telha com 6 mm de espessura	0,65	840	0,65	0,90	1 700
Laje com 100 mm de espessura	1,75	1 000	Adotar valor do modelo real	Adotar valor do modelo real	2 200

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 8: Propriedades térmicas do material de isolamento da cobertura para o modelo

Elemento	Resistência térmica (m ² .K)/W	Absortância à radiação solar	Emissividade de onda longa
Isolamento térmico	0,67	0,70	0,90

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 9: Características dos elementos transparentes nas esquadrias para

Elemento	Fator solar (FS)	Transmitância térmica (U_t) $W/(m^2.K)$	Percentual de elementos transparentes ($P_{t,APP}$) %
Elementos transparentes	0,87	5,70	17,00

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 10: Percentual de abertura para ventilação nas esquadrias para

Elemento	Percentual de abertura para ventilação ($P_{v,APP}$) %
Abertura para ventilação	7,65

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 11: Características dos perfis das esquadrias para o modelo de referência

Elemento	Absortância à radiação solar dos perfis	Emissividade de onda longa dos perfis	Condutância térmica $W/(m^2.K)$	Largura dos perfis da esquadria mm
Perfis das esquadrias	0,58	0,90	56,00	50,00

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Para que a avaliação de desempenho seja feita, a norma define que se deve considerar a ocorrência de cargas internas por meio da ocupação dos usuários nos APP e do uso de iluminação artificial e de equipamentos. Os valores dos padrões de ocupação e das cargas internas devem ser os mesmos para todos os dias do ano.

Nos ambientes utilizados tanto como sala quanto como quarto, deve-se considerar o uso misto. Para cada quarto deve ser considerada a ocupação de 2 habitantes enquanto, para a sala, o valor se dá em função do número de quartos na UH.

Os padrões e valores de cargas internas são determinados nas tabelas a seguir.

Tabela 12: Padrões de ocupação diários dos APP

Horário	Ocupação		
	Dormitório %	Sala %	Uso Misto %
00:00 – 07:59	100	0	100
08:00 – 13:59	0	0	0
14:00 – 17:59	0	50	50
18:00 – 21:59	0	100	100
22:00 – 23:59	100	0	100

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 13: Taxa metabólica e fração radiante para os usuários

Ambiente	Período de uso	Atividade realizada	Calor produzido por área de superfície corporal (W/m²)	Calor produzido por uma pessoa com 1,80 m² 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	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30
Uso misto	00:00 – 07:59 e 22:00 – 23:59	Dormindo ou descansando	45	81	0,30
	14:00 – 21:59	Sentado ou assistindo TV	60	108	0,30

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 14: Padrões de uso do sistema de iluminação artificial dos APP

Horário	Iluminação		
	Dormitório (%)	Sala (%)	Uso misto (%)
00:00 – 05:59	0	0	0
06:00 – 07:59	100	0	100
08:00 – 15:59	0	0	0
16:00 – 21:59	0	100	100
22:00 – 23:59	100	0	100

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 15: Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema

Ambiente	DPI (W/m²)	Fração radiante	Fração visível
Dormitório	5,00	0,32	0,23
Sala	5,00	0,32	0,23
Uso misto	5,00	0,32	0,23

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Tabela 16: Densidade de potência instalada, fração radiante e fração visível para o sistema

Ambiente	Período de uso	Potência (W)	Fração radiante
Sala	14:00 – 21:59	120	0,30
Uso misto	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

A carga interna apenas é adicionada às salas ou aos ambientes de uso misto. Assim como todos os outros valores descritos, o padrão de uso de equipamentos deve ser considerado para todos os dias do ano, sem variações.

Tabela 17: Período de uso, densidade de cargas internas e fração radiante para

Ambiente	Período de uso	Potência (W)	Fração radiante
Sala	14:00 – 21:59	120	0,30
Uso misto	14:00 – 21:59	120	0,30

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Em relação às janelas, para o modelo de uso de ventilação natural, as janelas deverão ser consideradas abertas apenas nos horários em que o ambiente está ocupado. Isso deve ocorrer quando: a temperatura de bulbo seco interna do APP for igual ou superior a temperatura externa de 19 °C; e quando a temperatura de bulbo seco interna for inferior à temperatura de bulbo seco externa de 26°C.

As janelas dos APT devem ser consideradas fechadas e com infiltração por frestas durante todo o ano (Tabela 17), com exceção das janelas dos banheiros, que devem ser consideradas sempre abertas, com o mesmo percentual de abertura estabelecido no projeto.

Tabela 18: Descrição dos parâmetros da ventilação natural para portas e janelas

Parâmetros	Portas	Fração visível
Coeficiente de fluxo de ar por frestas, quando a abertura está fechada kg/(s.m)	0,002 4	0,23
Expoente de fluxo de ar por frestas quando a abertura está fechada (adimensional)	0,59	0,23
Coeficiente de descarga (Cd) da abertura (adimensional)	0,60	0,23

Fonte: NBR 15.575 – 1: 2021 (ABNT,2021)

Para a simulação com ventilação, as portas internas devem ser consideradas abertas, apenas as de banheiros fechadas. As portas externas devem ser consideradas fechadas com infiltração por frestas, conforme a Tabela 17. Quando há portas externas de sacadas, constituídas por elementos transparentes e que não representem o acesso principal da UH, elas devem seguir a operação das janelas.

Para a simulação sem o uso da ventilação natural, as portas e janelas devem ser consideradas fechadas, apenas a janela do banheiro permanecendo aberta durante todo o ano.

Conforme descrito anteriormente, elementos de sombreamento externos, fixos na fachada, tal qual sacadas, são considerados apenas no modelo de referência.

2.3.6 NBR 15220-3

A parte 3 da norma 15220, conforme é citada na NBR 15575, trata sobre o zoneamento bioclimático brasileiro e apresenta diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Essa norma entrou em vigor no ano de 2005 e, atualmente, está sendo revisada, visando sua adequação à revisão da norma de desempenho térmico de 2021.

A 15220-3 estabelece zonas bioclimáticas para as cidades brasileiras de acordo com suas características climáticas similares. A partir do zoneamento, são dadas diretrizes construtivas e elencadas estratégias que visam adaptar as construções ao clima em questão, otimizando seu desempenho térmico.

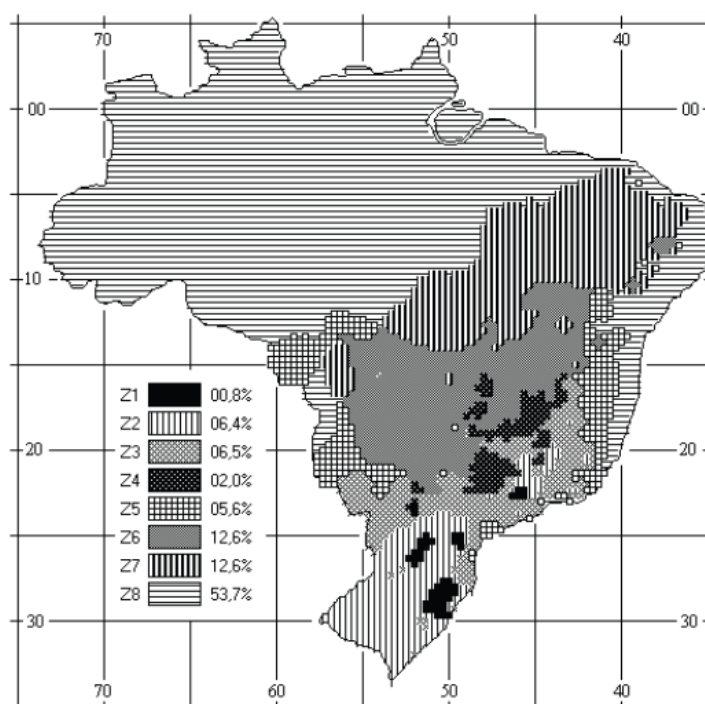
Para a definição das diretrizes e estratégias bioclimáticas, foram considerados, como parâmetros e condições de contorno, o tamanho das aberturas para ventilação,

a proteção das aberturas, as vedações externas e as estratégias de condicionamentos térmico passivo.

COMPARAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS DE CADA UMA DAS NORMAS E RELACIONAR COM O ARTIGO DA CAMILA

A norma vigente de zoneamento bioclimático divide o território brasileiro em 8 zonas bioclimáticas. O mapa apresentado na Figura 2 representa esta divisão.

Figura 3: Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15.220 – 3: 2005 (ABNT,2005)

3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foi escolhido como ferramenta para simulação computacional o software EnergyPlus, embasando-se na Norma de Desempenho Térmico, NBR 15.575 para realizar a análise comparativa entre um sistema construtivo convencional e um sistema inovador.

A realização deste trabalho foi proposta a partir de 6 etapas. A primeira etapa consistiu na escolha da cidade que seria simulada, com o levantamento de suas características climáticas e orientações de estratégias bioclimáticas a partir da norma NBR 15220-3:2005.

Na segunda etapa foram definidos os sistemas construtivos avaliados, seguindo a orientação de estudo comparativo entre um sistema convencional e um sistema inovador aplicável à habitação de interesse social.

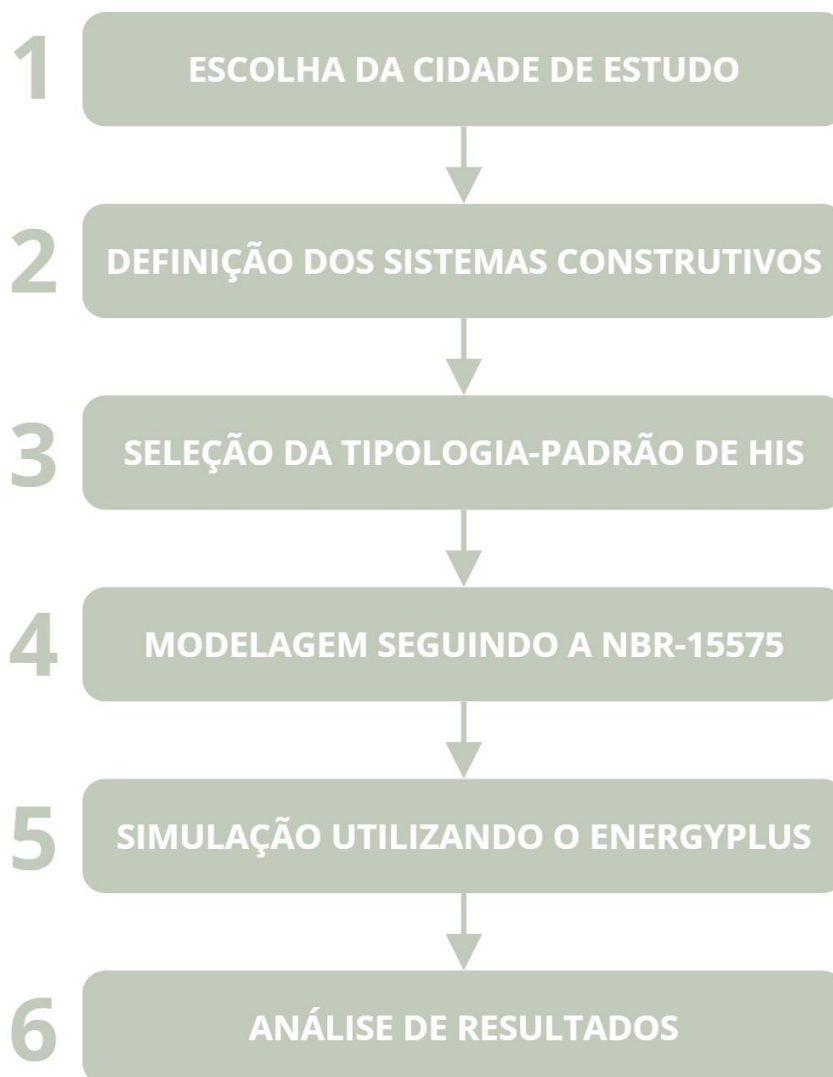
A terceira etapa consistiu na estipulação de um edifício multifamiliar a partir de um modelo padrão de unidade habitacional de interesse social.

A quarta etapa compreendeu na elaboração dos modelos de simulação computacional para desempenho térmico segundo os critérios, requisitos e metodologia da NBR 15.575-1:2021.

Na quinta etapa, foi feita a simulação dos modelos elaborados na etapa anterior, utilizando o software EnergyPlus. O tratamento dos dados resultantes se deu através da metodologia da norma de desempenho térmico, NBR 15.575-1:2021.

Por último, a sétima etapa consistiu na análise comparativa dos resultados obtidos. O processo metodológico desse trabalho está retratado esquematicamente na Figura 4.

Figura 4: Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: A autora.

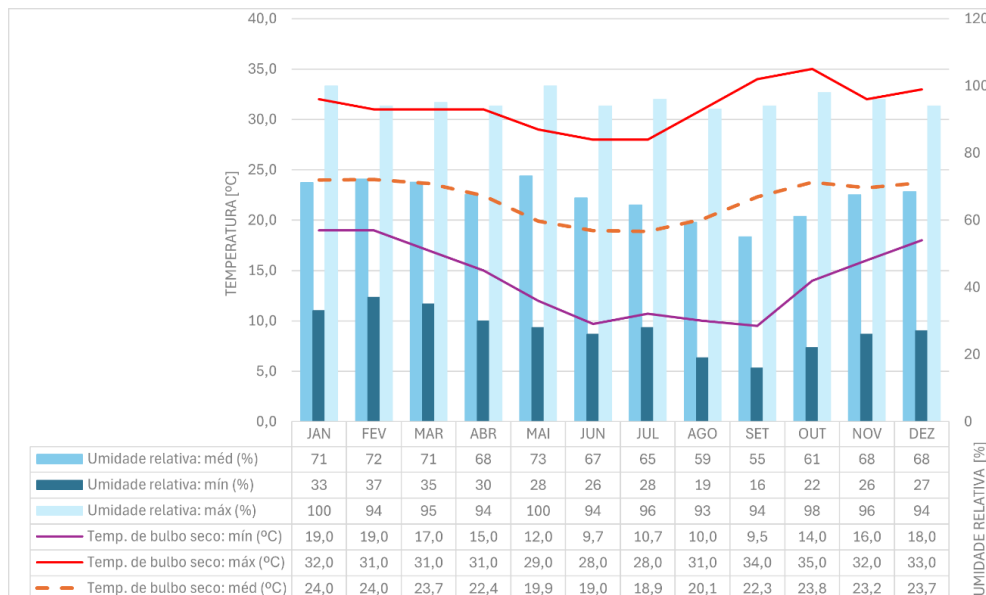
3.1 LOCALIZAÇÃO

A cidade selecionada para este estudo, Belo Horizonte, encontra-se na zona bioclimática (ZB) 3. Está situada na latitude S 19°54'32.4" na longitude W 43°59'27.6", no fuso horário -3 horas.

O clima de Belo Horizonte é marcado por verões quentes e chuvosos e invernos amenos e secos. A temperatura e a umidade do ar da cidade estão representadas no gráfico a seguir. Pode-se perceber que a amplitude térmica é significativa, tendo temperaturas máximas mais altas até nos meses de inverno. Por isso, a temperatura média anual, quando analisada isoladamente, apresenta um clima ameno. Entretanto,

essa variação de temperatura ao longo do dia pode influenciar diretamente no desconforto térmico.

Gráfico 1: Temperatura do ar e umidade relativa de Belo Horizonte, período de 2007-2021



Fonte: INMET, Normais Climatológicas 1991-2020. Organizado pela Autora.

As normais climatológicas estão resumidas na tabela a seguir. Como pode ser observado no gráfico 18, os meses mais quentes e os meses mais frios coincidem com as estações de verão e de inverno. Entretanto, a normal de maior contraste é a precipitação, sendo que no meio do ano há uma grande escassez de chuvas, enquanto de novembro a março há um período de precipitação expressiva. Em relação à radiação, a difusa acompanha a tendência das normais já analisadas, sendo mais expressiva entre outubro e março. Já a radiação direta possui valores relativamente constantes durante o ano, ligeiramente superiores entre julho e setembro.

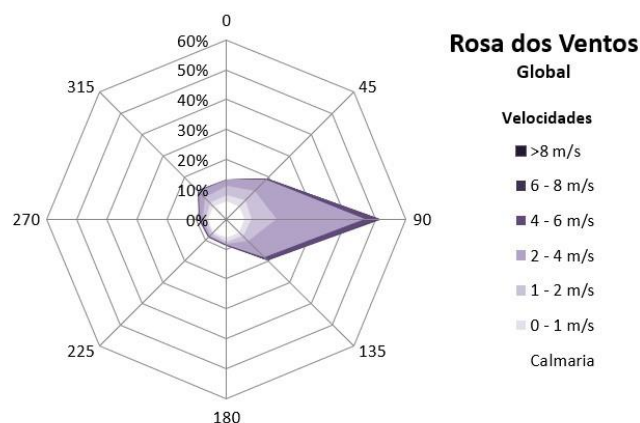
Tabela 19: Normais climatológicas de Belo Horizonte, período de 2007-2021

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temp. Média de Bulbo Seco [°C]	24,0	24,0	23,7	22,4	19,9	19,0	18,9	20,1	22,3	23,8	23,2	23,7
Temp. de Ponto de Orvalho [°C]	18,0	18,4	17,8	15,7	14,4	11,9	11,3	11,0	12,0	15,1	16,3	17,1
Temp. Média de Bulbo Úmido [°C]	19,8	20,1	19,6	18,0	16,3	14,6	14,2	14,5	15,8	18,0	18,6	19,2
Precipitação [mm]	145,8	108,9	99,3	27,1	37,0	4,4	1,9	1,3	24,0	48,0	160,2	162,0
Radiação Difusa [W/m2]	79,2	79,6	75,0	56,1	48,6	42,7	43,9	50,9	54,7	71,0	84,2	83,5
Radiação Direta [W/m2]	219,3	228,2	204,0	212,8	210,8	231,2	247,6	239,5	276,8	217,9	190,9	210,9

Fonte: INMET, Normais Climatológicas 1991-2020. Organizado pela Autora.

Quanto aos ventos, em Belo Horizonte predomina o vento de Leste, com velocidade média entre 2 e 4 m/s, conforme o gráfico 2. É importante considerar a direção dos ventos de modo a potencializar o uso da ventilação natural na edificação, servindo como diretriz projetual e analítica. Também é um ponto importante quando se avalia a precipitação, uma vez que as chuvas acompanham o sentido do vento.

Gráfico 2: Rosa dos ventos de Belo Horizonte, período de 2007-2021



Fonte: INMET, Normais Climatológicas 1991-2020. Organizado pela Autora.

Uma vez apontadas as características climáticas da cidade, pode-se compreender melhor a sua classificação em relação ao zoneamento bioclimático brasileiro. Belo Horizonte se encontra na zona 3. Segundo a norma 15220-3:2005, as aberturas para ventilação devem ser médias, com sombreamentos que permitam a entrada do sol durante o inverno. Para as vedações externas, a edificação deve ser composta por parede leve refletora e cobertura leve isolada.

Quanto às estratégias de condicionamento térmico passivo, no verão é recomendado o uso da ventilação cruzada e, no inverno, o aquecimento solar da edificação e o uso de vedações internas pesadas (inércia térmica).

Como o objetivo deste trabalho é comparar um sistema construtivo inovador com um convencional, pensando na sua aplicabilidade à habitação de interesse social, foram selecionados o sistema de alvenaria de tijolo cerâmico e o sistema de painel de estrutura armada de EPS.

Essa escolha se deu ao fato de que no contexto de HIS, em que a industrialização é um ponto chave para tornar o processo e a construção mais sustentáveis, um sistema industrializado leve, de montagem rápida, se mostra como

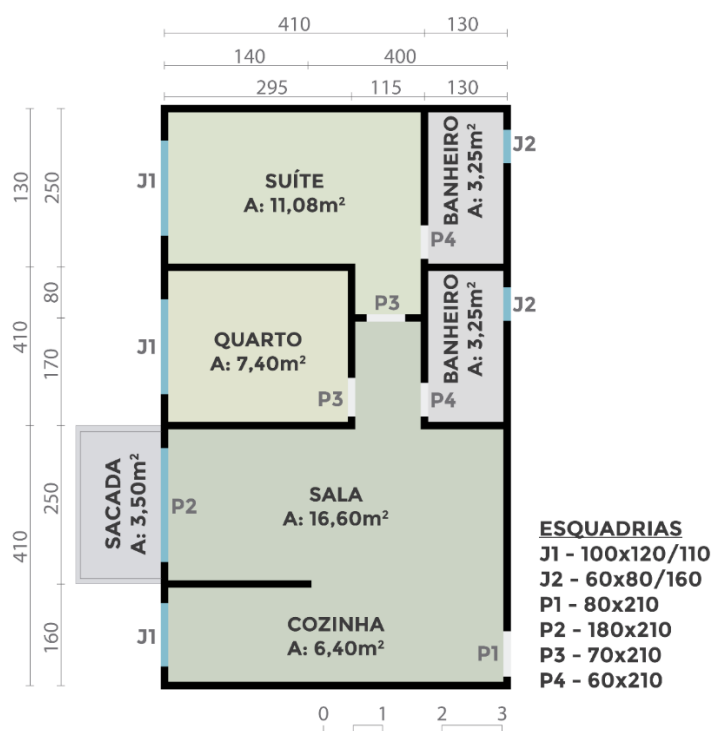
uma boa alternativa. Justamente por ser um sistema leve, está de acordo com o recomendado para a norma, para a composição da envoltória, apesar de, para as paredes internas, a alvenaria condizer mais às recomendações.

Assim, o estudo busca avaliar se, para Belo Horizonte, o desempenho térmico de um sistema inovador e sustentável como o painel de EPS será superior a um sistema convencional amplamente difundido, como o tijolo cerâmico.

3.2 ESTUDO DE CASO

Para a elaboração do projeto-padrão, foi utilizada a seguinte planta como modelo de referência para a unidade habitacional tipo. Ela é composta por sala com sacada, cozinha/área de serviço, dois quartos e dois banheiros.

Figura 5: Modelo de UH tipo para HIS



Fonte: Teixeira *et al*, 2015, adaptado pela autora.

Este estudo avalia um edifício multifamiliar de 4 pavimentos, totalizando 16 UHs. A orientação da implantação foi proposta para que as aberturas estejam voltadas para leste e para oeste, de modo que a análise contemple orientações de fachada

para norte, sul, leste e oeste, além de potencializar o uso da ventilação natural, uma vez que o vento predominante é de leste.

Seguindo o pressuposto de comparativo entre sistemas, a única variante entre eles serão as paredes. A descrição da composição das superfícies e suas respectivas características térmicas foram descritas na Tabela 20.

Foi definido o mesmo valor de absorvência para os dois sistemas construtivos, relativo a um tom cinza médio (absorvência 0,5), gerando um cenário similar ao modelo de referência, em que a absorvência é 0,58.

Tabela 20: Descrição dos sistemas construtivos

Sistema Construtivo			Convencional	Inovador
			Tijolo Cerâmico 19	Painel EPS (17cm)
Paredes	Externas	Composição	Argamassa interna 3,50 Tijolo cerâmico 19,00 Argamassa 3,50	Argamassa 3,5 cm EPS 10 cm Argamassa 3,5 cm
		Acabamento/Absorvência	Cinza médio / 0,50	Cinza médio / 0,50
	Internas	Composição	Argamassa interna 3,50 Tijolo cerâmico 19,00 Argamassa 3,50	Painel EPS (17): Argamassa 3,5 cm EPS 10 cm Argamassa 3,5 cm
		Acabamento/Absorvência	Branco / 0,30	Branco / 0,30
Piso	Interno	Composição	Laje maciça de concreto 13,00 Contrapiso 1,50 Piso cerâmico 2,00	Laje maciça de concreto 13,00 Contrapiso 1,50 Piso cerâmico 2,00
		Acabamento/Absorvência	0,6	0,6
Cobertura	Estrutura	Composição	Laje maciça de concreto 9,00	Laje maciça de concreto 9,00
	Câmara de ar		20cm	20cm
	Telha	Composição	Fibrocimento 8mm	Fibrocimento 8mm
		Acabamento/Absorvência	0,6	0,6
Dados	Janelas	Tipo de vidro	Vidro Simples - 4mm	Vidro Simples - 4mm
		Fator Solar	0,87	0,87
	Pé Direito		2,8	2,8

Fonte: A autora.

Tabela 21: Transmitâncias térmicas das superfícies

Superfícies	Espessura m	Condutividade Térmica (W/m.K)	Densidade Kg/m ³	Calor Específico J/kg.K
Tijolo cerâmico	0,190	0,90	1200	920
EPS	0,100	0,04	35	1420
Argamassa	0,035	1,15	2000	1000
Concreto (piso)	0,13	1,15	2100	1000
Madeira	0,03	0,15	600	1340
Telha fibrocimento	0,06	0,95	840	1900

Fonte: Anexo B/ NBR 15.220 – 2: 2005 (ABNT,2005)

3.3 SIMULAÇÃO NO ENERGY PLUS

Para a simulação, foram utilizados dois softwares. O SketchUp com o plugin Euclid, para a modelagem, e a versão 9.6 do software EnergyPlus para a construção do arquivo de simulação com suas devidas características.

Antes de iniciar a modelagem, cada ambiente foi nomeado como uma zona, seguindo uma lógica de nomenclatura, exemplificada na Figura 6.

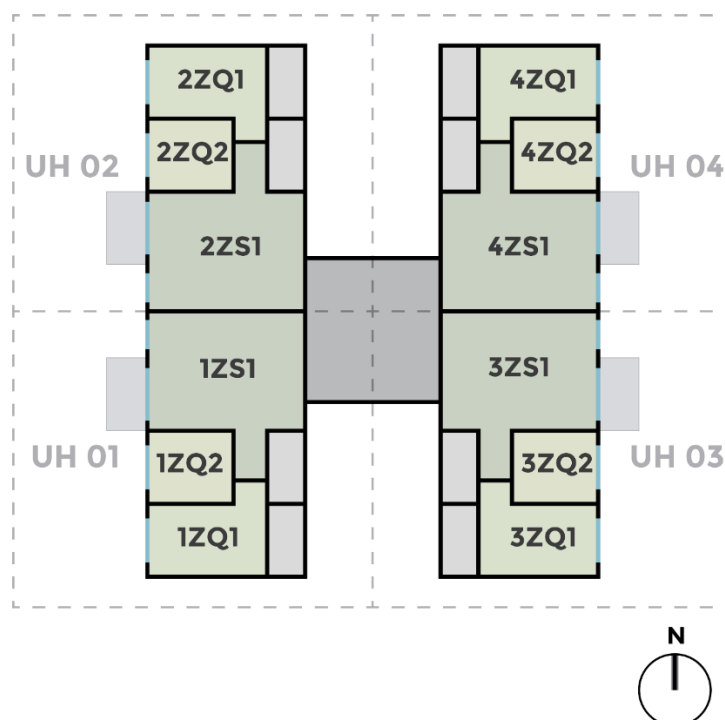
Figura 6: Lógica de nomenclatura das zonas térmicas



Fonte: A autora.

As imagens a seguir apresentam a planta do pavimento padrão, com as suas respectivas zonas térmicas.

Figura 7: Planta do pavimento tipo com a demarcação das zonas térmicas



Fonte: A autora.

A implantação da edificação está de tal forma que as fachadas leste, oeste, norte e sul estão expostas. Em relação às unidades, as UH de final 01 têm suas fachadas oeste e sul expostas, enquanto nas UH de final 02, são as fachadas oeste e norte. Como o pavimento tem suas unidades espelhadas, as UH de final 03 têm como fachadas expostas sul e leste, enquanto nas UH de final 04 isso ocorre nas fachadas norte e leste.

A Tabela 22 a seguir reúne as orientações das paredes expostas de cada grupo de UH (final 01, 02, 03 e 04).

Tabela 22: Exposição solar das zonas térmicas

UH	Ambiente	Zona térmica	Fachada Exposta			
			Norte	Leste	Sul	Oeste
Final 01	Sala	1ZS1				
Final 01	Quarto 1	1ZQ1				
Final 01	Quarto 2	1ZQ2				
Final 02	Sala	2ZS1				
Final 02	Quarto 1	2ZQ1				
Final 02	Quarto 2	2ZQ2				
Final 03	Sala	3ZS1				
Final 03	Quarto 1	3ZQ1				
Final 03	Quarto 2	3ZQ2				
Final 04	Sala	4ZS1				
Final 04	Quarto 1	4ZQ1				
Final 04	Quarto 2	4ZQ2				

Fonte: A autora.

A Figura 8 representa um corte esquemático da edificação e a devida caracterização dos seus pavimentos.

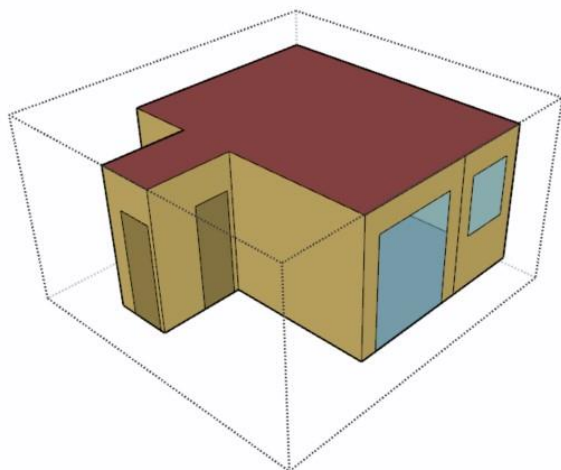
Figura 8: Corte esquemático



Fonte: A autora.

3.3.1 Modelo real

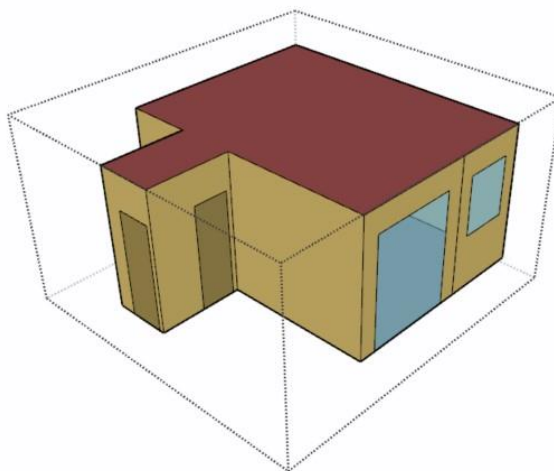
Em primeiro lugar, foi feita a modelagem do modelo real, com a criação de cada zona térmica e seus elementos geométricos correspondentes (paredes, pisos e aberturas), representados na Figura 9: Exemplo de zona térmica



Fonte: A autora.

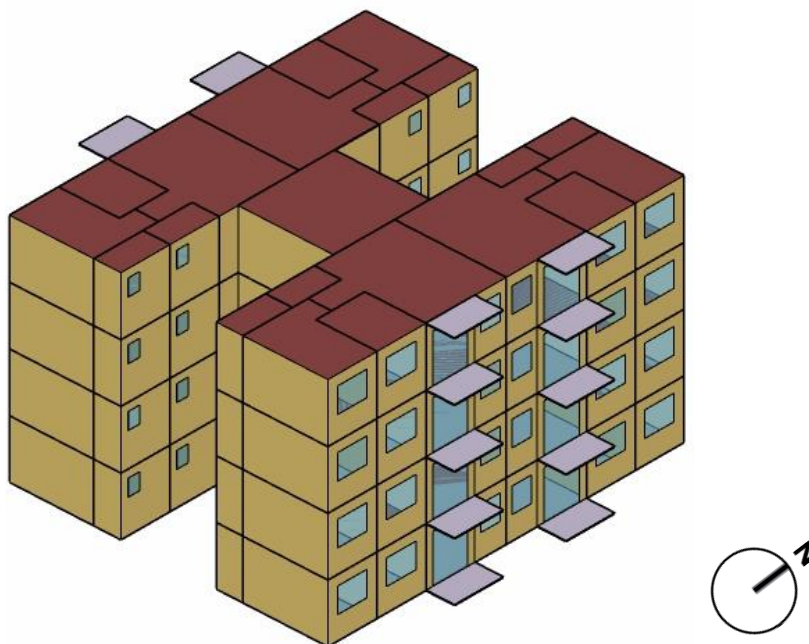
Figura 10 e na Figura 10.

Figura 9: Exemplo de zona térmica



Fonte: A autora.

Figura 10: Vista isométrica do modelo real



Fonte: A autora.

Para este trabalho, foi utilizado o arquivo climático BRA_MG_Belo.Horizonte-Pampulha-Andrade.AP.835830_TMYx.2007-2021.epw – disponível no site Climate One Building (https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil_BrazilFuture/index.html).

Dentro do IDF Editor, o modelo de simulação foi elaborado utilizando os campos que estão listados na aba esquerda do IDF editor, representado na

Figura 11.

Figura 11: Configuração do IDF

The screenshot displays the EnergyPlus IDF configuration interface. On the left, a 'Class List' contains numerous object classes, with '[0001] Version' highlighted. The right pane is divided into 'Comments from IDF' (currently empty) and 'Explanation of Object and Current Field'. The latter provides details for the selected object: 'Object Description: Specifies the EnergyPlus version of the IDF file.' and 'Field Description: ID: A1. Enter a alphanumeric value'. At the bottom, a table with columns 'Field', 'Units', and 'Obj1' shows the 'Version Identifier' field with the value '9.6' entered in the 'Obj1' column.

Field	Units	Obj1
Version Identifier		9.6

Fonte: A autora.

Inicialmente foi feita a configuração para o sistema construtivo de painel de EPS, com todos os dados de entrada da edificação e dos requisitos determinados pela NBR 15575-1:2021. Este arquivo serviu como base para a modelagem da simulação com e sem o uso da ventilação natural.

Primeiro foi feito o modelo de ventilação natural, em que foram configurados os campos para *AirFlowNetwork* e estipulados como dados de saída a temperatura externa de bulbo seco e a temperatura operativa para cada zona térmica (Figura 12).

Figura 12: Outputs para modelo com ventilação natural

[0001] OutputControlTableStyle		ID: A4		
[0039] Output:Variable				
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Key Value		*	a1ZS1	a1ZQ1
Variable Name		Site Outdoor Air Drybulb Temperature	Zone Operative Temperature	Zone Operative Temperature
Reporting Frequency		Hourly	Hourly	Hourly
Schedule Name				

Fonte: A autora.

Uma vez que esse modelo gerou os resultados esperados, foi feita uma cópia e ela foi usada para configurar o modelo real sem o uso de ventilação natural para o mesmo sistema. As configurações para este tipo de simulação foram feitas nos campos para *HVACTTemplate*. Para esse modelo, os dados de saída foram a carga térmica de resfriamento e de aquecimento para cada zona térmica (Figura 13)

Figura 13: Outputs para modelo sem ventilação natural

[0001] OutputControlTableStyle			
[0002] Output:Variable			
Field	Units	Obj1	Obj2
Key Value		*	*
Variable Name		Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy	Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy
Reporting Frequency		Hourly	Hourly
Schedule Name			

Fonte: A autora.

Uma vez obtidos os resultados das duas simulações, foi feita uma cópia desses arquivos para serem configurados para o sistema construtivo convencional de tijolo cerâmico. Para isso, só foi preciso alterar os materiais e a configuração das *constructions*. Demais campos seguiram iguais.

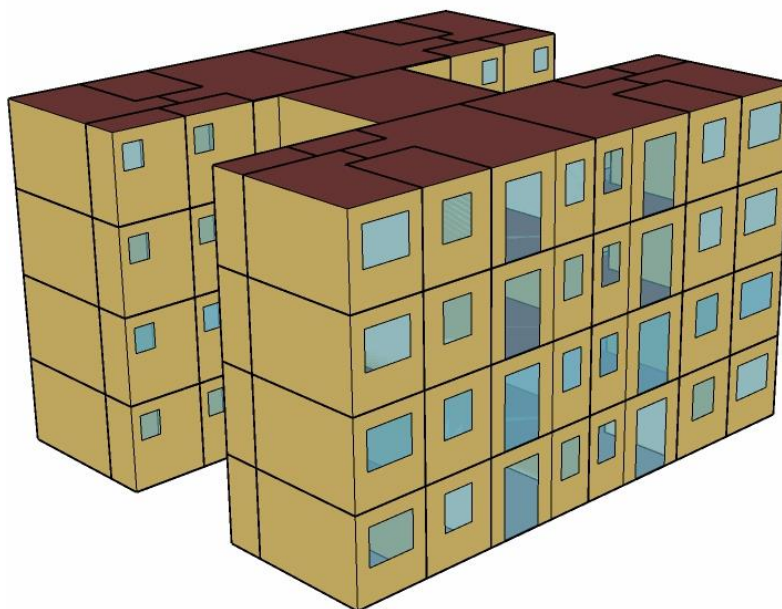
3.3.2 Modelo de referência

Os modelos de referência também foram feitos com base nos modelos reais. Entretanto, além da alteração dos materiais e sistemas construtivos de acordo com os valores de referência da norma, também foi necessária a adequação da geometria aos condicionantes da NBR 15575.

Para isso, foi utilizado como base o arquivo do modelo real de ventilação para o sistema de tijolo. No SketchUp, foi feito o ajuste das aberturas e foram excluídos os

elementos de sombreamento correspondentes às sacadas das salas. A figura apresenta a volumetria do modelo de referência.

Figura 14: Modelo de referência



Fonte: A autora.

No IDF Editor, foram feitas as alterações para os valores de referência e, uma vez que o modelo de ventilação rodou sem erros, gerando os resultados esperados, foi feita uma cópia do arquivo para configurar o modelo de referência sem o uso da ventilação natural, processo igual ao que foi realizado no modelo real.

Uma vez que todos os 6 modelos foram simulados, foram verificados os limites e correspondências da norma ao arquivo climático referente à cidade avaliada, Belo Horizonte.

3.3.3 Critérios da NBR 15575

A partir dos dados obtidos pela simulação com o uso da ventilação natural, foi possível obter os valores de temperaturas externas de bulbo seco. A média anual é de 22,1°C e, conforme os intervalos descritos na Tabela 1, se encaixa no intervalo 1, em que a TBS_m é menor que 25,0°C.

Para este intervalo, a faixa de temperatura operativa a ser considerada está descrita na expressão abaixo.

$$18,0\text{ }^{\circ}\text{C} < To_{APP}^a < 26,0\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (I)}$$

Para atender ao nível mínimo de desempenho térmico da envoltória quanto ao PHFT_{UH}, o PHFT_{UH,real} deve ser superior a 90 % do obtido para o modelo de referência (PHFT_{UH,ref}).

Como Belo Horizonte está na ZB 3, é feita a avaliação das temperaturas operativas tanto mínimas quanto máximas. Os limites estabelecidos pelo critério de Tomáx_{UH} e Tomín_{UH} foram resumidos na Tabela 23.

Tabela 23: Limites para Tomáx_{UH} e Tomín_{UH} para Belo Horizonte/MG

Belo Horizonte/MG	ZB3	
Tipologia	To máx	To mín
Térreo	Tomáx _{UHReal} ≤ To máx _{UHRef} + 1°C	Tomín _{UHReal} ≥ To mín _{UHRef} - 1°C
Tipo	Tomáx _{UHReal} ≤ To máx _{UHRef} + 1°C	Tomín _{UHReal} ≥ To mín _{UHRef} - 1°C
Cobertura	Tomáx _{UHReal} ≤ To máx _{UHRef} + 2°C	Tomín _{UHReal} ≥ To mín _{UHRef} - 2°C

Fonte: A autora.

Para o modelo sem uso da ventilação natural, os valores de temperatura operativa para o cálculo da carga térmica de resfriamento (CgTR_{APP}) devem ser iguais ou superiores a 26,0°C.

$$To_{APP}^a \geq 26,0\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (II)}$$

Já para o cálculo da carga térmica de aquecimento, a faixa de temperatura operativa (To_{APP}) de ser igual ou inferior a 18,0°C.

$$To_{APP} \leq 18,0\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (III)}$$

O tratamento dos resultados foi realizado em uma planilha de Excel, seguindo as fórmulas devidas a cada critério.

3.3.4 Análise comparativa

Após concluída a avaliação de cada sistema segundo a norma, a análise comparativa será feita seguindo os seguintes critérios, para testar se o sistema de painel de EPS é melhor do que o sistema de tijolo cerâmico para Belo Horizonte.

- a) $PHFT_{EPS} > PHFT_{Tijolo}$
- b) $T_{min, EPS} > T_{min, Tijolo}$
- c) $T_{max, EPS} < T_{max, Tijolo}$
- d) $CgTR_{EPS} < CgTR_{Tijolo}$

A primeira comparação será em relação ao percentual de horas ocupadas dentro da faixa de temperatura operativa estabelecida anteriormente, com o objetivo de testar se, para o sistema inovador, o PHFT é maior que o PHFT do sistema convencional.

O segundo critério de comparação é relativo às temperaturas operativas mínimas e máximas, com o objetivo de averiguar se a $T_{min, EPS}$ é maior que a $T_{min, Tijolo}$.

Para finalizar, será feita a conferência se a carga térmica do sistema de EPS é inferior à carga térmica do sistema com tijolos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em primeira instância serão apresentados os resultados para cada pavimento, para cada sistema construtivo. O atendimento aos critérios será investigado, inicialmente, para os mesmos sistemas, comparando os valores das UH para cada um dos três pavimentos avaliados.

Em seguida, serão comparados os resultados entre os sistemas construtivos, para averiguar qual teve um melhor desempenho térmico de acordo com a norma 15575.

5.1 TIJOLO CERÂMICO

As tabelas a seguir indicam os valores obtidos nas simulações do cenário em que foi avaliado o sistema construtivo convencional de tijolo cerâmico, indicando o PHFT, as temperaturas operativas (máxima e mínima) e carga térmica. Os resultados estão marcados de acordo com o atendimento de nível mínimo de desempenho térmico correspondente.

Tabela 24: Resultados pavimento térreo - Tijolo

SISTEMA		PHFT				TEMPERATURA OPERATIVA						CARGA TÉRMICA							
TIJOLO		% ATENDIMENTO				TEMP. MÍNIMA			TEMP. MÁXIMA			CgTR				CgTA			
PAV. TÉRREO		Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Tomi nref	Mod. Real	Mod. Ref.	Toma xref	Mod. Real	Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Mod. Real		
		Zona	UH	Zona	UH							Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH		
UH 1	1ZS1	60		61								1239		1580		0	0		
	1ZQ1	83	73,33	92	80,00	18,9	17,9	20,0	30,6	31,6	30,2	302	1835,00	167	1954,00	0	0,00		
	1ZQ2	77		87								294		207		0	0		
UH 2	2ZS1	61		61								1152		1557		0	0		
	2ZQ1	86	75,33	93	80,33	18,9	17,9	20,1	30,1	31,1	29,9	234	1646,00	147	1908,00	0	0,00		
	2ZQ2	79		87								260		204		0	0		
UH 3	3ZS1	68		70								865		1097		0	0		
	3ZQ1	91	82,00	97	86,67	18,6	17,6	19,6	29,3	30,3	28,6	140	1156,00	54	1255,00	0	0,00		
	3ZQ2	87		93								151		104		0	0		
UH 4	4ZS1	60		68								1158		1213		0	0		
	4ZQ1	85	75,67	95	85,33	18,9	17,9	19,8	28,8	29,8	28,7	256	1616,00	88	1412,00	0	0,00		
	4ZQ2	82		93								202		111		0	0		
Legenda: Atendimento ao nível mínimo												Atende		Não Atende		Não se aplica			

Fonte: A autora.

Tabela 25: Resultados pavimento tipo - Tijolo

SISTEMA TIJOLO		PHFT				TEMPERATURA OPERATIVA						CARGA TÉRMICA							
		% ATENDIMENTO				TEMP. MÍNIMA			TEMP. MÁXIMA			CgTR				CgTA			
PAV. TIPO		Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Tomi nref	Mod. Real	Mod. Ref.	Toma xref	Mod. Real	Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.		Mod. Real	
		Zona	UH	Zona	UH	Ref.		Real	Ref.		Real	Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH
UH 1	1ZS1	30		42								3196		6277		0		0	
	1ZQ1	46	38,00	69	57,67	19,4	18,4	21,2	35,2	36,2	35,4	1156	5442,00	1656	9564,00	0	0,00	0	0,00
	1ZQ2	38		62								1090		1631		0		0	
UH 2	2ZS1	31		44								2987		6152		0		0	
	2ZQ1	46	38,00	70	58,67	19,4	18,4	21,3	34,9	35,9	35,3	1100	5143,00	1637	9401,00	0	0,00	0	0,00
	2ZQ2	37		62								1056		1612		0		0	
UH 3	3ZS1	38		50								2712		5009		0		0	
	3ZQ1	54	45,33	84	69,00	18,9	17,9	20,4	34,5	35,5	34,8	877	4473,00	825	6948,00	0	0,00	0	0,00
	3ZQ2	44		73								884		1114		0		0	
UH 4	4ZS1	28		50								3130		5261		0		0	
	4ZQ1	43	36,33	76	65,67	19,4	18,4	20,8	35,0	36,0	35,1	1248	5392,00	1205	7594,00	0	0,00	0	0,00
	4ZQ2	38		71								1014		1128		0		0	
Legenda: Atendimento ao nível mínimo												Atende		Não Atende		Não se aplica			

Fonte: A autora.

Tabela 26: Resultados pavimento cobertura - Tijolo

SISTEMA TIJOLO		PHFT				TEMPERATURA OPERATIVA						CARGA TÉRMICA							
		% ATENDIMENTO				TEMP. MÍNIMA			TEMP. MÁXIMA			CgTR				CgTA			
PAV.		Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Tomi nref	Mod. Real	Mod. Ref.	Toma xref	Mod. Real	Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.		Mod. Real	
COBERTURA		Zona	UH	Zona	UH	Mod. Ref.		Mod. Real	Mod. Ref.		Mod. Real	Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH
UH 1	1ZS1	28		37								4123		4384		0		0	
	1ZQ1	48	38,67	43	46,33	17,8	16,8	18,9	37,1	39,1	36,7	1321	6660,00	1395	6862,00	0	0,00	0	0,00
	1ZQ2	40		59								1216		1083		0		0	
UH 2	2ZS1	29		38								3913		4357		0		0	
	2ZQ1	48	39,00	66	54,33	17,8	16,8	19,0	36,8	38,8	36,6	1263	6356,00	1157	6591,00	0	0,00	0	0,00
	2ZQ2	40		59								1180		1077		0		0	
UH 3	3ZS1	35		43								3594		3686		0		0	
	3ZQ1	53	44,33	78	63,67	17,5	16,5	18,6	36,3	38,3	36,0	1067	5687,00	781	5089,00	2	2,00	0	0,00
	3ZQ2	45		70								1026		622		0		0	
UH 4	4ZS1	26		43								3959		3817		0		0	
	4ZQ1	45	37,33	72	61,00	17,9	16,9	18,8	37,0	39,0	36,5	1359	6439,00	846	5408,00	0	0,00	0	0,00
	4ZQ2	41		68								1121		745		0		0	
Legenda: Atendimento ao nível mínimo												Atende		Não Atende		Não se aplica			

Fonte: A autora.

Todos as unidades habitacionais, em todos os pavimentos avaliados, atendem ao nível mínimo de desempenho térmico. Em relação aos níveis intermediário e superior, não há atendimento. A Tabela 27 demonstra o resumo dos níveis de atendimento deste cenário.

Os resultados completos do diagnóstico de desempenho estão presentes no Apêndice A, na página 78 deste trabalho.

Tabela 27: Nível de Atendimento – Tijolo

PAV.	TIJOLO				LEGENDA
	UH 1	UH 2	UH 3	UH 4	
TÉRREO	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo
TIPO	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Intermediário
COBERTURA	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Superior
					Não atende

Fonte: A autora.

5.2 PAINEL DE EPS

Os resultados obtidos nas simulações do cenário em que foi avaliado o sistema construtivo inovador de painel de EPS, estão apresentados a seguir, indicando o PHFT, as temperaturas operativas (máxima e mínima) e carga térmica. Os resultados estão marcados de acordo com o atendimento de nível mínimo de desempenho térmico correspondente.

Tabela 28: Resultados pavimento térreo - Painel EPS

SISTEMA EPS		PHFT				TEMPERATURA OPERATIVA						CARGA TÉRMICA							
		% ATENDIMENTO				TEMP. MÍNIMA			TEMP. MÁXIMA			CgTR				CgTA			
PAV.		Mod. Ref.		Mod. Real		Mod.	Tomi	Mod.	Mod.	Toma	Mod.	Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Mod. Real		
TÉRREO		Zona	UH	Zona	UH	Ref.	nref	Real	Ref.	xref	Real	Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH		
UH 1	1ZS1	60		52								1239		1726		0	0		
	1ZQ1	83	73,33	85	72,33	18,9	17,9	20,5	30,6	31,6	29,7	302	1835,00	210	2189,00	0	0,00		
	1ZQ2	77		80								294		253		0	0		
UH 2	2ZS1	61		52								1152		1726		0	0		
	2ZQ1	86	75,33	87	73,00	18,9	17,9	20,5	30,1	31,1	29,6	234	1646,00	198	2184,00	0	0,00		
	2ZQ2	79		80								260		260		0	0		
UH 3	3ZS1	68		62								865		1212		0	0		
	3ZQ1	91	82,00	95	82,00	18,6	17,6	20,1	29,3	30,3	28,0	140	1156,00	68	1423,00	0	0,00		
	3ZQ2	87		89								151		143		0	0		
UH 4	4ZS1	60		61								1158		1247		0	0		
	4ZQ1	85	75,67	91	80,00	18,9	17,9	20,3	29,8	30,8	28,0	256	1616,00	119	1516,00	0	0,00		
	4ZQ2	82		88								202		150		0	0		
Legenda: Atendimento ao nível mínimo												Atende		Não Atende		Não se aplica			

Fonte: A autora.

Tabela 29: Resultados pavimento tipo - Painel EPS

SISTEMA EPS		PHFT				TEMPERATURA OPERATIVA						CARGA TÉRMICA							
		% ATENDIMENTO				TEMP. MÍNIMA			TEMP. MÁXIMA			CgTR				CgTA			
PAV.		Mod. Ref.		Mod. Real		Mod.	Tomi	Mod.	Mod.	Toma	Mod.	Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Mod. Real		
TIPO		Zona	UH	Zona	UH	Ref.	nref	Real	Ref.	xref	Real	Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH		
UH 1	1ZS1	30		33								3196		6750		0	0		
	1ZQ1	46	38,00	57	47,67	19,4	18,4	22,0	35,2	36,2	36,0	1156	5442,00	1860	10323,00	0	0,00		
	1ZQ2	38		53								1090		1713		0	0		
UH 2	2ZS1	31		34								2987		6709		0	0		
	2ZQ1	46	38,00	58	48,67	19,4	18,4	22,0	34,9	35,9	36,0	1100	5143,00	1868	10311,00	0	0,00		
	2ZQ2	37		54								1056		1734		0	0		
UH 3	3ZS1	38		43								2712		5395		0	0		
	3ZQ1	54	45,33	75	61,00	18,9	17,9	21,1	34,5	35,5	35,6	877	4473,00	1001	7642,00	0	0,00		
	3ZQ2	44		65								884		1246		0	0		
UH 4	4ZS1	28		42								3130		5493		0	0		
	4ZQ1	43	36,33	65	56,67	19,4	18,4	21,9	35,0	36,0	36,1	1248	5392,00	1361	8068,00	0	0,00		
	4ZQ2	38		63								1014		1214		0	0		
Legenda: Atendimento ao nível mínimo												Atende		Não Atende		Não se aplica			

Fonte: A autora.

Tabela 30: Resultados pavimento cobertura - Painel EPS

SISTEMA EPS	PHFT				TEMPERATURA OPERATIVA						CARGA TÉRMICA								
	% ATENDIMENTO				TEMP. MÍNIMA			TEMP. MÁXIMA			CgTR				CgTA				
PAV.	Mod. Ref.		Mod. Real		Mod.	Tomi	Mod.	Mod.	Toma	Mod.		Mod. Ref.		Mod. Real		Mod. Ref.	Mod. Real		
COBERTURA	Zona	UH	Zona	UH	Ref.	nref	Real	Ref.	xref	Real		Zona	UH	Zona	UH	Zona	UH		
UH 1	1ZS1	28		29	17,8	16,8	20,4	37,1	39,1	37,1		4123		4729		0	0		
	1ZQ1	48	38,67	54							45,00	1321	6660,00	1311	7171,00	0	0,00	0	0,00
	1ZQ2	40		52								1216		1131		0		0	
UH 2	2ZS1	29		30	17,8	16,8	20,4	36,8	38,8	37,1		3913		4739		0	0		
	2ZQ1	48	39,00	56							46,00	1263	6356,00	1315	7205,00	0	0,00	0	0,00
	2ZQ2	40		52								1180		1151		0		0	
UH 3	3ZS1	35		38	17,5	16,5	19,8	36,3	38,3	36,3		3594		3922		0	0		
	3ZQ1	53	44,33	70							57,00	1067	5687,00	894	5507,00	0	0,00	0	0,00
	3ZQ2	45		63								1026		691		0		0	
UH 4	4ZS1	26		37	17,9	16,9	20,0	37,0	39,0	36,9		3959		3981		0	0		
	4ZQ1	45	37,33	62							53,67	1359	6439,00	957	5732,00	0	0,00	0	0,00
	4ZQ2	41		62								1121		794		0		0	
Legenda: Atendimento ao nível mínimo												Atende		Não Atende		Não se aplica			

Fonte: A autora.

O sistema de painel de EPS não obteve atendimento ao nível mínimo em todas as unidades habitacionais. As unidades 2, 3 e 4 do pavimento Tipo não atenderam aos requisitos da norma de desempenho térmico. Nas três situações, o não atendimento se deu por 0,1°C acima da temperatura operativa máxima de referência, sendo este o único parâmetro não alcançado.

Em relação aos níveis intermediário e superior, também não há atendimento para este sistema construtivo. A Tabela 31 demonstra o resumo dos níveis de atendimento deste cenário.

Os resultados completos do diagnóstico de desempenho estão presentes no Apêndice A e no Apêndice B, respectivamente nas páginas 78 e 91 deste trabalho.

Tabela 31: Nível de Atendimento – Tijolo

PAV.	PAINEL DE EPS				LEGENDA
	UH 1	UH 2	UH 3	UH 4	Mínimo
TÉRREO	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Intermediário
TIPO	Mínimo	N/A	N/A	N/A	Superior
COBERTURA	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Mínimo	Não atende

Fonte: A autora.

5.3 COMPARATIVO DOS SISTEMAS

Para a avaliação do sistema de painel de EPS em relação ao sistema convencional de tijolo, foi feita uma análise a partir dos resultados obtidos nas simulações, tendo como base os critérios de avaliação da norma de desempenho.

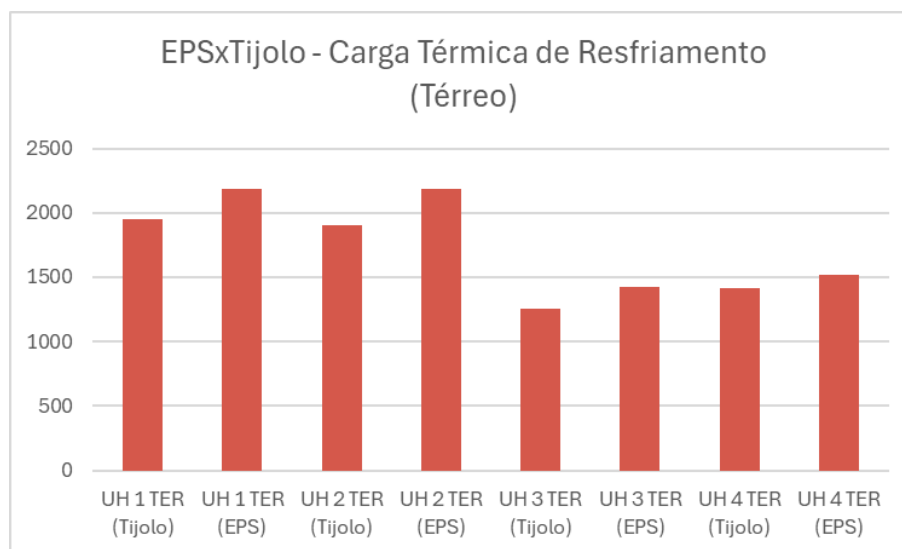
5.3.1 Térreo

Para o pavimento térreo, pode-se observar que o percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa das UHs, no cenário com EPS, é inferior em relação ao cenário com o tijolo cerâmico.

Apesar de as temperaturas operativas com o uso do EPS serem melhores do que com o uso do tijolo, a diferença entre os sistemas é muito pequena, variando entre 0,4°C e 0,7°C. Para os dois sistemas, as temperaturas operativas mínimas estão acima do valor da temperatura limite mínima (18°C), enquanto as temperaturas máximas ultrapassam o limite máximo de temperatura operativa (26°C).

Quanto à carga térmica total, foram considerados os valores de carga térmica de resfriamento, uma vez que os de carga térmica de aquecimento de todos os ambientes nos dois cenários foram nulos. Nas quatro unidades do térreo, a carga térmica para o sistema de EPS é superior à carga térmica para o sistema de tijolo. Como as UH 1 e 2 têm como superfícies expostas em comum a fachada oeste, pode-se perceber como o sistema de vedação em tijolo é mais eficaz para combater o ganho de carga térmica, como pode ser observado no Gráfico 3. A UH 4, por exemplo, que tem suas superfícies expostas voltadas para leste e sul, é a que menos tem diferença no valor da carga térmica entre os sistemas.

Gráfico 3: Comparação da Carga Térmica de Resfriamento (Térreo)



Fonte: A autora.

A partir desses resultados, pode-se afirmar que, para o pavimento térreo, o uso de tijolos apresenta um desempenho térmico melhor do que quando usado o painel de EPS. A tabela apresenta os valores e o resumo desta análise.

Tabela 32: Diagnóstico - térreo

Sistema Construtivo	UH 1 TER		UH 2 TER		UH 3 TER		UH 4 TER	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	80,0%	72,3%	80,3%	73,0%	86,7%	82,0%	85,3%	80,0%
Tomin	20	20,5	20,1	20,5	19,6	20,1	19,8	20,3
Tomax	30,2	29,7	30,0	29,6	28,6	28	28,7	28
CgTR	1954	2189	1908	2184	1255	1423	1412	1516
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	SIM		SIM		SIM		SIM	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
Legenda: EPS é melhor que Tijolo?		SIM	NÃO					

Fonte: A autora.

5.3.2 Tipo

Para o pavimento tipo, o único com unidades que não tiveram atendimento à norma para o sistema de EPS, os valores de PHFT para as UH reduziram muito em relação ao pavimento térreo, para os dois sistemas. Enquanto no térreo os percentuais estavam entre 72,3% e 86,7%, agora eles variam entre 47,7% e 61%, para o mesmo sistema. Isso demonstra que os ambientes de permanência prolongada das unidades

do tipo permanecem mais tempo fora da zona de temperatura operativa ideal do que no térreo.

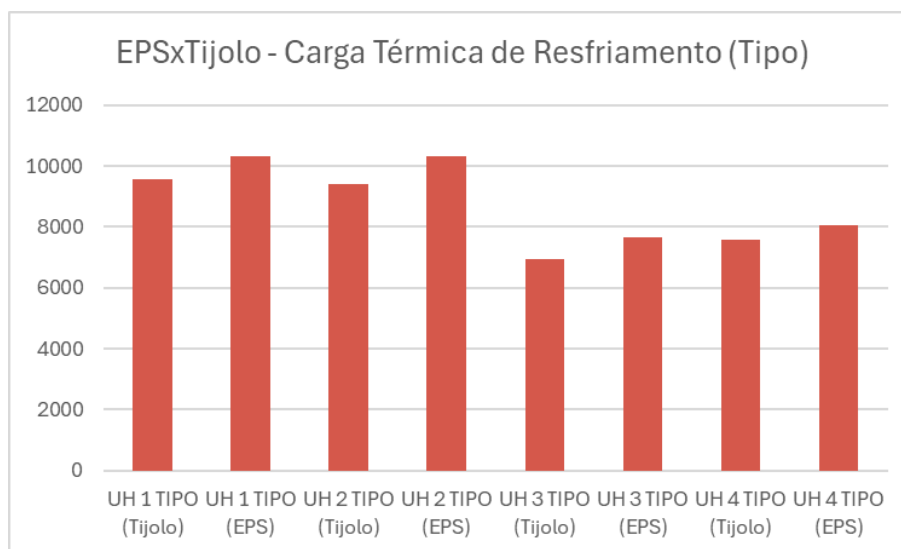
Vale ressaltar que, para as duas situações, todas as unidades habitacionais avaliadas, de todos os pavimentos, atendem ao critério de PHFT da norma de desempenho.

Concomitantemente, tanto as temperaturas operativas mínimas quanto as máximas tiveram um acréscimo, aumentando principalmente o desequilíbrio entre as temperaturas máximas e seu limite, para ambos os sistemas. Os valores de temperatura mínima para o cenário com o EPS são superiores ao cenário com o tijolo, aparentando um melhor isolamento térmico para as temperaturas mais frias. Entretanto, as $T_{máx}$ são superiores para o EPS, porém seus valores são muito próximos aos obtidos para o sistema de tijolo, demonstrando que apresentam um desempenho similar quanto a estes critérios.

Em relação à carga térmica, a diferença entre os sistemas é maior. Também houve um aumento considerável entre as unidades do pavimento tipo e do térreo. Para o pavimento térreo, os valores para o sistema de EPS estavam entre 1423 e 2189 kWh/ano. Agora, variam entre 7642 e 10323 kWh/ano. Para o sistema de tijolo, os valores situavam-se entre 1255 e 1954 kWh/ano, agora, para o tipo, estão entre 6948 e 9564 kWh/ano.

Nos dois pavimentos a carga térmica do sistema de EPS é superior ao sistema de tijolo (Gráfico 4: Comparação da carga térmica de resfriamento (Tipo). Essa diferença de valores muito se deve ao contato do pavimento térreo com o piso externo, permitindo que o calor se dissipe.

Gráfico 4: Comparação da carga térmica de resfriamento (Tipo)



Fonte: A autora.

Tanto os resultados de PHFT quanto de carga térmica demonstram uma diferença significativa entre os sistemas, demonstrando a eficácia superior do sistema de tijolo para este pavimento quanto ao desempenho térmico.

Tabela 33: Diagnóstico - tipo

Sistema Construtivo	UH 1 TIPO		UH 2 TIPO		UH 3 TIPO		UH 4 TIPO	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	57,7%	47,7%	58,7%	48,7%	69,0%	61,0%	65,7%	56,7%
Tomin	21,2	22	21,3	22	20,4	21,1	20,8	21,9
Tomax	35,4	36	35,3	36	34,8	35,6	35,1	36,1
CgTR	9564	10323	9401	10311	6948	7642	7594	8068
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	

Legenda: EPS é melhor que Tijolo? SIM NÃO

Fonte: A autora.

5.3.3 Cobertura

O que difere o pavimento de cobertura do tipo é ter, como o próprio nome especifica, uma superfície de cobertura. Dessa forma, as trocas térmicas desse pavimento ocorrem tanto pelas paredes externas quanto pela sua cobertura.

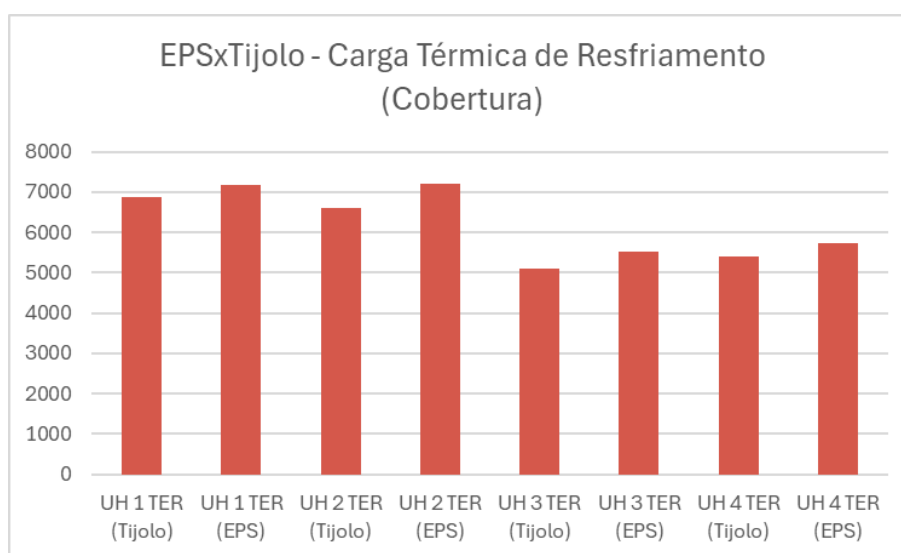
Comparando com os andares já avaliados, pode-se perceber que o PHFT teve uma redução, porém não tão expressiva quanto em relação à comparação do

pavimento térreo com o tipo. Enquanto a diferença de PHFT entre os sistemas, no térreo, estava entre 8 e 9%, no tipo houve uma variação entre 4,7% e 7,7%. Já na cobertura, passou a ser de 1,3% a 8,3%. Isso demonstra que, apesar do PHFT ter tido uma pequena redução para todas as UHs nos dois cenários, a diferença entre sistemas, também reduziu para algumas unidades. A avaliação por unidade será feita a seguir.

Em relação às temperaturas operativas, o sistema de painel de EPS é melhor do que o sistema convencional avaliado apenas quando analisado o parâmetro de Tomín, em que apresenta temperaturas superiores ao outro sistema e ao limite mínimo.

Uma vez que a cobertura entra como mais uma superfície de troca térmica, é esperado que haja uma carga térmica superior ao pavimento térreo. Em relação ao pavimento tipo, o que ocorreu foi um decréscimo, sendo que, no tipo, os valores, para EPS, giravam em torno de 7642 e 10323 kWh/ano, e para a cobertura, apresentam valores entre 5507 e 7205 kWh/ano.

Gráfico 5: Comparação da carga térmica de resfriamento (Cobertura)



Fonte: A autora.

A Tabela 34 reúne os resultados e o diagnóstico obtidos para o pavimento de cobertura.

Tabela 34: Diagnóstico - cobertura

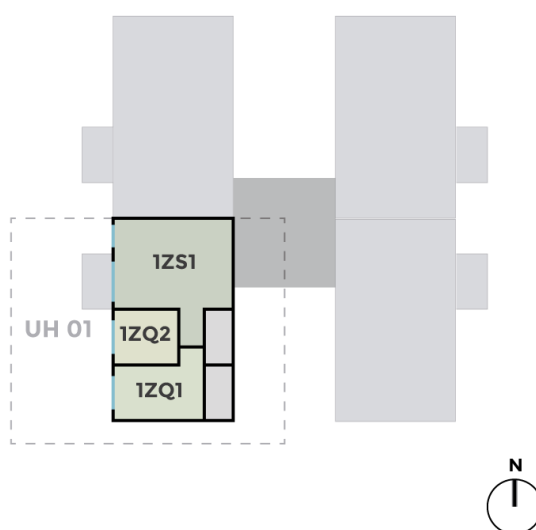
Sistema Construtivo	UH 1 COB		UH 2 COB		UH 3 COB		UH 4 COB	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	46,3%	45,0%	54,3%	46,0%	63,7%	57,0%	61,0%	53,7%
Tomin	18,9	20,4	19	20,4	18,6	19,8	18,8	20
Tomax	36,7	37,1	36,6	37,1	36	36,3	36,5	36,9
CgTR	6862	7171	6591	7205	5089	5507	5408	5732
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO		NÃO	
Legenda: EPS é melhor que Tijolo?		SIM	NÃO					

Fonte: A autora.

5.3.4 UH 1

A UH 1 possui fachadas expostas voltadas para sul e para oeste, como pode ser observado na imagem a seguir, que mostra sua localização no pavimento. Fachadas expostas orientadas para oeste tendem a ser mais críticas.

Figura 15: Localização da UH 1 no pavimento



Fonte: A autora.

Analisando a Tabela 35, pode-se perceber que o PHFT do cenário em que foi usado o tijolo é superior ao PHFT do cenário com EPS, para todos os pavimentos. Além disso, há um declínio muito grande do percentual para o pavimento térreo em relação aos pavimentos tipo e cobertura, que, apesar do primeiro ter valores

ligeiramente superiores ao segundo, são bem próximos. Pode-se perceber também que o PHFT para EPS e para o tijolo, na cobertura, são muito parecidos, conforme foi mencionado anteriormente na análise do pavimento de cobertura.

De modo geral, a temperatura operativa para os dois sistemas, nos três pavimentos avaliados, é próxima. Para facilitar a análise, foi feito um quadro comparativo com os resultados e o diagnóstico, assim como para os pavimentos, para as unidades. Pode ser observada, na Tabela 35, que a Tomín é maior – quando usado o EPS – nos três pavimentos, o que pode ser justificado pela característica isolante do material. Quanto à Tomáx, no térreo o sistema de EPS tem o valor menor, porém o oposto ocorre nos outros pavimentos.

Tabela 35: Diagnóstico - UH 1

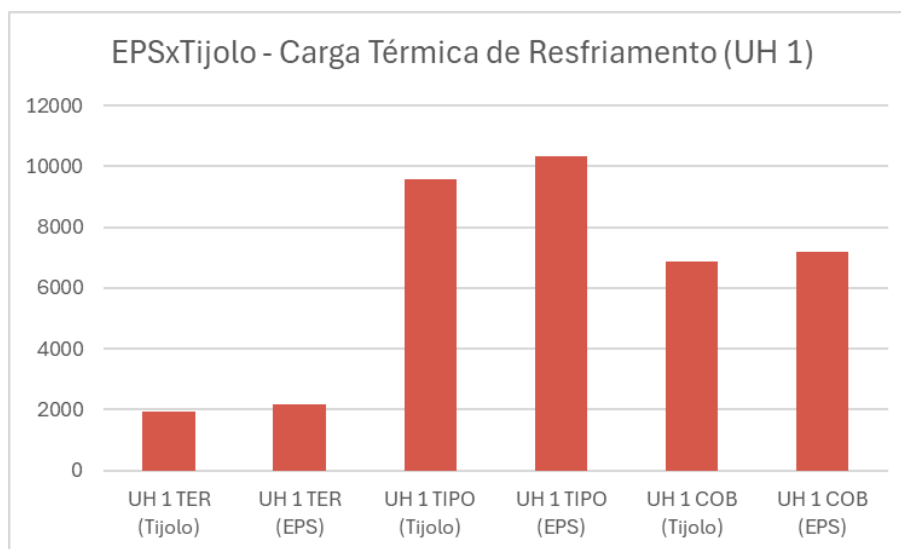
Sistema Construtivo	UH 1 TER		UH 1 TIPO		UH 1 COB	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	80,0%	72,3%	57,7%	47,7%	46,3%	45,0%
Tomin	20	20,5	21,2	22	18,9	20,4
Tomax	30,2	29,7	35,4	36	36,7	37,1
CgTR	1954	2189	9564	10323	6862	7171
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	SIM		NÃO		NÃO	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	

Legenda: EPS é melhor que Tijolo?	SIM	NÃO
-----------------------------------	-----	-----

Fonte: A autora.

Analisando a carga térmica, nos três pavimentos os valores para o cenário com tijolo são menores. A maior carga térmica está no pavimento tipo, como pode ser observado no Gráfico 6, demonstrando a ineficácia dos dois sistemas em relação a este critério. Vale ressaltar que, quanto ao desempenho térmico, em nenhum dos dois cenários houve atendimento, em nenhuma UH, aos requisitos de carga térmica.

Gráfico 6: Comparação da Carga Térmica (UH 1)

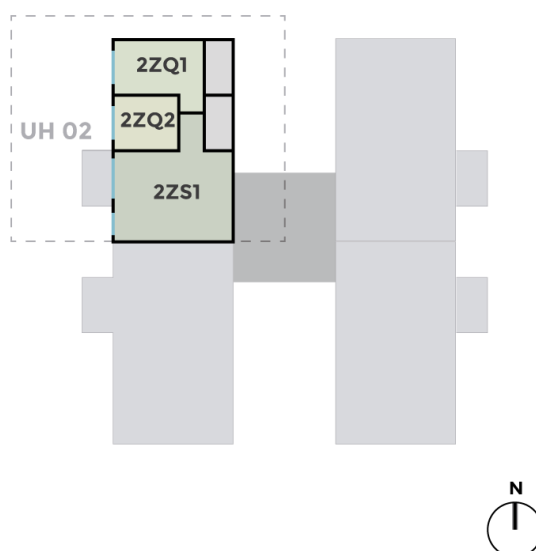


Fonte: A autora.

5.3.5 UH 2

A unidade habitacional 2 possui como orientação das suas paredes expostas, oeste e norte, também a caracterizando como situação crítica. A imagem a seguir determina sua localização no pavimento.

Figura 16: Localização da UH 2 no pavimento



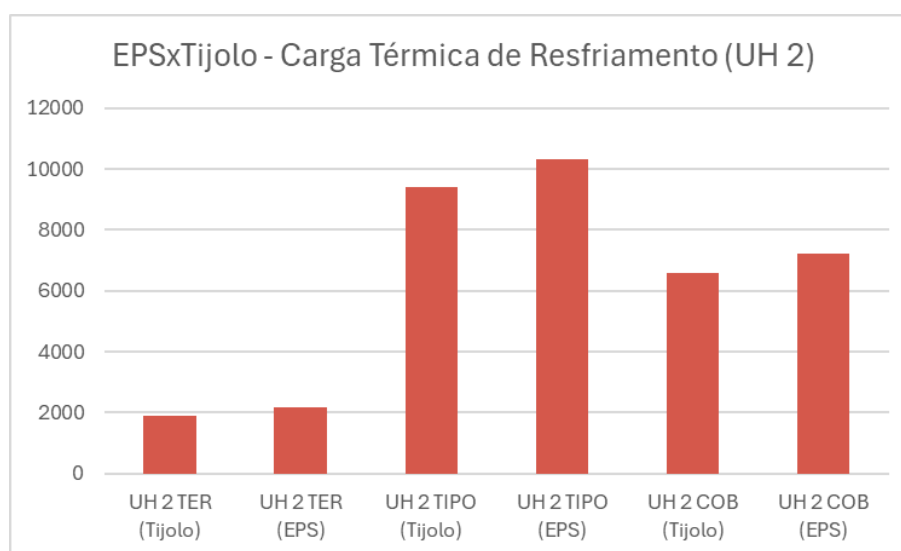
Fonte: A autora.

É possível identificar características bem similares aos resultados para a UH 1. A maior diferença aqui é em relação ao PHFT, em que os percentuais para o cenário com o uso do tijolo são nitidamente maiores do que com o uso do EPS. Fora isso, as temperaturas operativas mínimas e máximas, comparando os sistemas por pavimentos, são bem próximas. Os valores específicos estão expostos na Tabela 36.

Nesta unidade, a $Tomín.EPS$ é maior que a $Tomín.Tij$, e, para o pavimento térreo, a $Tomáx.EPS$ é maior que a $Tomáx.Tij$.

A carga térmica, assim como na unidade 1, é maior no pavimento tipo, e o sistema de paredes de tijolos apresenta resultados melhores em todos os pavimentos para a unidade 2.

Gráfico 7: Comparação da Carga Térmica (UH 2)



Fonte: A autora.

Tabela 36: Diagnóstico - UH 2

Sistema Construtivo	UH 2 TER		UH 2 TIPO		UH 2 COB	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	80,3%	73,0%	58,7%	48,7%	54,3%	46,0%
Tomin	20,1	20,5	21,3	22	19	20,4
Tomax	30,0	29,6	35,3	36	36,6	37,1
CgTR	1908	2184	9401	10311	6591	7205
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	SIM		NÃO		NÃO	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	

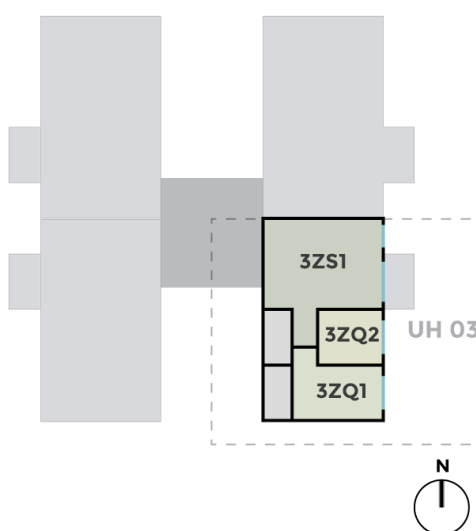
Legenda: EPS é melhor que Tijolo?	SIM	NÃO
-----------------------------------	-----	-----

Fonte: A autora.

5.3.6 UH 3

A unidade 3 possui fachadas expostas voltadas para sul e para leste, sua localização no pavimento pode ser vista na imagem a seguir.

Figura 17: Localização da UH 3 no pavimento



Fonte: A autora.

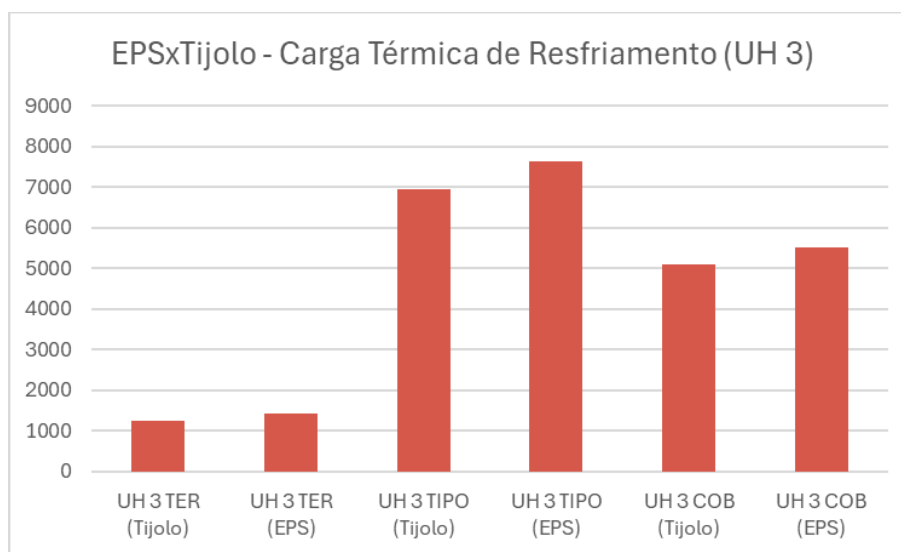
A unidade 3, nos três pavimentos, apresenta os maiores valores de PHFT. Para o cenário com o EPS, o recorde é no pavimento térreo, com 82%, enquanto, para o cenário com o tijolo, o valor é de 86,7%. Todos os outros valores dos critérios

avaliados também são melhores para as UH 3 de térreo, tipo e cobertura, tendo a UH 3 no pavimento térreo como a com melhor desempenho, nos dois sistemas analisados.

A relação entre o EPS e o tijolo segue a mesma das unidades já avaliadas, com o PHFT decrescendo à medida que os andares ficam mais altos; a temperatura operativa mínima do sistema de EPS ficam bem estável entre os pavimentos, com valores superiores aos do sistema com tijolo; a temperatura operativa máxima apenas do térreo sendo menor para o EPS; a carga térmica sendo menor para o cenário com paredes de tijolo e tendo o pavimento tipo com os maiores valores para os dois sistemas, seguido pela cobertura.

Esses dados e análises podem ser observados no gráfico e na tabela a seguir.

Gráfico 8: Comparação da Carga Térmica (UH 3)



Fonte: A autora.

Tabela 37: Diagnóstico - UH 3

Sistema Construtivo	UH 3 TER		UH 3 TIPO		UH 3 COB	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	86,7%	82,0%	69,0%	61,0%	63,7%	57,0%
Tomin	19,6	20,1	20,4	21,1	18,6	19,8
Tomax	28,6	28	34,8	35,6	36	36,3
CgTR	1255	1423	6948	7642	5089	5507
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	SIM		NÃO		NÃO	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	

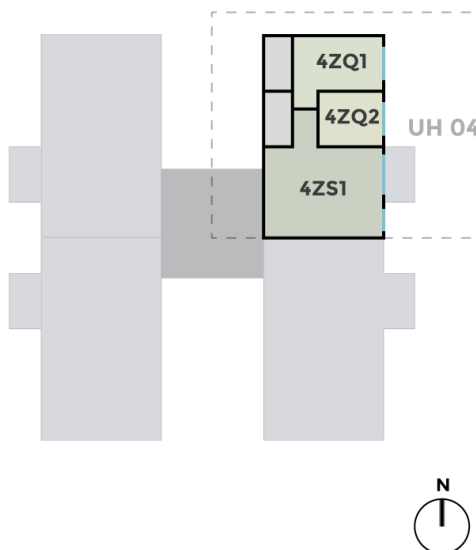
Legenda: EPS é melhor que Tijolo?	SIM	NÃO
-----------------------------------	-----	-----

Fonte: A autora.

5.3.7 UH 4

A unidade 4 apresenta paredes externas voltadas para norte e leste. A figura a seguir determina sua localização no pavimento.

Figura 18: Localização da UH 4 no pavimento

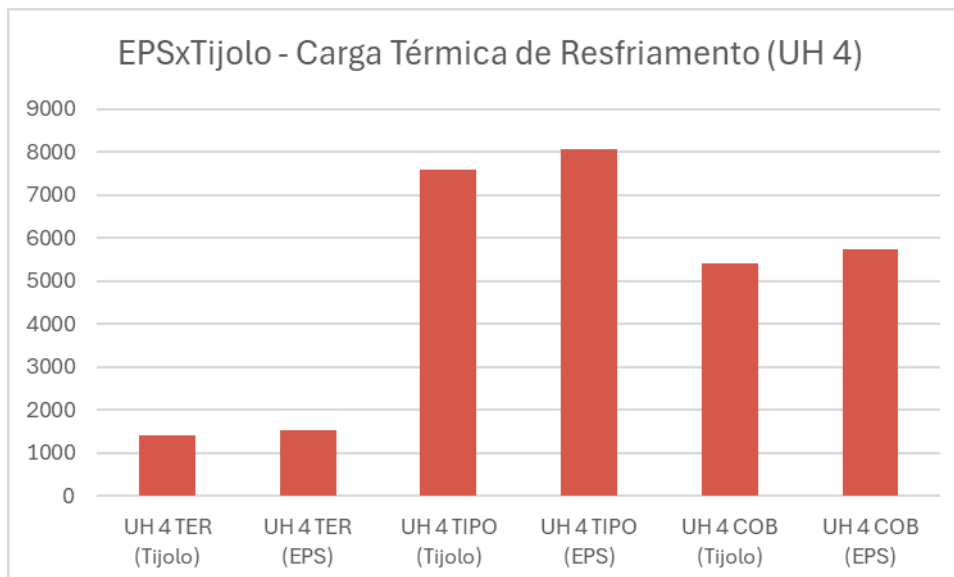


A unidade 4, para os três pavimentos, segue a mesma análise descrita para a unidade, que está resumida na Tabela 38. A UH 4 (térreo) é a segunda unidade avaliada com os melhores resultados, ficando atrás apenas da UH 3 (térreo).

Assim, comparando com o sistema construtivo de tijolo, para a unidade 4 nos pavimentos térreo, tipo e cobertura, o sistema de EPS tem o PHFT inferior, Tomín

superior, Tomax inferior e CgTt superior, demonstrando que, apesar dos valores serem aproximados, os resultados para o uso do tijolo são melhores.

Gráfico 9: Comparação da Carga Térmica (UH 4)



Fonte: A autora.

Tabela 38: Diagnóstico - UH 4

Sistema Construtivo	UH 4 TER		UH 4 TIPO		UH 4 COB	
	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS	Tijolo	EPS
PHFT	85,3%	80,0%	65,7%	56,7%	61,0%	53,7%
Tomin	19,8	20,3	20,8	21,9	18,8	20
Tomax	28,7	28	35,1	36,1	36,5	36,9
CgTR	1412	1516	7594	8068	5408	5732
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM		SIM		SIM	
Tomax.EPS < Tomax.Tij	SIM		NÃO		NÃO	
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO		NÃO		NÃO	

Legenda: EPS é melhor que Tijolo?	SIM	NÃO
-----------------------------------	-----	-----

Fonte: A autora.

5.3.8 Análise comparativa final

A partir dos resultados expostos e avaliados para as unidades habitacionais e os devidos pavimentos, pode-se afirmar que, na comparação entre os sistemas de

painel de EPS e de tijolo cerâmico, o EPS desempenha um resultado melhor parcial apenas para o critério de temperatura operativa.

O EPS apresenta temperatura operativa mínima, em todas as unidades, superior às temperaturas do modelo com tijolo, porém, em relação à temperatura operativa máxima, apenas nas unidades do térreo o EPS tem resultados melhores, inferiores aos do sistema de tijolo. Entretanto, os valores entre os dois sistemas são muito próximos, tanto para Tomín quanto para Tomáx.

Tanto para o critério de percentual de horas dentro da faixa de temperatura operativa quanto para o critério de carga térmica, o EPS apresenta resultados piores que o tijolo. A diferença entre esses resultados, para os dois sistemas construtivos, varia principalmente de acordo com o pavimento e as circunstâncias da envoltória.

A tabela a seguir reúne, resumidamente, este diagnóstico feito para comparar o sistema inovador de painel de EPS com o sistema conservador de tijolo cerâmico.

Tabela 39: Diagnóstico final

Sistema Construtivo	UH 1 TER	UH 2 TER	UH 3 TER	UH 4 TER	UH 1 TIPO	UH 2 TIPO	UH 3 TIPO	UH 4 TIPO	UH 1 COB	UH 2 COB	UH 3 COB	UH 4 COB
PHFT.EPS > PHFT.Tij	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
Tomin.EPS > Tomin.Tij	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Tomax.EPS < Tomax.Tij	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
CgTR.EPS < CgTR.Tij	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
AVALIAÇÃO FINAL	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO

Legenda: EPS é melhor que Tijolo? SIM NÃO

Comparando os valores finais, para cada sistema como um todo, podemos ver que, apesar do valor do PHFT do sistema de EPS ser inferior ao do sistema de tijolo, ambos são superiores ao valor referente ao modelo de referência. Conforme foi avaliado que a carga térmica

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sistema, ainda que inovador, mas que não corresponde às diretrizes bioclimáticas para o local do empreendimento, teria um desempenho térmico superior a um sistema convencional? Este questionamento instigou a execução deste trabalho e demonstrou-se a importância de serem consideradas as diretrizes construtivas presentes para cada zoneamento, de acordo com o local do empreendimento.

Na comparação entre o tijolo cerâmico e o painel de EPS, o sistema convencional teve mais destaque. Isso pode ser justificado justamente por, para Belo Horizonte, a principal estratégia bioclimática é a inércia térmica, sendo aconselhado o uso de paredes pesadas, enquanto o EPS é um isolante térmico de baixa densidade.

O sistema construtivo de tijolo cerâmico, a partir da avaliação de desempenho térmico segundo a NBR 15575 de 2021, atende ao nível mínimo de desempenho. Entretanto, o sistema de painel de EPS, submetido à mesma avaliação, não atende a nenhum nível. Isso se dá devido ao não atendimento das unidades 2, 3 e 4 do pavimento tipo, uma vez que, nos três apartamentos a temperatura máxima estava 0,1°C acima do limite estabelecido pela norma. Além disso, nenhum dos dois sistemas atinge o requisito para carga térmica.

Quando comparados os sistemas, tendo como base de avaliação os próprios critérios estabelecidos pela norma de desempenho, pode-se perceber que, para as temperaturas operativas mínimas, o EPS tem um bom desempenho, o mesmo ocorrendo para as temperaturas operativas máximas no pavimento térreo. Porém, para os demais parâmetros, o sistema de tijolo sobressai.

Em suma, pode-se atestar que, para a cidade de Belo Horizonte, o sistema de painel de EPS não é tão vantajoso, uma vez que seus valores de análise térmica são, no geral, muitos similares apesar de ligeiramente piores que aos do sistema convencional de alvenaria de tijolo cerâmico, sistema esse muito difundido, principalmente no âmbito das habitações de interesse social.

Adotar um sistema construtivo inovador genérico para habitação social, sem avaliar sua compatibilidade com o clima e com as estratégias construtivas para a zona bioclimática em questão pode provocar um alto custo de investimento sem muita eficácia quanto ao desempenho e conforto térmicos do usuário.

Este questionamento se faz muito importante para o contexto de sustentabilidade e de usabilidade das HIS. É preciso explorar as possibilidades da industrialização unidas a inovações tecnológicas que propiciem uma adequação ao clima e uma estrutura versátil, possibilitando a construção em escala e a adaptação futura das habitações de interesse social.

7 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **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, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho**. Rio de Janeiro, 2013

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2021.

Andrade, Liza M. S. **AGENDA VERDE X AGENDA MARROM: Inexistência de princípios ecológicos para o desenho de assentamentos urbanos**. 230 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Construção Sustentável**. Ministério do Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/urbanismo-sustentavel/item/8059.html>>. Acesso em: 15 mai. 2023.

CASTRO, Lucas de Lima et al. **Ecogrid-painel de estrutura armada de EPS-tecnologias sustentáveis em sistemas construtivos convencionais**. Anuário Acadêmico-científico da UniAraguaia, v. 7, n. 1, p. 104-111, 2018.

CRAWLEY, D.B.; LAWRIE, L.K. **Climate One Building**. Disponível em: <<http://climate.onebuilding.org>>. Acesso em: 20 mar. 2024.

FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. de; CARLO, J. C. **Variables of influence on thermal performance of buildings under transient conditions**. PARC Pesq. em Arquit. e Constr., Campinas, SP, v. 12, p. e021023, 2021.

FONTOURA, Raul O. **A arquitetura na encruzilhada da sustentabilidade: considerações à literatura e a experiências existentes**. 199f. Dissertação

(Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

LCP Engenharia e Construções. **Conheça o EcoGrid®**. Disponível em: <<http://www.lcpconstrucoes.com.br/tecnologia>>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MAZUCO, Rafael; LIMA, Matheus. **Painéis Monolíticos Em EPS na Construção Civil**. Engenharia Civil, p. 1-18, 2018.

MENDES, Mena Cristina Marcolino; FABRICIO, Márcio Minto; IMAI, César. **Sistemas construtivos inovadores no contexto do SiNAT: normativas, produção e aplicações de painéis de vedação**. FABRÍCIO, MM; BRITO, AC; VITTORINO, F.. Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: conforto ambiental, durabilidade e pós-ocupação, p. 169-194, 2017.

NUNES, Tarcisio; SANTA ROSA, Júnia; MORAES, Rayne Ferretti (org.) **Habitação social e sustentabilidade urbana**. In: BRASIL (MMA). Sustentabilidade urbana: impactos do desenvolvimento econômico e suas conseqüências sobre o processo de urbanização em países emergentes: textos para as discussões da Rio+20. Volume 3. Brasília: MMA, 2015. Disponível em <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNH/ArquivosPDF/Publicacoes/capacitacao/publicacoes/habitacao_social.pdf>.

PEDROZO, Éder Claro; BUDNY, Acsiel; DA SILVA, Gediel. **Certificação LEED como Forma de Promover o Desenvolvimento Sustentável: Análise de Alguns Indicadores com Base no Sistema Construtivo Ecogrid®**. + Ingenio-Revista de Ciencia Tecnología e Innovación, v. 3, n. 2, p. 102-111, 2022.

SATTLER, Miguel A. **Edificações e comunidades sustentáveis**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Departamento de Engenharia Civil/NORIE. Porto Alegre, RS. 2012.

SOUSA, L. F.; SANTOS, M. L. L. O.. **Sistemas construtivos para habitações sociais: uma revisão sistemática da literatura**. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.3, p.194-206, 2021.

TEIXEIRA, C. A.; INVIDIATA, A.; SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; FOSSATI, M. LAMBERTS, R. **Levantamento das características de edifícios residenciais brasileiros**. CB3E, Florianópolis, 2015.

TOLEDO, Luiz Carlos; VRCIBRADIC, Petar; NATIVIDADE, Verônica. **Repensando as habitações de interesse social**. FINEP, 2015.

8 APÊNDICES

As tabelas a seguir demonstram os diagnósticos de desempenho térmico para as UH avaliadas. Foi usada como base a tabela A.2 disponível no Anexo A da NBR 15575- Parte 1, de 2021.

8.1 APÊNDICE A – Diagnósticos de desempenho para o sistema construtivo de tijolo

Tabela 40: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Térreo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 1	3	() Fachada Norte	(X) Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura	
	Térreo	42,63	(X) Fachada Sul	(X) Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		61,00	92,00	87,00	
To máx APP (°C)		30,4	28,4	28,9	
To mín APP (°C)		20,5	19,0	19,4	
CgTR APP (kWh/ano)		1580	167	207	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		1580	167	207	
Modelo de referência					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		60,00	83,00	77,00	
To máx APP (°C)		30,6	29,2	29,2	
To mín APP (°C)		20,3	18,9	19,9	
CgTR APP (kWh/ano)		1239	302	294	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		1239	302	294	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		80,00	73,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		30,4	30,6	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		19,0	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		1954	1835	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		1954	1835	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		45,8	43,0	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		6,67	0,00	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		-6,49	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 41: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Térreo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 2	3	(X) Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	() Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		61,00	93,00	87,00
To máx APP (°C)		30,1	28,4	28,8
To mín APP (°C)		20,5	19,0	19,7
CgTR APP (kWh/ano)		1557	147	204
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1557	147	204
Modelo de referência				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		61,00	86,00	79,00
To máx APP (°C)		30,1	29,1	29,2
To mín APP (°C)		20,2	18,9	19,8
CgTR APP (kWh/ano)		1152	234	260
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1152	234	260
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	80,33	75,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	30,1	30,1	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,0	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	1908	1646	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	1908	1646	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	44,8	38,6	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	5,00	0,00	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-15,92	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 42: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Térreo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 3	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	() Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		70,00	97,00	93,00
To máx APP (°C)		28,9	27,8	28,3
To mín APP (°C)		20,1	18,6	19,1
CgTR APP (kWh/ano)		1097	54	104
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1097	54	104
Modelo de referência				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		68,00	91,00	87,00
To máx APP (°C)		29,3	28,4	28,4
To mín APP (°C)		19,8	18,6	19,5
CgTR APP (kWh/ano)		865	140	151
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		865	140	151
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	86,67	82,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	28,9	29,3	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	18,6	18,6	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	1255	1156	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	1255	1156	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	29,4	27,1	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	4,67	0,00	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-8,56	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 43: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Térreo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 4	3	() Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	(X) Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		68,00	95,00	93,00
To máx APP (°C)		29,1	28,2	28,4
To mín APP (°C)		20,0	18,9	19,1
CgTR APP (kWh/ano)		1213	88	111
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1213	88	111
Modelo de referência				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		60,00	85,00	82,00
To máx APP (°C)		29,8	29,0	28,8
To mín APP (°C)		20,2	18,9	19,6
CgTR APP (kWh/ano)		1158	256	202
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1158	256	202
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	85,33	75,67	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	29,1	29,8	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	18,9	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	1412	1616	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	1412	1616	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	33,1	37,9	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	9,67	0,00	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	12,62	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 44: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Tipo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 1	3	() Fachada Norte	(X) Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura	
	Tipo	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		42,00	69,00	62,00	
To máx APP (°C)		33,0	30,7	31,4	
To mín APP (°C)		21,0	19,0	19,6	
CgTR APP (kWh/ano)		6277	1656	1631	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		6277	1656	1631	
Modelo de referência					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		30,00	46,00	38,00	
To máx APP (°C)		35,2	33,2	33,9	
To mín APP (°C)		21,1	19,4	20,7	
CgTR APP (kWh/ano)		3196	1156	1090	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		3196	1156	1090	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		57,67	38,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		33,0	35,2	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		19,0	19,4	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		9564	5442	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		9564	5442	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		224,3	127,7	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		19,67	17,74	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		-75,74	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 45: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Tipo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 2	3	(X) Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	() Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		44,00	70,00	62,00
To máx APP (°C)		32,6	30,6	31,4
To mín APP (°C)		20,9	19,1	19,6
CgTR APP (kWh/ano)		6152	1637	1612
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		6152	1637	1612
Modelo de referência				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		31,00	46,00	37,00
To máx APP (°C)		34,9	32,9	33,7
To mín APP (°C)		20,9	19,4	20,6
CgTR APP (kWh/ano)		2987	1100	1056
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		2987	1100	1056
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	58,67	38,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	32,6	34,9	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,1	19,4	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	9401	5143	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	9401	5143	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	220,5	120,6	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	$\Delta PHFT$ (%)	$\Delta PHFT$ mín. (%)	Atendimento	
$\Delta PHFT \geq \Delta PHFT$ mín. (Tabela 20)	20,67	17,74	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT $\geq$ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-82,79	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 46: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Tipo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 3	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	() Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		50,00	84,00	73,00
To máx APP (°C)		31,9	29,7	30,5
To mín APP (°C)		20,2	18,5	19,1
CgTR APP (kWh/ano)		5009	825	1114
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		5009	825	1114
Modelo de referência				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		38,00	54,00	44,00
To máx APP (°C)		34,5	32,2	33,0
To mín APP (°C)		20,2	18,9	20,0
CgTR APP (kWh/ano)		2712	877	884
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		2712	877	884
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	69,00	45,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	31,9	34,5	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	18,5	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	6948	4473	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	6948	4473	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	163,0	104,9	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	Δ PHFT (%)	Δ PHFT mín. (%)	Atendimento	
Δ PHFT $\geq$ Δ PHFT mín. (Tabela 20)	23,67	15,76	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT $\geq$ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-55,33	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 47: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Tipo – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 4	3	() Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		50,00	76,00	71,00
To máx APP (°C)		32,1	30,3	30,6
To mín APP (°C)		20,1	18,8	19,1
CgTR APP (kWh/ano)		5261	1205	1128
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		5261	1205	1128
Modelo de referência				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		28,00	43,00	38,00
To máx APP (°C)		35,0	33,0	33,4
To mín APP (°C)		20,8	19,4	20,3
CgTR APP (kWh/ano)		3130	1248	1014
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3130	1248	1014
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	65,67	36,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	32,1	35,0	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	18,8	19,4	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	7594	5392	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	7594	5392	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	178,1	126,5	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	29,33	18,19	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-40,84	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 48: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Cobertura – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 1	3	() Fachada Norte	(X) Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	(X) Cobertura	
	Cobertura	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		37,00	43,00	59,00	
To máx APP (°C)		34,9	34,7	32,9	
To mín APP (°C)		20,8	19,0	18,9	
CgTR APP (kWh/ano)		4384	1395	1083	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		4384	1395	1083	
Modelo de referência					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		28,00	48,00	40,00	
To máx APP (°C)		37,1	34,5	35,4	
To mín APP (°C)		20,5	17,8	18,8	
CgTR APP (kWh/ano)		4123	1321	1216	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		4123	1321	1216	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		46,33	38,67	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		34,9	37,1	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		18,9	17,8	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		6862	6660	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		6862	6660	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		161,0	156,2	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		7,67	11,04	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		-3,03	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 49: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Cobertura – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 2	3	(X) Fachada Norte	(X) Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	(X) Cobertura	
	Cobertura	42,63	() Fachada Sul	() Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2	
PHFT APP (%)		38,00	66,00	59,00	
To máx APP (°C)		34,8	31,9	32,8	
To mín APP (°C)		20,6	18,5	18,9	
CgTR APP (kWh/ano)		4357	1157	1077	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		4357	1157	1077	
Modelo de referência					
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2	
PHFT APP (%)		29,00	48,00	40,00	
To máx APP (°C)		36,8	34,3	35,2	
To mín APP (°C)		20,4	17,8	18,7	
CgTR APP (kWh/ano)		3913	1263	1180	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		3913	1263	1180	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		54,33	39,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		34,8	36,8	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		18,5	17,8	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		6591	6356	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		6591	6356	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		154,6	149,1	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		15,33	10,98	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		-3,70	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 50: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Cobertura – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 3	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	(X) Cobertura
	Cobertura	42,63	() Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		43,00	78,00	70,00
To máx APP (°C)		34,0	31,0	31,6
To mín APP (°C)		19,9	18,2	18,5
CgTR APP (kWh/ano)		3686	781	622
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3686	781	622
Modelo de referência				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		35,00	53,00	45,00
To máx APP (°C)		36,3	33,4	34,3
To mín APP (°C)		19,9	17,5	18,4
CgTR APP (kWh/ano)		3594	1065	1026
CgTA APP (kWh/ano)		0	2	0
CgTT APP (kWh/ano)		3594	1067	1026
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	63,67	44,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	34,0	36,3	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	18,2	17,5	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	5089	5685	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	2	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	5089	5687	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	119,4	133,4	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	Δ PHFT (%)	Δ PHFT mín. (%)	Atendimento	
Δ PHFT $\geq$ Δ PHFT mín. (Tabela 20)	19,33	10,02	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT $\geq$ RedCgTT mín. (Tabela 21)	10,52	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 51: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Cobertura – Tijolo

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 4	3	() Fachada Norte	() Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	(X) Cobertura	
	Cobertura	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2	
PHFT APP (%)		43,00	72,00	68,00	
To máx APP (°C)		34,2	31,4	31,7	
To mín APP (°C)		19,9	18,4	18,6	
CgTR APP (kWh/ano)		3817	846	745	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		3817	846	745	
Modelo de referência					
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2	
PHFT APP (%)		26,00	45,00	41,00	
To máx APP (°C)		37,0	34,2	34,7	
To mín APP (°C)		20,4	17,9	18,6	
CgTR APP (kWh/ano)		3959	1359	1121	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		3959	1359	1121	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		61,00	37,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		34,2	37,0	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		18,4	17,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		5408	6439	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		5408	6439	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		126,9	151,0	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		23,67	11,28	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		16,01	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

8.2 APÊNDICE B – Diagnósticos de desempenho para o sistema construtivo de painel de EPS

Tabela 52: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Térreo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 1	3	() Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	(X) Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2
PHFT APP (%)		52,00	85,00	80,00
To máx APP (°C)		31,2	28,6	29,2
To mín APP (°C)		21,1	19,6	19,7
CgTR APP (kWh/ano)		1726	210	253
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1726	210	253
Modelo de referência				
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2
PHFT APP (%)		60,00	83,00	77,00
To máx APP (°C)		30,6	29,2	29,2
To mín APP (°C)		20,3	18,9	19,9
CgTR APP (kWh/ano)		1239	302	294
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1239	302	294
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	72,33	73,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	31,2	30,6	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,6	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	2189	1835	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	2189	1835	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	51,3	43,0	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	-1,00	0,00	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-19,29	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 53: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Térreo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 2	3	(X) Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	() Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		52,00	87,00	80,00
To máx APP (°C)		30,9	28,6	29,2
To mín APP (°C)		21,1	19,6	19,7
CgTR APP (kWh/ano)		1726	198	260
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1726	198	260
Modelo de referência				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		61,00	86,00	79,00
To máx APP (°C)		30,1	29,1	29,2
To mín APP (°C)		20,2	18,9	19,8
CgTR APP (kWh/ano)		1152	234	260
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1152	234	260
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	73,00	75,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	30,9	30,1	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,6	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	2184	1646	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	2184	1646	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	51,2	38,6	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	-2,33	0,00	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-32,69	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 54: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Térreo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 3	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	() Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		62,00	95,00	89,00
To máx APP (°C)		29,4	27,9	28,6
To mín APP (°C)		20,4	19,1	19,4
CgTR APP (kWh/ano)		1212	68	143
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1212	68	143
Modelo de referência				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		68,00	91,00	87,00
To máx APP (°C)		29,3	28,4	28,4
To mín APP (°C)		19,8	18,6	19,5
CgTR APP (kWh/ano)		865	140	151
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		865	140	151
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	82,00	82,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	29,4	29,3	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,1	18,6	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	1423	1156	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	1423	1156	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	33,4	27,1	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	0,00	0,00	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-23,10	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 55: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Térreo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 4	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Térreo	42,63	() Fachada Sul	(X) Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		61,00	91,00	88,00
To máx APP (°C)		29,5	28,3	28,7
To mín APP (°C)		20,4	19,4	19,4
CgTR APP (kWh/ano)		1247	119	150
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1247	119	150
Modelo de referência				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		60,00	85,00	82,00
To máx APP (°C)		29,8	29,0	28,8
To mín APP (°C)		20,2	18,9	19,6
CgTR APP (kWh/ano)		1158	256	202
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		1158	256	202
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	80,00	75,67	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	29,5	29,8	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,4	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	1516	1616	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	1516	1616	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	35,6	37,9	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	4,33	0,00	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	6,19	30	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 56: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Tipo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 1	3	() Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2
PHFT APP (%)		33,00	57,00	53,00
To máx APP (°C)		34,0	31,5	32,1
To mín APP (°C)		21,7	19,8	19,9
CgTR APP (kWh/ano)		6750	1860	1713
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		6750	1860	1713
Modelo de referência				
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2
PHFT APP (%)		30,00	46,00	38,00
To máx APP (°C)		35,2	33,2	33,9
To mín APP (°C)		21,1	19,4	20,7
CgTR APP (kWh/ano)		3196	1156	1090
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3196	1156	1090
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	47,67	38,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	34,0	35,2	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,8	19,4	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	10323	5442	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	10323	5442	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	242,2	127,7	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	Δ PHFT (%)	Δ PHFT mín. (%)	Atendimento	
Δ PHFT $\geq$ Δ PHFT mín. (Tabela 20)	9,67	17,74	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT $\geq$ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-89,69	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 57: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Tipo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 2	3	(X) Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	() Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		34,00	58,00	54,00
To máx APP (°C)		33,8	31,3	32,1
To mín APP (°C)		21,5	19,7	19,9
CgTR APP (kWh/ano)		6709	1868	1734
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		6709	1868	1734
Modelo de referência				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		31,00	46,00	37,00
To máx APP (°C)		34,9	32,9	33,7
To mín APP (°C)		20,9	19,4	20,6
CgTR APP (kWh/ano)		2987	1100	1056
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		2987	1100	1056
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo
PHFT UH (%)		48,67	38,00	(X) Sim () Não
To máx. UH (°C)		33,8	34,9	() Sim (X) Não
To mín. UH (°C)		19,7	19,4	(X) Sim () Não
CgTR UH (kWh/ano)		10311	5143	Não se aplica
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica
CgTT UH (kWh/ano)		10311	5143	Não se aplica
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		241,9	120,6	Não se aplica
Nível Intermediário				
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		10,67	17,74	() Sim (X) Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		-100,49	50	() Sim (X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				Não atende os requisitos mínimos

Fonte: A autora.

Tabela 58: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Tipo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 3	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	() Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		43,00	75,00	65,00
To máx APP (°C)		32,7	30,3	31,1
To mín APP (°C)		20,6	19,1	19,4
CgTR APP (kWh/ano)		5395	1001	1246
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		5395	1001	1246
Modelo de referência				
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2
PHFT APP (%)		38,00	54,00	44,00
To máx APP (°C)		34,5	32,2	33,0
To mín APP (°C)		20,2	18,9	20,0
CgTR APP (kWh/ano)		2712	877	884
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		2712	877	884
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	61,00	45,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	32,7	34,5	() Sim	(X) Não
To mín. UH (°C)	19,1	18,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	7642	4473	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	7642	4473	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m²)	179,3	104,9	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	Δ PHFT (%)	Δ PHFT mín. (%)	Atendimento	
Δ PHFT $\geq$ Δ PHFT mín. (Tabela 20)	15,67	15,76	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT $\geq$ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-70,85	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				Não atende os requisitos mínimos

Fonte: A autora.

Tabela 59: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Tipo – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 4	3	() Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	() Cobertura
	Tipo	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		42,00	65,00	63,00
To máx APP (°C)		32,9	30,8	31,2
To mín APP (°C)		20,5	19,4	19,5
CgTR APP (kWh/ano)		5493	1361	1214
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		5493	1361	1214
Modelo de referência				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		28,00	43,00	38,00
To máx APP (°C)		35,0	33,0	33,4
To mín APP (°C)		20,8	19,4	20,3
CgTR APP (kWh/ano)		3130	1248	1014
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3130	1248	1014
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	56,67	36,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	32,9	35,0	() Sim	(X) Não
To mín. UH (°C)	19,4	19,4	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	8068	5392	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	8068	5392	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	189,3	126,5	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	20,33	18,19	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-49,63	50	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			Não atende os requisitos mínimos	

Fonte: A autora.

Tabela 60: Diagnóstico de Desempenho – UH 1/Cobertura – EPS

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 1	3	() Fachada Norte	(X) Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	(X) Cobertura	
	Cobertura	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		29,00	54,00	52,00	
To máx APP (°C)		35,8	33,0	33,6	
To mín APP (°C)		21,4	19,1	19,3	
CgTR APP (kWh/ano)		4729	1311	1131	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		4729	1311	1131	
Modelo de referência					
Nome do APP		1ZS1	1ZQ1	1ZQ2	
PHFT APP (%)		28,00	48,00	40,00	
To máx APP (°C)		37,1	34,5	35,4	
To mín APP (°C)		20,5	17,8	18,8	
CgTR APP (kWh/ano)		4123	1321	1216	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		4123	1321	1216	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		45,00	38,67	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		35,8	37,1	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		19,1	17,8	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		7171	6660	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		7171	6660	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		168,2	156,2	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		6,33	11,04	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		-7,67	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 61: Diagnóstico de Desempenho – UH 2/Cobertura – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 2	3	(X) Fachada Norte	(X) Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	() Fachada Leste	(X) Cobertura
	Cobertura	42,63	() Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		30,00	56,00	52,00
To máx APP (°C)		35,7	32,8	33,6
To mín APP (°C)		21,1	19,1	19,3
CgTR APP (kWh/ano)		4739	1315	1151
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		4739	1315	1151
Modelo de referência				
Nome do APP		2ZS1	2ZQ1	2ZQ2
PHFT APP (%)		29,00	48,00	40,00
To máx APP (°C)		36,8	34,3	35,2
To mín APP (°C)		20,4	17,8	18,7
CgTR APP (kWh/ano)		3913	1263	1180
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3913	1263	1180
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	46,00	39,00	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	35,7	36,8	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	19,1	17,8	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	7205	6356	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	7205	6356	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	169,0	149,1	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	7,00	10,98	() Sim	(X) Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	-13,36	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 62: Diagnóstico de Desempenho – UH 3/Cobertura – EPS

Características da unidade habitacional (UH)					
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas		
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 3	3	(X) Fachada Norte	() Fachada Oeste	
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	(X) Cobertura	
	Cobertura	42,63	() Fachada Sul	() Piso	
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)					
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2	
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório	
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37	
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP					
Modelo real					
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2	
PHFT APP (%)		38,00	70,00	63,00	
To máx APP (°C)		34,8	31,7	32,3	
To mín APP (°C)		20,3	18,7	18,8	
CgTR APP (kWh/ano)		3922	894	691	
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0	
CgTT APP (kWh/ano)		3922	894	691	
Modelo de referência					
Nome do APP		3ZS1	3ZQ1	3ZQ2	
PHFT APP (%)		35,00	53,00	45,00	
To máx APP (°C)		36,3	33,4	34,3	
To mín APP (°C)		19,9	17,5	18,4	
CgTR APP (kWh/ano)		3594	1065	1026	
CgTA APP (kWh/ano)		0	2	0	
CgTT APP (kWh/ano)		3594	1067	1026	
Diagnóstico de desempenho térmico da UH					
		Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)		57,00	44,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)		34,8	36,3	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)		18,7	17,5	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)		5507	5685	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)		0	2	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)		5507	5687	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)		129,2	133,4	Não se aplica	
Nível Intermediário					
Critério:		ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)		12,67	10,02	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior					
Critério:		RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)		3,17	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH				(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.

Tabela 63: Diagnóstico de Desempenho – UH 4/Cobertura – EPS

Características da unidade habitacional (UH)				
Tipologia	Identificação da UH	Número de APP	Superfícies expostas	
() Unifamiliar (X) Multifamiliar	UH 4	3	() Fachada Norte	() Fachada Oeste
	Pavimento	Ap,UH (m²)	(X) Fachada Leste	(X) Cobertura
	Cobertura	42,63	(X) Fachada Sul	() Piso
Características dos ambientes de permanência prolongada (APP)				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
Tipo de uso		(X) Sala () Dormitório	() Sala (X) Dormitório	() Sala (X) Dormitório
Ap,app (m²)		24,09	11,17	7,37
Diagnóstico de desempenho térmico dos APP				
Modelo real				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		37,00	62,00	62,00
To máx APP (°C)		35,0	32,1	32,3
To mín APP (°C)		20,2	18,8	18,9
CgTR APP (kWh/ano)		3981	957	794
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3981	957	794
Modelo de referência				
Nome do APP		4ZS1	4ZQ1	4ZQ2
PHFT APP (%)		26,00	45,00	41,00
To máx APP (°C)		37,0	34,2	34,7
To mín APP (°C)		20,4	17,9	18,6
CgTR APP (kWh/ano)		3959	1359	1121
CgTA APP (kWh/ano)		0	0	0
CgTT APP (kWh/ano)		3959	1359	1121
Diagnóstico de desempenho térmico da UH				
	Modelo real	Modelo de referência	Atendimento do nível mínimo	
PHFT UH (%)	53,67	37,33	(X) Sim	() Não
To máx. UH (°C)	35,0	37,0	(X) Sim	() Não
To mín. UH (°C)	18,8	17,9	(X) Sim	() Não
CgTR UH (kWh/ano)	5732	6439	Não se aplica	
CgTA UH (kWh/ano)	0	0	Não se aplica	
CgTT UH (kWh/ano)	5732	6439	Não se aplica	
CgTT UH/Ap.UH (kWh/ano.m2)	134,5	151,0	Não se aplica	
Nível Intermediário				
Critério:	ΔPHFT (%)	ΔPHFT mín. (%)	Atendimento	
ΔPHFT ≥ ΔPHFT mín. (Tabela 20)	16,33	11,28	(X) Sim	() Não
Nível intermediário e Nível Superior				
Critério:	RedCgTT	RedCgTT mín.	Atendimento	
RedCgTT ≥ RedCgTT mín. (Tabela 21)	10,98	40	() Sim	(X) Não
Nível de desempenho térmico obtido pela UH			(X) Mínimo () Intermediário () Superior	

Fonte: A autora.