

CENTRO UNIVERSITÁRIO  
UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ANA LETICIA GARCIA RIBEIRO**

**DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS DE EPS:**  
uma análise para habitações em São Luís – MA.

São Luís  
2024

**ANA LETICIA GARCIA RIBEIRO**

**DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS DE EPS:  
uma análise para habitações em São Luís – MA.**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.  
Orientadora: Profa. Ma. Fernanda Gabriella Batista Santos Oliveira.

São Luís

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Centro Universitário - UNDB / Biblioteca

Ribeiro, Ana Leticia Garcia

Desempenho térmico do sistema construtivo em painéis de EPS:  
uma análise para habitações em São Luís - MA. / Ana Leticia Garcia  
Ribeiro. \_\_São Luís, 2024.  
67 f.

Orientador: Profa. Fernanda Gabriella Batista Santos Oliveira.  
Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Curso de  
Engenharia Civil - Centro Universitário Unidade de Ensino Superior  
Dom Bosco – UNDB, 2024.

1. Eficiência energética. 2. Sistema construtivo em EPS. 3.  
Desempenho térmico. I. Título.

CDU 621.31(812.1)

**ANA LETICIA GARCIA RIBEIRO**

**DESEMPENHO TÉRMICO DO SISTEMA CONSTRUTIVO EM PAINÉIS DE EPS:**  
uma análise para habitações em São Luís - MA

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom  
Bosco como requisito parcial para obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Civil

Aprovada em 17/06/2024.

BANCA EXAMINADORA



---

**Profa. Ma. Fernanda Gabriella Batista Santos Oliveira**

Mestra em Engenharia de Estruturas

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB

---

**Prof. Ricardo Alberto Barros Aguado**

Especialista em Estruturas de Concreto Armado e Fundações

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco – UNDB

---

**Prof. Me. Thiago Coelho Ferreira**

Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano

Centro Universitário Unidade de Ensino Superior Dom Bosco - UNDB

## AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por todas as bênçãos que me proporciona, pelas conquistas alcançadas e por me dar forças para superar os obstáculos da vida. Grata por permitir que eu conclua a minha graduação, e assim, siga em busca dos meus sonhos.

À minha mãe, Maria do Socorro, por ser meu alicerce e apoiar as minhas decisões. Reconheço tudo que faz por mim e sou grata por todo seu amor. Saiba que tudo valerá à pena. Essa conquista é nossa. Eu te amo profundamente.

Gratidão à minha irmã, Ana Luiza, por sempre estar ao meu lado quando mais preciso, me ajudando da forma que pode. E a minha sobrinha afilhada, Maria Júlia, por ser tão amorosa comigo. Obrigada por me dizer que sabe fazer um TCC e me ajudar, digitando uma linha deste trabalho. Você é uma criança incrível! Eu te amo.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu cachorro, Otto. Meu filho de quatro patas. Você é um presente que trouxe muita coisa boa para minha vida. Pensei em você sempre que me questioneei se valeria à pena tudo isso. A minha ausência ainda vai nos proporcionar muitas coisas boas. Saiba que o meu amor por você é imenso.

Agradeço à minha família, que sempre me incentiva e torce por mim. A minha tia, Vanda, minhas primas Verônica, Valonia e em especial Valéria, por ter me acolhido nesta jornada longe de casa. Você foi fundamental pra que eu chegasse até aqui. Gratidão também à minha prima Thaynara, por todo o apoio que me deu neste último semestre. Obrigada por ouvir minhas dúvidas mesmo que na maioria das vezes não conseguisse me ajudar, a atenção já é suficiente. Sou muito grata por tê-las comigo. Aproveito ainda para agradecer ao meu sobrinho, Joaquim, pelo apoio emocional. Desde que nasceu, tem sido a minha terapia aqui em São Luís. O carinho que recebo de você, faz meus dias muito mais alegres.

Às minhas amigas, Alana, por me apoiar em tudo, principalmente no ano passado. Se não fosse você, talvez eu não estivesse voltado em 2023 e não estaria me formando agora. E à minha amiga, Yana, por estar presente em boa parte desta trajetória e compartilhar momentos bons e ruins da vida comigo. Ter a amizade de vocês fez com que este percurso fosse mais leve e divertido. Obrigada por tudo.

À minha orientadora, Fernanda Oliveira, por se propor a me orientar em minha pesquisa. Obrigada pelo seu tempo, atenção e esforço em compreender e sanar as minhas dúvidas. Além de me incentivar a seguir no caminho da minha pesquisa. Sua orientação foi essencial para que eu pudesse desenvolver e finalizar este trabalho.

“O sucesso é uma viagem, não um ponto de destino.”

Ben Sweetland

## RESUMO

A indústria da construção civil é responsável por grande parte dos impactos ambientais, devido à geração excessiva de resíduos e ao elevado consumo de energia, especialmente para proporcionar conforto térmico nas edificações. Para minimizar esses efeitos negativos, é necessário adotar práticas mais sustentáveis e eficientes que utilizem os recursos naturais de maneira consciente. Esta pesquisa investiga o sistema construtivo em painéis de Poliestireno Expandido (EPS) com o objetivo de identificar fatores que contribuem para sua eficiência energética e analisar a viabilidade desse sistema em São Luís – MA. Para isso, considera-se o desempenho térmico, avaliado com base nos parâmetros de transmitância, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar, conforme as normas brasileiras NBR 15220-1, 15220-2, 15220-3 de 2005, 15575-1:2024 e 15575-4:2021. A investigação é conduzida por meio de revisão documental, incluindo livros, artigos científicos e acadêmicos, teses e dissertações dos principais bancos de dados. Os resultados mostram que a implementação do método de construção com placas de EPS, revestidas com telas de aço eletrossoldadas e argamassa estrutural, é viável para a cidade de São Luís, uma vez que o desempenho térmico demonstrou ser adequado e superior ao do sistema construtivo em alvenaria convencional. Além disso, a pesquisa esclarece concepções fundamentais sobre o sistema monolítico em EPS, destacando aspectos que o alinham com ideais de construção sustentável. Dessa forma, o estudo contribui para uma reflexão sobre a importância de alternativas inovadoras e energeticamente eficientes como padrão para edificações, e incentiva pesquisas posteriores.

**Palavras-chave:** Sistema construtivo em EPS. Eficiência energética. Desempenho térmico.

## ABSTRACT

The construction industry is responsible for a large part of environmental impacts, due to excessive waste generation and high energy consumption, especially to provide thermal comfort in buildings. To minimize these negative effects, it is necessary to adopt more sustainable and efficient practices that use natural resources consciously. This research investigates the construction system using Expanded Polystyrene (EPS) panels with the objective of identifying factors that contribute to its energy efficiency and analyzing the viability of this system in São Luís – MA. For this, thermal performance is considered, evaluated based on the parameters of transmittance, thermal capacity, thermal delay and solar factor, in accordance with Brazilian standards NBR's 15220-1, 15220-2, 15220-3 of 2005, 15575-1:2024 and 15575-4:2021. The investigation is conducted through document review, including books, scientific and academic articles, theses and dissertations from the main databases. The results show that the implementation of the construction method with EPS plates, covered with electrowelded steel mesh and structural mortar, is viable for the city of São Luís, since the thermal performance demonstrated to be adequate and superior to that of the construction system in conventional masonry. Furthermore, the research clarifies fundamental concepts about the monolithic EPS system, highlighting aspects that align it with sustainable construction ideals. In this way, the study contributes to a reflection on the importance of innovative and energy-efficient alternative as a standard for buildings, and encourages further research.

**Key words:** EPS Construction system. Energy efficiency. Thermal performance.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Estrutura do EPS.....	25
<b>Figura 2</b> – Armazenamento dos painéis.....	26
<b>Figura 3</b> – Fundação do tipo Radier.....	29
<b>Figura 4</b> – Montagem dos painéis na obra.....	31
<b>Figura 5</b> – Painéis montados.....	31
<b>Figura 6</b> – Alinhamento dos painéis.....	32
<b>Figura 7</b> – Reforços em U, L e liso.....	33
<b>Figura 8</b> – Instalações elétricas e hidrossanitárias fixadas à malha.....	34
<b>Figura 9</b> – Camadas do revestimento.....	36
<b>Figura 10</b> – Concretagem da laje.....	37
<b>Figura 11</b> – Zona bioclimática 8.....	48

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Tipos de EPS.....	24
<b>Quadro 2</b> – Nível mínimo de aceitação para paredes externas.....	41
<b>Quadro 3</b> – Revisão Sistemática de Literatura.....	43
<b>Quadro 4</b> – Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 8.....	48
<b>Quadro 5</b> – Propriedades térmicas.....	49
<b>Quadro 6</b> – Valores de resistências.....	50
<b>Quadro 7</b> – Resistências térmicas $R_t$ e $R_T$ dos componentes.....	51
<b>Quadro 8</b> – Avaliação do desempenho térmico.....	54

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Consumo energético do setor residencial.....	21
<b>Gráfico 2</b> – Transmitância térmicas dos sistemas analisados.....	55
<b>Gráfico 3</b> – Capacidade térmica dos sistemas analisados.....	56
<b>Gráfico 4</b> – Atraso térmico dos sistemas analisados.....	57
<b>Gráfico 5</b> – Fator solar de elementos opacos dos sistemas analisados.....	58

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIB	Produto Interno Bruto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
EPS	Expanded Polystyrene (Poliestireno Expandido)
NBR	Norma Brasileira
MA	Maranhão
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
INMETRO	Instituto Brasileiro de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
MCMV	Minha Casa Minha Vida
Procel	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
LEED	Liderança em Energia e Design Ambiental
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
PET	Polietileno Tereftalato
PVC	Cloreto de Polivinila
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
IPT	Instituto de Pesquisa Tecnológica
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
N/mm <sup>2</sup>	Newton por milímetro quadrado
cm	Centímetro
VOCs	Compostos Orgânicos Voláteis
CFCs	Clorofluorcarbonetos
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ASHRAE	Associação Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Condicionamento de Ar
KJ/(m <sup>2</sup> .K)	Quilojoules por metro quadrado por Kelvin
W/(m <sup>2</sup> .K)	Watts por metro quadrado por Kelvin

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1 Objetivos.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Justificativa .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>16</b>
<b>2 EFICIÊNCIA ENÉRGICA E DESEMPENHO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>17</b>
<b>3 SISTEMA CONSTRUTIVO MONOLÍTICO EM EPS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Aspectos técnicos.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 Processo de execução .....</b>	<b>29</b>
3.2.1 Fundação.....	29
3.2.2 Montagem dos painéis .....	30
3.2.3 Impermeabilização.....	34
3.2.4 Instalações elétricas e hidrossanitárias .....	34
3.2.5 Esquadrias.....	35
3.2.6 Revestimento .....	36
3.2.7 Laje e cobertura .....	37
<b>3.3 Impacto ambiental.....</b>	<b>38</b>
<b>4 NORMAS REGULAMENTADORAS.....</b>	<b>39</b>
<b>5 METODOLOGIA.....</b>	<b>42</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>6.1 Clima da cidade de São Luís – zona bioclimática 8.....</b>	<b>48</b>
<b>6.2 Avaliação do desempenho térmico .....</b>	<b>50</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem se consolidado como um setor importante da indústria brasileira, representando cerca de 6% do Produto Interno Bruto (PIB) e aproximadamente 4% das atividades industriais do país, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). Com a expansão da industrialização, o ramo da construção precisa constantemente repensar suas estratégias construtivas para permanecer competitivo em um mercado crescente, considerando não apenas os aspectos econômicos, mas também os impactos ambientais gerados.

Os profissionais da construção civil têm se dedicado a encontrar um equilíbrio entre o que é socialmente aceitável, economicamente possível e ecologicamente sustentável. Esse equilíbrio é frequentemente descrito em termos da “*triple bottom line*”, que abrange as dimensões ambiental, social e econômica do desenvolvimento sustentável. Como resultado, foram criados métodos para avaliar, classificar e certificar projetos de construção que adotam práticas sustentáveis, com um foco especial na eficiência energética durante as fases de projeto e operação (Sá, 2022).

Na busca por soluções menos prejudiciais ao meio ambiente na construção civil, uma alternativa inovadora e promissora tem se destacado: o sistema construtivo monolítico em Poliestireno Expandido (EPS). Enquanto os métodos convencionais de construção são caracterizados por altos custos energéticos, vasta quantidade de mão de obra, prazos mais longos e um grande impacto ambiental devido à produção excessiva de resíduos e ao consumo elevado de água (Gomes J; Oliveira; Gomes O, 2021). Este método que utiliza painéis monolítico de EPS, apresenta-se como uma solução inteligente e sustentável para a necessidade crescente de edificações energeticamente eficientes. As propriedades do EPS garantem um bom desempenho térmico, o que contribui para a eficiência energética. Assim, este sistema representa uma evolução significativa em resposta aos desafios atuais de construção sustentável.

Nesse contexto, é imprescindível investigar as características, benefícios e potenciais aplicações desse sistema construtivo inovador. Diante disso, este estudo se propõe a explorar o sistema construtivo monolítico em EPS com foco em seu comportamento em relação as variações de temperatura. Ele irá analisar o desempenho térmico do sistema, através de parâmetros como o atraso térmico, transmitância, capacidade térmica e fator solar, e comparar com o sistema construtivo em alvenaria convencional. De acordo com Genol (2021), o sistema construtivo em EPS é composto por telas de aço eletrossoldadas em conjunto com o EPS, um

plástico celular rígido derivado do petróleo. Esse material é convertido em partículas de até 3 milímetros de diâmetro após sua expansão por meio do gás pentano, resultando em uma composição de 98% de ar e apenas 2% de poliestireno como material sólido.

Segundo Ruiz (2014), a indústria da construção ocupa uma posição proeminente entre as atividades econômicas que mais prejudicam o meio ambiente, um dos principais fatores é o fato de que requer uma das maiores demandas energéticas do mundo. No cenário brasileiro, Dorigo, Pinto e Santos (2010), destacam a significativa contribuição do setor construtivo para problemas relacionados ao esgotamento de recursos naturais, o que ressalta a urgência de transformações no processo construtivo.

## 1.1 Objetivos

Esta pesquisa tem por objetivo estudar o sistema construtivo monolítico em EPS, destacando o seu desempenho térmico. Assim, será possível incentivar através de informações e conhecimentos, a adoção de práticas modernas mais eficientes. A partir desse objetivo geral, pretende-se:

- a) Verificar a eficiência energética do sistema construtivo em painéis de EPS, através da capacidade de proporcionar conforto térmico e reduzir o consumo de energia;
- b) Avaliar a viabilidade do sistema construtivo em EPS para habitações em São Luís – MA em termos de desempenho térmico, com base na NBR 15575-4 e NBR 15220 partes 3 e 4;
- c) Realizar uma análise comparativa entre os sistemas construtivos em EPS e de alvenaria convencional, considerando aspectos climáticos específicos de São Luís.

Esta monografia não abordará aspectos estruturais detalhados dos sistemas construtivos em EPS. Além disso, a avaliação da viabilidade do sistema construtivo em EPS será exclusivamente técnica, sem considerar aspectos econômicos ou sociais. A pesquisa se concentrará no desempenho térmico e na eficiência energética do sistema em EPS, excluindo outros sistemas construtivos ou materiais alternativos não mencionados nos objetivos específicos.

## 1.2 Justificativa

A relevância deste estudo deve-se a análise do sistema construtivo em EPS sob uma nova perspectiva, que é a sua capacidade de reduzir custos operacionais associados ao consumo de energia e a otimização do uso de recursos naturais, promovendo um ambiente interno mais confortável e saudável aos ocupantes. Enquanto a construção civil representa uma parcela significativa da atividade econômica do país, ela também pode exercer uma influência considerável sobre o meio ambiente. Portanto, torna-se imperativo examinar alternativas que não apenas atendam às necessidades habitacionais, mas se alinhem aos objetivos mais amplos de sustentabilidade.

Outro aspecto é a necessidade de compreender a importância do conforto térmico nas edificações, especialmente diante das variações climáticas significativas presentes em diferentes regiões do Brasil. Ao considerar a segurança e o conforto como aspectos fundamentais para uma moradia adequada, torna-se essencial abordar questões relacionadas ao isolamento térmico das construções. Nesse contexto, a variedade de materiais disponíveis para a vedação de paredes, representa uma oportunidade para avaliar as características específicas de cada opção e selecionar aquela que melhor se adapta às demandas do ambiente interno das residências e edificações. Em particular, esta pesquisa se restringe ao cenário de São Luís - MA, onde as elevadas temperaturas diurnas têm um impacto significativo no conforto térmico dos ocupantes.

Na indústria da construção civil, o consumo de energia elétrica é essencial para atender às necessidades de conforto dos usuários, incluindo aspectos térmicos, luminosos e o funcionamento de equipamentos de circulação, além de dispositivos de comunicação. A eficiência energética está diretamente ligada a esses padrões de consumo, que envolve aspectos culturais, hábitos e considerações fisiológicas. Esses fatores são fundamentais para a concepção do projeto arquitetônico. Como um dos maiores consumidores de energia globalmente, o setor enfrenta um desafio significativo: melhorar a eficiência energética durante e após a construção. Há uma crescente discussão sobre medidas para reduzir o consumo de energia nessa área, que visam o desenvolvimento de produtos sustentáveis e construções tecnológicas ecoeficientes.

De acordo com Baltar, Kaehler e Pereira (2006), é de suma importância envolver os recursos naturais disponíveis ao projetar e construir edifícios, para contribuir de forma eficaz e possibilitar o máximo de conforto térmico ambiental. É importante que arquitetos, engenheiros e construtores considerem cuidadosamente recursos como a proteção contra insolação, uso de materiais com inércia térmica, ventilação adequada e aproveitamento da luz

solar, afim de criar edificações que se integrem harmoniosamente ao ambiente natural e proporcionem um ambiente saudável e confortável para as pessoas. A maioria das construções são construídas com materiais pesados, como concreto, sem proteção adequada contra o calor do sol. São projetadas e executadas desconsiderando esses recursos naturais, o que leva não apenas a um desconforto para os ocupantes, mas também resulta em um consumo desnecessário de energia para resfriamento ou aquecimento dos espaços habitados.

Em concordância, Rodrigues (2015), afirma que muitas construções contemporâneas, por não considerarem adequadamente os recursos naturais disponíveis, são predominantemente erguidas com concreto, desconsiderando medidas de proteção contra insolação e inércia térmica, e negligenciando a incorporação de recursos valiosos como terra e vegetação, entre outros. Essa prática nem sempre oferece conforto térmico mínimo para os ocupantes, além de contribuir para um exagerado consumo de energia.

Ao considerar a necessidade iminente de integrar as construções com o meio ambiente, o sistema monolítico em Poliestireno Expandido se destaca como uma estratégia criativa. Para Bertoldi (2020), o uso de painéis com núcleo de EPS, revestido com telas de aço representa um avanço significativo na construção sustentável. Este método pré-fabricado, de componentes leves, oferece resistência suficiente para suportar os esforços exigidos pela obra e promove o racionamento no uso de materiais. Em construções com EPS, as paredes são formadas por painéis sanduiches, com o Poliestireno Expandido (conhecido popularmente no Brasil como isopor) no núcleo e telas de aço galvanizado eletrossoldadas nas faces, posteriormente revestidas com argamassa. Esse sistema monolítico se destaca pela máxima resistência estrutural e pelo seu excelente desempenho térmico, que reduz o fluxo de calor e diminui a carga térmica na parte interna da construção.

### **1.3 Estrutura do trabalho**

A monografia está organizada em cinco capítulos. Inicialmente, é fornecida uma introdução que contextualiza o tema, analisa o problema, estabelece os objetivos do trabalho, justifica a relevância da pesquisa e apresenta um resumo da metodologia utilizada. O segundo capítulo consiste no referencial teórico, onde contém de forma detalhada os principais conceitos e informações que irão nortear o trabalho.

A metodologia, terceiro capítulo deste estudo, detalha os critérios considerados para o desenvolvimento do trabalho e explora as condições climáticas da cidade de São Luís. Além disso, informa o tipo de pesquisa, sua natureza, base de dados utilizada, entre outras

informações. No quarto capítulo, é feita uma recapitulação, síntese e conclusões dos principais pontos discutidos, incluindo outros autores. E ainda, é onde será feita a análise do desempenho térmico a partir das propriedades determinadas. Por último, nas considerações finais, destaca-se os pontos cruciais do trabalho, avalia-se o alcance dos objetivos e apresenta sugestões de melhorias para possíveis pesquisas futuras.

## **2 EFICIÊNCIA ENÉRGICA E DESEMPENHO TÉRMICO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Nas últimas décadas, o setor elétrico brasileiro foi fortemente influenciado pelo governo e caracterizado pelo uso de tarifas inferiores às praticadas internacionalmente. Isso resultou em uma falta de incentivo para reduzir o consumo ou aumentar a eficiência dos processos. Consequentemente, a preocupação com o conforto térmico na indústria da construção civil no Brasil tem sido limitada. No entanto, mudanças recentes provocaram um aumento considerável no interesse pela redução do consumo e pelo uso eficiente da energia elétrica. Como resultado, observa-se um número crescente de programas e iniciativas para promover uma conscientização renovada, juntamente com a implementação de medidas práticas para o uso eficaz da energia (Baltar; Kaehler; Pereira, 2006).

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE Edifica) desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), é um dos programas governamentais de incentivo a eficiência energética que classifica as edificações, fornecendo uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (Ence) a condicionadores de ar, lâmpadas fluorescentes compactas, eletrodomésticos, veículos leves e outros equipamentos. A classificação é feita em cinco níveis, do nível A ao E, sendo o A o mais eficiente e o E o menos eficiente. Assim como o PBE, o Minha Casa Minha Vida (MCMV) inclui critérios de sustentabilidade e eficiência energética nas novas construções de habitações populares, incentivando a adoção de tecnologias mais eficientes.

Além do PBE e MCMV, o Selo Procel Edificações é emitido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), que reconhece edificações que adotam práticas eficientes em termos energéticos. Assim como as iniciativas governamentais, algumas construções buscam certificações internacionais como *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) e Alta Qualidade Ambiental (AQUA), que indicam o compromisso das edificações com a eficiência energética e práticas sustentáveis. No Brasil, os critérios de desempenho térmico e eficiência energética em edificações são regulamentados

pela ABNT NBR 15575 (2013) e NBR 15220 (2005), para garantir padrões elevados na indústria construtiva.

A crescente preocupação com a eficiência energética teve origem durante os choques do petróleo ocorridos em 1973-1974 e 1979-1981. Esses eventos levaram à percepção da escassez desse recurso, resultando no aumento dos preços dos combustíveis e incentivando a implementação de medidas para conservação e uso mais eficiente dos derivados do petróleo. Paralelamente, iniciou-se uma corrida em direção à diversificação da matriz energética, visando uma maior segurança no fornecimento de energia para atender a demanda (Brasil, 2011).

Na era da globalização e da economia competitiva, empresas enfrentam a pressão de otimizar eficiência operacional. A utilização eficaz da energia elétrica não apenas economiza custos, mas também reduz impactos ambientais, melhora ambientes de trabalho e processos produtivos. A crise do petróleo nos anos 70 alertou para a necessidade de fontes de energia alternativas, tornando essencial a gestão racional da energia. Com os avanços tecnológicos, empresas agora focam em reduzir consumo elétrico em edifícios, mantendo conforto para ocupantes e eficácia operacional (labEEE, 2023).

Após a crise de energia de 2001, o Brasil promulgou a Lei nº 10.295, que instituiu a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A lei foi regulamentada pelo Decreto nº 4.059, que estabeleceu a criação de níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, tanto para máquinas e aparelhos quanto para edificações no país. Destacou ainda, a necessidade de indicadores técnicos e regulamentação específica. Para cumprir essas exigências, foi criado um Grupo Técnico para Eficientização de Energia na Edificação, com o objetivo de propor regulamentações para as edificações construídas no país, visando o uso racional da energia elétrica. Até esse momento, não havia no país uma legislação específica sobre eficiência energética em habitações (Brasil, 2001).

Segundo Fossati e Lamberts (2010), o setor de construção avançou significativamente no que diz respeito à eficiência energética, e hoje dispomos de meios para avaliar esse progresso. Para os consumidores interessados em adquirir imóveis com tais características, a viabilidade econômica é um ponto relevante. Contrariamente à percepção comum, uma residência construída com foco na eficiência energética não implica necessariamente em custos substancialmente mais elevados. Na verdade, o acréscimo de despesas não chega a 5% em comparação com uma casa convencional e, em muitos casos, pode até ser mais econômico.

Essa nova abordagem, evidenciada por programas e iniciativas, aplicada também ao ramo da construção civil, tem o intuito de reduzir o consumo de energia e assegurar o

conforto térmico nas edificações durante todas as estações. O conforto térmico está relacionado a satisfação dos usuários com o ambiente térmico, por isso é uma prioridade ao desenvolver qualquer projeto nesse campo. Assim, a eficiência energética da construção emerge como uma estratégia essencial para solucionar esse problema, utilizando a energia de forma consciente, proporcionando um ambiente habitável e agradável. Conforme Carlo (2008), a eficiência energética é incorporada nos projetos de construção para otimizar o consumo, evitando desperdícios, ao mesmo tempo em que mantém os serviços essenciais para a saúde, segurança, conforto e produtividade dos ocupantes.

Para o Terceiro Plano Anual de Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL, 2020), a promoção da eficiência energética é um vetor impulsionador de avanço nos âmbitos técnico, econômico, ambiental e social do país, promove o uso racional dos recursos naturais e assegura a estabilidade no setor energético. Investir em iniciativas de eficiência energética oferece diversas vantagens. Adotar o uso consciente das fontes energéticas permite reduzir o consumo e, conseqüentemente, os custos de operação. O desenvolvimento de tecnologias mais eficientes eleva a competitividade industrial, beneficia os consumidores e contribui para a diminuição de impactos ambientais.

Os principais pontos que influenciam a eficiência energética de uma construção são a envoltória do imóvel, a iluminação e o condicionamento de ar. Na construção civil, uma abordagem integrada da eficiência energética, considera o ciclo de vida da edificação, desde o projeto, operação e eventual desocupação.

De acordo com Montes (2016), a fim de analisar o impacto ambiental associado ao ciclo de vida de produtos e serviços, surge a prática da Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida (ACV). Seu propósito é compreender os impactos ambientais relacionados aos produtos e serviços, abrangendo desde a fabricação até a disposição final. Essa abordagem é fundamentada nos princípios e estrutura estabelecidos pela norma ISO 14040 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida (ABNT, 2009a), bem como nos requisitos e orientações fornecidos pela norma ISO 14044 - Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida (ABNT, 2009b). A ACV concentra-se tanto nos aspectos ambientais quanto nos impactos ambientais potenciais. Além de ser empregada para avaliações comparativas do desempenho ambiental de produtos, serve como suporte na tomada de decisões.

Segundo Tavares (2006), a ACV não é tão eficiente em termos de custo e tempo para avaliar impactos significativos, como a emissão de gases do efeito estufa, sendo mais indicado a Avaliação do Ciclo de Vida Energético (ACVE). Montes (2016) concorda e complementa, afirmando que a ACVE em edificações é valiosa para desenvolver estratégias de

redução no consumo de energia primária e controle de emissões, pois permite a identificação das fases com maior demanda e a formulação de diretrizes. Na Avaliação do Ciclo de Vida Energético são consideradas todas as contribuições relacionadas ao uso da energia ao longo do ciclo de vida de um edifício, abrangendo as fases de fabricação, uso e demolição.

Na análise do ciclo de vida energético, a energia incorporada refere-se a fase de construção física do edifício, incluindo a energia contida em todos os materiais inicialmente empregados na construção. Isso envolve a energia consumida na aquisição das matérias-primas, que compreende a escavação, manufatura e transporte até o local da obra, a energia utilizada durante o processo de construção, manutenção e reabilitação do edifício. A energia incorporada divide-se em duas categorias: inicial e recorrente. A incorporada inicial considera a energia empregada durante a construção, incluindo a geração de resíduos e a energia contida nos materiais iniciais, já a incorporada recorrente, está relacionada a energia empregada na aquisição, manufatura e transporte de materiais utilizados na manutenção e substituição de elementos com vida útil inferior à do edifício. Assim, a energia incorporada total em uma edificação representa a soma das energias inicial (fase de pré uso) e recorrente (fase de uso) (Ramesh; Prakash; Shukl, 2010).

Para Montes (2016), a quantidade de energia incorporada está intrinsecamente ligada as escolhas de materiais, as fontes de energia primária e a eficiência do processo de conversão na fabricação de materiais e produtos para uso em edifícios. Estratégias para minimizar a energia incorporada em residências são destacadas por autores como Rossi, Marique e Reiter (2012), e abrangem a seleção de materiais com baixo consumo energético, projeto de estruturas mais leves e eficientes para reduzir o consumo de materiais, a preferência por materiais reciclados ou reutilizáveis, a escolha de reformas em vez de demolição e o uso de materiais locais.

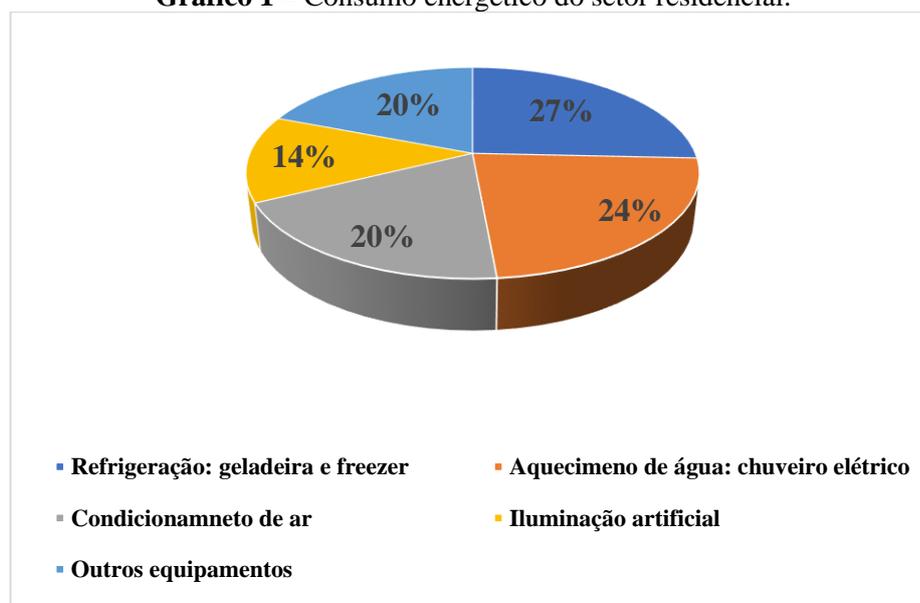
Além da energia incorporada recorrente, a fase de uso inclui também a energia operacional. Ramesh, Prakash e Shukla (2010), associam a energia operacional a maior parte do consumo em edificações convencionais, especialmente em regiões com climas mais extremos, podendo variar em locais com climas moderados. Refere-se à energia consumida durante a utilização do edifício, englobando o funcionamento de eletrodomésticos, aquecimento e resfriamento dos ambientes e processos de cocção.

O consumo energético em edificações pode ser categorizado em fontes primárias e secundárias. Diversas pesquisas apresentam divergências quanto à classificação da energia operacional, em ser considerada como primária ou de uso final. No entanto, na maioria dos estudos em ACV, é mais frequente considerar a energia operacional como primária, mantendo-

a constante ao longo da vida útil do edifício. Essa abordagem tem suas limitações quanto à sua adequação, pois não considera influências significativas, como mudanças climáticas e o comportamento do usuário (Montes, 2016).

De acordo com dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE – Brasil, 2015), a principal fonte energética do setor residencial é o uso da eletricidade destinada a eletrodomésticos e equipamentos, representando 45,8% e um consumo médio estimado em 179 kWh/domicílio/mês. As informações acerca do uso final de energia elétrica nesse setor apresentam discrepâncias e estão sujeitas a variáveis como renda, número de ocupantes e comportamento dos usuários. Além disso, tendências atuais e características culturais também influenciam no consumo. O gráfico 1 apresenta o uso final do consumo de energia elétrica no setor residencial brasileiro.

**Gráfico 1** – Consumo energético do setor residencial.



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Na etapa final, denominada pós-uso, inclui-se a energia necessária para a desconstrução, que envolve atividades como demolição, transporte de resíduos para aterros e, possivelmente, reciclagem de materiais com o transporte até plantas de reciclagem. Ao direcionar materiais reciclados para novos sistemas, é possível mitigar parte da energia incorporada durante a desconstrução (Montes, 2016). Apesar de não haver um consenso geral, estudos indicam que as economias obtidas com a reciclagem ou reuso de materiais de demolição geralmente não são consideradas na ACVE (Ramesh; Prakash; Shukla, 2012).

Sartori e Hestnes (2007), realizaram pesquisas de campo onde observaram que as necessidades energéticas relacionadas à construção, demolição e transporte desses materiais representavam um valor insignificante ou aproximadamente 1% do ciclo de vida da edificação. Devido a essa razão, esses processos são às vezes desconsiderados ou simplificados, mas não há um consenso geral sobre essa prática. Em todas as fases, é crucial ter dados relativos ao consumo energético do transporte.

Na construção civil, o conceito de desempenho térmico reflete a reação da edificação aos elementos climáticos específicos da região em que está situada. A envoltória do edifício, encarregada de separar os ambientes interno e externo, representa um papel crucial na eficiência térmica da construção. Os elementos arquitetônicos e as propriedades termofísicas dos materiais exercem uma influência significativa nos fluxos de energia (Gonçalves, *et al.* 2004). O comportamento térmico diz respeito ao desempenho dos componentes da edificação, incluindo a envoltória, vedação e cobertura. O isolamento térmico das vedações é determinado pela média ponderada das resistências térmicas dos elementos constituintes, como paredes, esquadrias translúcidas, esquadrias transparentes e cobertura. A vedação e a cobertura dependem da transferência de calor entre os ambientes internos e externos.

Conforme a ABNT NBR 15220-3 (2005), a análise do desempenho térmico de uma construção pode ocorrer tanto durante a fase de projeto quanto após a conclusão da obra. Quando se trata da construção existente, a avaliação pode ser realizada por meio de medições *in loco*, de temperatura interna e externa, umidade relativa do ar, fluxo de calor, entre outras variáveis que representam o desempenho. Na fase de projeto, essa avaliação pode ser conduzida através de simulações computacionais ou pela verificação da conformidade com diretrizes construtivas.

Bezerra (2003) explica que uma edificação absorve calor do ambiente externo por meio de processos de transferência de calor (convecção e radiação). A temperatura externa da superfície aumenta em relação à temperatura inicial. Devido a diferença de temperatura entre as superfícies interna e externa, ocorre um fluxo de calor por condução da face mais quente para a mais fria. A intensidade desse fluxo depende de vários fatores, incluindo a espessura da parede, a capacidade térmica do material, sua densidade e a condutividade térmica. Como resultado dessa elevação da temperatura, há um fluxo de calor da superfície interna da parede para o ambiente interno, por meio da radiação e convecção. A intensidade de fluxo de calor através da parede é influenciada pela condutividade térmica do material da edificação. Materiais de baixa densidade como é o caso do Poliestireno Expandido, possuem menor condutividade térmica, em razão principalmente da porosidade. O ar presente dentro dos poros atrapalha a

fluxo de calor, mantendo uma menor temperatura dentro do ambiente, deixando-o mais confortável.

Em seu estudo, Bezerra (2003) realizou uma análise experimental do desempenho térmico do sistema construtivo de vedação feita com EPS como agregado graúdo do bloco de concreto leve e comparou ao desempenho do sistema construtivo em concreto comum, constatando-se a viabilidade em termos de desempenho térmico do uso de blocos adicionados de Poliestireno Expandido. Os mesmos autores realizaram outra pesquisa computacional e experimental pra analisar os resultados obtidos do sistema com EPS e comparar com o sistema construtivo convencional de alvenaria em blocos cerâmicos. Os resultados mostraram uma diferença de carga térmica de cerca de dez vezes entre ambos os sistemas, comprovando a eficiência em relação ao conforto térmico do método de blocos de concreto leve e sua superioridade em relação ao método convencional analisado.

### **3 SISTEMA CONSTRUTIVO MONOLÍTICO EM EPS**

De acordo com a Associação Brasileira de Poliestireno Expandido (ABRAPEX, 2017), o Poliestireno é um polímero sintético que pertence ao grupo das resinas termoplásticas e sua viscosidade pode ser modificada de acordo com a temperatura. Quando exposto a uma certa quantidade de calor, sua viscosidade aumenta, tornando-o mais fácil de moldar. Existem diversas variações de Poliestireno, incluindo o Polietileno Tereftalato (PET), Cloreto de Polivinila (PVC), Polipropileno (PP) e diferentes tipos de polietileno, como alta e baixa densidade e baixa densidade linear. O Poliestireno (PS) é especialmente notável dentro deste grupo devido às suas características especiais que permitem uma ampla variedade de aplicações, desde a produção de embalagens até usos mais específicos, como na construção civil.

Ainda segundo a ABRAPEX (2017), o processo de transformação física do poliestireno expandido acontece sem que haja alterações em sua composição química e ocorre em três fases: pré-expansão, armazenamento intermediário e moldagem. Durante a pré-expansão, o poliestireno é exposto à água e vapor, resultando em um aumento de cerca de 50 vezes o seu tamanho e formando os flocos de PS granulado. Em seguida, o granulado de EPS é estabilizado por resfriamento, criando uma cavidade interna preenchida pelo ar circundante. Na fase de moldagem, o granulado estabilizado é colocado em moldes e exposto novamente a água e vapor, causando um novo inchaço no material. As pérolas de EPS são comprimidas pelas paredes do molde, soldando-se umas às outras. A moldagem é interrompida pelo resfriamento

rápido dos moldes com jatos de água fria, permitindo a retirada do material sem alterar sua forma original.

O resultado do processo de transformação é um material composto por 98% de ar e apenas 2% de poliestireno sólido. Em um metro cúbico de EPS, existem de 3 a 6 milhões de células fechadas, cada uma preenchida com ar, o que confere ao material propriedades únicas de isolamento térmico e acústico, particularmente em temperaturas entre -70°C e 80°C. Os produtos feitos de EPS são estáveis fisicamente, inodoros, são não poluentes e podem ser 100% reciclados, retornando ao estado original de matéria-prima (ABRAPEX, 2017).

O EPS é comercialmente oferecido em sete variantes, categorizadas com base em sua densidade. O quadro 1 contém os valores das propriedades associadas a cada tipo de EPS, de acordo com as normas correspondentes.

**Quadro 1 – Tipos de EPS**

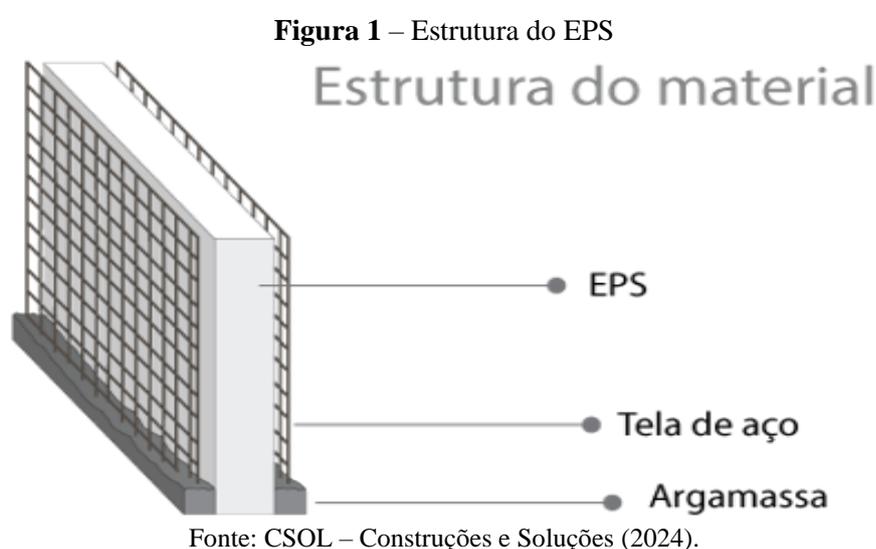
Propriedades	NORMA	UNIDADE	TIPOS DE EPS						
	MÉTODO DE ENSAIO		TIPO 1	TIPO 2	TIPO 3	TIPO 4	TIPO 5	TIPO 6	TIPO 7
Densidade Aparente Nominal	NBR 11949	Kg/m <sup>3</sup>	10	12	14	18	22,5	27,5	32,4
Densidade Aparente Mínima	NBR 11949	Kg/m <sup>3</sup>	9	11	13	16	20	25	30
Condutividade Térmica Máxima (23°C)	NBR 12094	W/m.K	-	-	0,042	0,039	0,037	0,035	0,035
Tensão por compressão c/ deformação de 10%	NBR 8082	Kg/cm <sup>3</sup>	≥0,34	≥ 0,43	≥ 0,66	≥ 0,82	≥ 1,12	≥ 1,48	≥ 1,68
Resistência Mínima à Flexão	ASTN C-203	KPa	≥ 50	≥ 60	≥ 120	≥ 160	≥ 220	≥ 275	≥ 340
Resistência Mínima ao Cisalhamento	EN 12090	KPa	≥ 25	≥ 30	≥ 60	≥ 80	≥ 110	≥ 135	≥ 170
Flamabilidade (se material classe F)	NBR 11948	-	Mat. Retard. à chama						

Fonte: Adaptado Isoeste Moldados (2021).

O Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais (SiNAT), no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), por meio da Diretriz n° 11 (2014), recomenda o uso de EPS de classe “F” na construção civil. Classe essa que possui características retardantes a propagação da chama

e, quando exposto ao fogo, contrai-se inibindo sua combustão. Dentre a classe “F”, o mais indicado é o tipo 7, que possui uma densidade aparente mínima e nominal mais elevada, resistência mínima à flexão e ao cisalhamento, e valores de condutividade térmica mais baixos.

O poliestireno expandido foi descoberto pelos químicos alemães Fritz Stastny e Karl Buchholz na *BASF*, em 1949. Entretanto, mais de 35 anos depois é que foi desenvolvida a técnica construtiva com painéis industrializados, com o núcleo de EPS e telas eletrossoldadas, conforme a Figura 1. O intuito era formar uma estrutura monolítica autoportante com capacidade acústica e que fosse indiferente a abalos sísmicos e intempéries (Paula; Teixeira, 2019).



No Brasil, o sistema construtivo foi introduzido no final da década de 1990, quando passou por uma análise rigorosa pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo (IPT), tendo sido submetido a testes e ensaios padronizados para garantir sua eficácia (Bertoldi, 2007).

Os painéis podem ser construídos no local da obra de forma manual, envolvendo o corte do EPS, a montagem da tela eletrossoldada e a aplicação do revestimento estrutural. Outra alternativa é utilizar pré-painéis industrializados com placas laminadas e malhas eletrossoldadas, simplificando o processo construtivo no canteiro de obras. Além disso, é possível adotar painéis totalmente prontos, que requerem apenas montagem no local da obra. Essa abordagem facilita a execução de projetos de construção em grande escala, como conjuntos habitacionais. Os painéis são leves, fáceis de manusear e não exigem o uso de equipamentos pesados durante o transporte (Medeiros, 2017).

Os painéis devem ser transportados e armazenados de maneira cautelosa, para evitar danos à estrutura do material. Silva (2018), menciona que os painéis são armazenados de forma

horizontal, dispostos em pilhas (Figura 2) com até 20 unidades, em um local limpo e seco. Neves e Barbosa (2023), complementam que a armazenagem requer um ambiente livre de objetos cortantes e pontiagudos, que seja coberto, ventilado, longe de umidade excessiva e fontes de calor. O armazenamento adequado preserva a qualidade do EPS e mantém a organização no canteiro de obra, além de facilitar a trabalhabilidade dos funcionários no local.

**Figura 2** – Armazenamento dos painéis



Fonte: Celere (2021).

### 3.1 Aspectos técnicos

As especificações, propriedades, detalhes técnicos e comportamento compõem os aspectos técnicos de um sistema construtivo de forma geral. Esses elementos que envolvem a parte prática e funcional estão relacionados à execução, desempenho, durabilidade, segurança, eficiência, viabilidade e outros parâmetros relevantes para o funcionamento adequado do sistema. Algumas dessas características específicas do sistema construtivo monolítico em EPS necessárias à implementação incluem:

- Propriedades do EPS - As propriedades do isopor referem-se às características físicas e químicas do material. Elas descrevem como o EPS se comporta em termos de sua estrutura, desempenho e capacidades.
- Propriedades mecânicas - Apesar de ser um material leve, com densidade variando de 10 a 30 kg/m<sup>3</sup>, o EPS apresenta alta capacidade de suportar cargas e forças mecânicas. Suas principais propriedades são: resistência a compressão, tração e à flexão. Geralmente, a resistência do material aumenta de acordo com a densidade (Souza, 2009).

Na compressão, o EPS exibe um comportamento elástico até que a deformação alcance aproximadamente 2% da espessura da placa. Nessa condição, ao remover a força aplicada, a placa retorna à sua espessura original. Se a força de compressão continuar a aumentar, o limite de elasticidade é ultrapassado, resultando em uma deformação permanente de algumas células, que permanecem intactas. Para tais aplicações do EPS, é importante selecionar a densidade apropriada para garantir que a compressão seja inferior a 1% ao longo do tempo (Magalhães *et al*, 2009). Conforme a ABNT NBR 11572:2016 através da Diretriz SiNAT nº 11 (2014), os tipos de EPS mais utilizados na construção civil, apresentam densidade mínima igual a 22 kg/m<sup>3</sup>, resistência a compressão maior que 104 KPa e deformação de 10%.

- Propriedades térmicas e acústicas - Bezerra (2003) salienta que, entender as características térmicas dos materiais de construção é o primeiro passo para analisar como o calor se move através das paredes opacas da construção. Em se tratando do poliestireno expandido, o material possui baixa condutibilidade térmica devido à sua estrutura de células fechadas preenchidas com ar. Essa estrutura celular confere ao isopor um excelente poder isolante, reduzindo significativamente a troca de calor.

A capacidade de isolamento térmico pode ser determinada pelo Coeficiente de Condutividade Térmica (CCT), que é um dos fatores que influenciam o fluxo de calor através do material. O CCT é uma medida da taxa na qual o calor é conduzido por meio de um material por unidade de área, de espessura e diferença de temperatura. O cálculo é dado pela seguinte fórmula:  $\lambda = \frac{Q}{A*L*\Delta T}$ .

Onde:

$\lambda$  é o CCT (W/m·K)

Q é a taxa de fluxo de calor (W);

A é área da superfície (m<sup>2</sup>);

L é a espessura do material (m);

$\Delta T$  é a diferença da temperatura (K).

Quanto menor o CCT melhor é a sua capacidade de isolamento térmico, pois indica que ele conduz o calor de forma mais lenta. O coeficiente do EPS é 0,04 (W/m·K) (ABRAPEX, 2006).

Ao considerar as propriedades acústicas, o material em questão não é eficiente como isolante acústico. Para utilizá-lo com essa finalidade, é necessário romper as paredes das placas de EPS, abrindo as microcélulas presentes nela. Esse processo pode ser realizado por meio de cilindragem, em que as placas são submetidas a dois cilindros, resultando em uma

abertura de aproximadamente 1/3 da espessura original das placas, ou através da compressão das placas até atingirem 1/3 de sua espessura total. Essas técnicas visam criar uma estrutura porosa no material, melhorando sua capacidade de absorção sonora e redução de ruídos (ABRAPEX, 2006).

- Absorção de água - Conforme mencionado por Souza (2009), o poliestireno expandido não exhibe propriedades higroscópicas, o que resulta em sua quase total impermeabilidade e mínima capacidade de absorção de água. Mesmo quando submerso, apenas uma quantidade insignificante de água é retida nos vazios entre as células. Além disso, o material seca prontamente, sem comprometer suas características.

O isopor possui insensibilidade à umidade e baixa absorção de água. Mesmo quando imerso em água, absorve quantidades muito pequenas de água em virtude de sua estrutura celular fechada e de sua baixa permeabilidade. Essa característica permite que o material mantenha suas propriedades térmicas e mecânicas mesmo em ambientes úmidos.

- Flamabilidade - Bertoldi (2007) destaca que o EPS não pode ser inflamado por faíscas, resíduos em brasa ou soldas elétricas. Apenas chamas acesas aplicadas diretamente no material podem provocar a propagação do fogo. De acordo com Souza (2009), o ar presente na estrutura celular do EPS contém oxigênio em quantidade insuficiente para sustentar a combustão. Para que isso ocorra, o material precisaria ter aproximadamente 130 vezes o seu volume atual. Portanto, quando o isopor é protegido por argamassa, que impede a entrada de oxigênio, não ocorrerá incêndio.

No Brasil, 100% do isopor utilizado na construção civil pertence à classe F, o qual é aditivado como retardante à chama. A finalidade é prevenir a propagação de incêndios em caso de exposição a uma fonte de ignição. O EPS dessa classe apresenta capacidade de se retrair sem entrar em combustão.

- Versatilidade - Devido à sua natureza expansível e maleável o EPS é um material altamente versátil que pode ser facilmente moldado para atender aos tamanhos e formas necessários para diferentes aplicações.
- Durabilidade - Ao longo de sua vida útil, todas as propriedades do EPS permanecem inalteradas, tornando-o tão durável quanto a própria construção onde é aplicado. Não apresenta apodrecimento ou crescimento de bolor, não é solúvel em água, não libera substâncias tóxicas ao meio ambiente e não oferece efeitos prejudiciais à saúde (ABRAPEX, 2006). É um material menos suscetível a danos causados por insetos,

roedores ou crescimento de fungos, já que não serve como alimento ou substrato para o desenvolvimento de animais ou microrganismos.

- Facilidade de transporte e manuseio - Os painéis monolíticos de EPS são bastante leves, o que torna seu transporte e manuseio no canteiro de obras bastante fácil. As operações de movimentação e fixação são significativamente reduzidas.

### **3.2 Processo de execução**

O Sistema construtivo monolítico em EPS segue um processo que começa pela fundação, assim como outros sistemas construtivos. Em seguida, ocorre a fase de montagem dos painéis de EPS, onde as paredes são erguidas e as telas são reforçadas. Após isso, realiza-se a impermeabilização e, em sequência, conclui-se as etapas de instalações elétricas e hidrossanitárias, esquadrias, revestimentos e cobertura.

#### **3.2.1 Fundação**

Para Balbino (2020), a escolha do tipo de fundação é determinada de acordo com o cálculo estrutural, levando em consideração o tipo de terreno e suas características específicas do solo. Normalmente, podem ser empregados diferentes tipos, como laje radier, sapata corrida, ou, se necessário, uma fundação especial caso as condições de sondagem do terreno ou as considerações arquitetônicas não sejam adequadas.

Conforme Medeiros (2017) e Candiracci (2014), desde que atenda aos cálculos estruturais e condições de solo, a fundação do tipo radier (Figura 3) é a mais indicada para o sistema em EPS. Por se tratar de um material leve, que não exerce uma carga significativa sobre a fundação e ainda, proporciona uma superfície plana e uniforme para instalação dos painéis. O radier é um modelo de fundação direta ou superficial, no qual distribui toda a carga da edificação de forma constante no terreno, sendo fundamentalmente uma laje contínua e maciça, com resistência característica do concreto estabelecida devido os aspectos de durabilidade e resistência estrutural. Alguns dos benefícios que se evidenciam na fundação radier são: rapidez na execução, redução de mão de obra, redução na quantidade de fôrmas de concretagem e redução máxima dos recalques diferenciais (NBR 6118 – ABNT, 2014).

**Figura 3** – Fundação do tipo Radier

Fonte: Casa NIO (2024).

Esse tipo de fundação geralmente é executada com concreto de resistência  $f_{ck} = 20$  MPa e 18 cm de espessura, considerando os parâmetros definidos em projeto. A armadura é comumente constituída por tela simples ou dupla, feita de aço galvanizado CA-60, eletrossoldada com malha de 10 cm x 10 cm (Balbino, 2020).

Antes de realizar a concretagem da fundação, são providenciadas as instalações dos sistemas hidrossanitários, elétricos, de comunicação, segurança e outros que possam afetar o radier. A tubulação é adequadamente aterrada e nivelada ao solo, garantindo a correta inserção do concreto (Monolite, 2017).

### 3.2.2 Montagem dos painéis

A fabricação dos painéis no local da obra é necessária em casos onde não há indústrias especializadas na região ou quando o transporte dos painéis se torna dispendioso, inviabilizando sua logística. Embora esse procedimento demande mais tempo, não compromete o desempenho dos painéis monolíticos de EPS. As chapas de EPS que compõem o núcleo dos painéis são laminadas de acordo com as especificações e o layout de cada projeto, garantindo sua conformidade.

Balbino (2020), menciona que as telas utilizadas devem ter uma espessura variando entre 2,1 mm e 5 mm. São fabricadas em aço de alta resistência, com tensões de tração e compressão maiores que 600 MPa. O limite de escoamento deve ser superior a 600 N/mm<sup>2</sup>, e o limite de ruptura deve ser acima de 680 N/mm<sup>2</sup>. O aço usado deve ser galvanizado a quente ou inoxidável, atendendo aos requisitos de uso e garantindo estabilidade a integridade ao longo do tempo.

Na montagem dos painéis, é necessário realizar a fixação das telas, grampos, espaçadores e placas de EPS (Figura 4). Para otimizar a produtividade e padronizar a execução, recomenda-se o uso de grampeadores pneumáticos. O arame recozido nº 18 é indicado para evitar corrosão e ruptura do conjunto, garantindo compatibilidade com o aço das telas, também conhecidas como telas pop. Dessa forma, é assegurado o controle de qualidade dos materiais utilizados no sistema (Balbino, 2020).

**Figura 4** – Montagem dos painéis na obra



Fonte: Aldeia da gente (2017).

Após a fabricação dos painéis, eles são fixados à fundação por meio de suas bases, utilizando barras de vergalhão de aço CA-50 com diâmetro de 8 a 10 mm, espaçadas a cada 30 a 50 cm (Figura 5). O ideal é posicionar pelo menos uma barra no centro de cada painel, com um engastamento mínimo de 10 cm na fundação e um transpasse mínimo de 30 cm nos painéis. As barras de aço podem ser instaladas ao mesmo tempo que a armadura de fundação ou fixadas posteriormente, fazendo furos na fundação com o auxílio de um martelo e, em seguida, fixando-as com adesivo epóxi ou selante de poliuretano para ancoragem estrutural. É importante que as barras sejam fixadas de acordo com as coordenadas e especificações do projeto (Monolite, 2017).

**Figura 5 – Painéis montados**

Fonte: AP Arquitetura (2022).

Balbino (2020), deixa claro que a fixação dos painéis nas ancoragens é realizada pelo montador utilizando a pistola grampeadora, a mesma utilizada anteriormente para fixar as telas nos blocos de EPS, por meio de grampos de aço CA60 ou arame recozido e torquês. Uma otimização do sistema de montagem pode ser alcançada por meio da numeração dos painéis. O manuseio e posicionamento dos painéis é executado por uma equipe reduzida de funcionários, o que simplifica e acelera o processo de montagem. Adicionalmente, essa abordagem elimina a necessidade de formação de grupos de trabalhos especializados.

A fim de assegurar o prumo e o alinhamento adequado dos painéis, são utilizadas régua de madeira ou metais, fixadas horizontalmente a uma distância de 2 metros da base. Escoras reguláveis são posicionadas diagonalmente para garantir a verticalidade dos painéis (Figura 6). Nos casos de pavimentos superiores, a mesma metodologia é aplicada, dispensando a necessidade de arranques de aço, uma vez que as próprias telas verticais podem desempenhar essa função (Balbino, 2020).

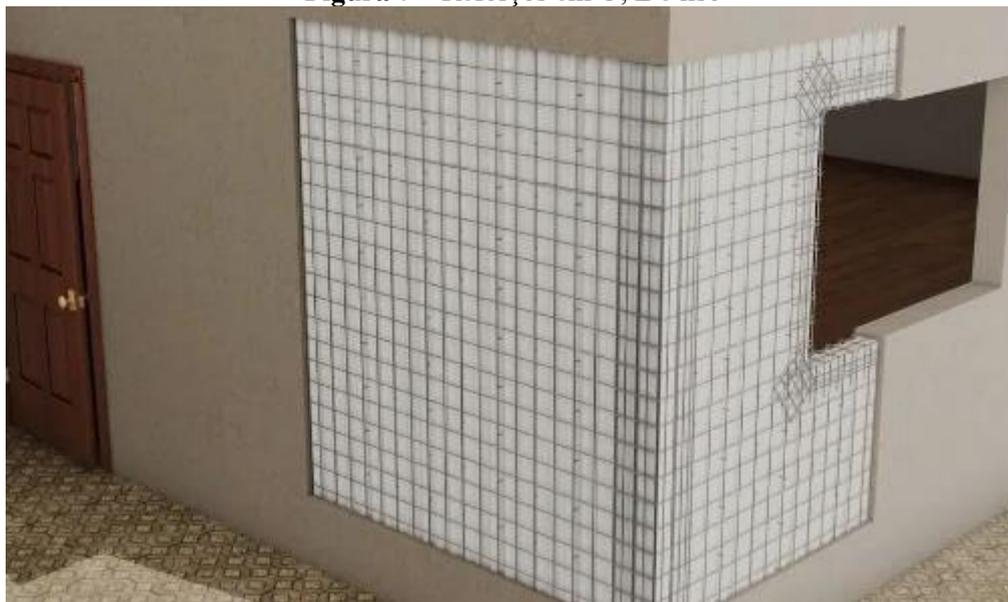
**Figura 6** – Alinhamento dos painéis

Fonte: Construtora Tavares (2022).

Após o levantamento das paredes, são feitos reforços com as próprias telas de aço galvanizado nos vãos de janelas, portas e encontro de painéis. A malha possui múltiplas funções essenciais no sistema. Ela é responsável por garantir a propriedade autoportante e desempenha um papel fundamental durante as etapas de execução do método construtivo. Além disso, permite a sobreposição na amarração entre os painéis e serve como estrutura de apoio para a instalação dos sistemas elétricos e hidráulicos (Monolite, 2017).

De acordo com Balbino (2020), o sistema utiliza três categorias de reforços feitos com malha de aço galvanizado: reforço L, reforço liso e reforço U. Esses reforços têm a finalidade de produzir uma estrutura monolítica e tratar pontos críticos da estrutura após a aplicação de argamassa nos painéis. Eles são fixados com arame recozido ou grampos galvanizados. O reforço em L é utilizado em encontros de paredes perpendiculares, cantos de paredes e paredes em formato de “T”. Já o reforço liso é usado em aberturas de portas, janelas e encontros retos de painéis, dissipando tensões nesses pontos e prevenindo fissuras. O reforço tipo “U” é aplicado em todas as aberturas de portas, janelas ou passagens, funcionando como vergas e contra-vergas, evitando que o revestimento seja diretamente aplicado no bloco de EPS e reduzindo esforços de corte e esmagamento localizados. A Figura 7 mostra os três tipos de reforços utilizados no sistema estrutural.

**Figura 7** – Reforços em U, L e liso



Fonte: Kingspan Isoeste (2024).

### 3.2.3 Impermeabilização

Balbino (2020), afirma que o sistema monolítico em EPS apresenta naturalmente características impermeáveis devido à separação das camadas de argamassa externa e interna. Isso impede que a umidade de um lado da parede penetre no outro, tornando o modelo estrutural em poliestireno expandido tanto um isolante termoacústico quanto impermeável. Mesmo sem a aplicação de impermeabilização nas paredes e mesmo se a camada externa estiver completamente molhada, a umidade não atravessará o bloco, resultando na ausência de marcas de infiltração no lado interno.

Embora o EPS não apresente características higroscópicas, é recomendado utilizar um material impermeabilizante em áreas molhadas, para evitar que a água chegue às camadas de argamassa das paredes ou adentre o piso. A presença de um núcleo impermeabilizante no sistema garante que, mesmo que em casos de falhas na impermeabilização ou no rejunte das cerâmicas, a umidade não se espalhará para os demais cômodos. Essa propriedade assegura a proteção contra a passagem de umidade e contribui para o isolamento térmico e acústico do sistema construtivo.

### 3.2.4 Instalações elétricas e hidrossanitárias

A técnica construtiva em painéis monolíticos de EPS possui como característica singular em sua produção a adequação às instalações. Para tal, todo o processo é cuidadosamente planejado antes de iniciar os serviços de projeção de argamassa para

acabamento, em conformidade com os projetos. É ainda, adotado um planejamento sequencial de execução para cada etapa da obra. As instalações elétricas e hidrossanitárias são feitas após a fixação de todos os painéis e execução dos reforços. Inicialmente, por meio da tinta spray, é feito o caminho por onde irá passar as instalações nos painéis. Para inserir as tubulações e os eletrodutos, as aberturas das cavidades são feitas através de um soprador térmico, que em contato com o ar quente, o EPS se funde facilmente (Balbino, 2020).

As saídas hidráulicas e caixas em geral para instalações elétricas devem ser fixadas nas malhas de aço e ajustadas para ficarem niveladas com a superfície final do revestimento (Figura 8). Em casos de tubos rígidos ou semirrígidos, quando necessário, a tela de aço pode ser cortada com o auxílio de um alicate. Em seguida, é preciso fechar novamente a abertura com uma tela para garantir a fixação adequada da tubulação. Para projetos de múltiplos pavimentos, é recomendado o uso de *shafts* com o objetivo de facilitar a manutenção dos sistemas elétrico e hidráulico (Monolite, 2017).

**Figura 8** – Instalações elétricas e hidrossanitárias fixadas à malha



Fonte: Isoalfa (2015).

### 3.2.5 Esquadrias

De acordo com Monolite (2017), no processo de instalação das esquadrias, é necessário realizar cortes precisos nos painéis, seguindo as medidas e locais previamente determinados no projeto. Esses cortes são feitos com o auxílio de uma serra circular e podem ser executados diretamente no canteiro de obras. Essa abordagem oferece maior flexibilidade e agilidade na adaptação das esquadrias às especificidades do projeto, permitindo uma instalação mais eficiente e personalizada.

Em relação às aberturas dos painéis nos cantos, malhas de aço são fixadas de forma oblíqua, buscando um ângulo de  $45^\circ$  com as bases dos painéis. Além disso, reforços tipo “U” são aplicados nos capiaços de cada abertura. Durante a instalação das esquadrias, é preciso fazer

a remoção de parte do EPS no local onde os chumbadores serão posicionados e reforçar o núcleo com argamassa estrutural, como recomendado por Balbino (2020). Após a conclusão do revestimento em argamassa, são colocados os batentes e caixilhos das esquadrias. Esses elementos devem ser fixados, ajustados em prumo e nível, e protegidos adequadamente contra respingos da argamassa durante a aplicação da segunda fase.

### 3.2.6 Revestimento

Conforme Balbino (2020), o processo de revestimento ocorre em duas camadas distintas. Na primeira camada (Figura 10), preenche-se a superfície do EPS com microconcreto até cobrir a tela metálica. O microconcreto tem em sua composição areia média e cimento, podendo ser adicionado de aditivos e fibras plásticas, para oferecer mais consistência e impedir a retração excessiva do revestimento. A segunda fase (Figura 9) consiste no revestimento convencional final, o reboco. Tanto o lançamento manual quanto a projeção da argamassa podem ser utilizados, sendo esta última realizada por meio de rebocadoras pneumáticas. Em ambos os casos, realiza-se o desempeno da argamassa até atingir a espessura especificada no projeto.

**Figura 9** – camadas do revestimento



Fonte: Universidade Trisul (2019).

Inicialmente, são executadas as mestras ou taliscamento, que têm como objetivo demarcar as áreas de projeção e determinar a espessura final do revestimento. Servem ainda

como apoio para a régua durante o sarrafeamento. A projeção do revestimento deve ser feita de baixo para cima, e a espessura de 3,5 cm do microconcreto é alcançada por meio de camadas sucessivas. A camada de projeção deve ter uma espessura mínima de 0,5 cm e máxima de 2,0 cm, evitando excessos e retrabalhos (Monolite, 2017).

Depois de aplicada a argamassa, o bloco de EPS adquire propriedades rígidas devido à união dos elementos EPS, telas metálicas e argamassa, resultando em uma resistência à compressão cerca de 30% superior à alvenaria de blocos cerâmicos convencionais (Barreto, 2017). No que diz respeito ao revestimento de pisos, o processo segue o mesmo padrão do sistema convencional.

### 3.2.7 Laje e cobertura

Após a aplicação da argamassa estrutural, tanto interna quanto externa, a etapa seguinte consiste na colocação da laje de cobertura ou do pavimento subsequente (Barreto, 2017). Essa execução pode ser realizada utilizando laje treliçada unidirecional, vigotas de concreto com placas de EPS, ou até mesmo laje maciça. A imagem (Figura 10) seguinte exemplifica a montagem e concretagem da laje.

**Figura 10** – Concretagem da laje



Fonte: Cimento Itambé (2018).

Balbino (2020), afirma que a construção de coberturas em casas térreas segue os mesmos princípios convencionais já conhecidos. No entanto, é possível aprimorar o processo de cobertura da edificação por meio da adoção de telhados leves, que oferecem benefícios significativos em termos de desempenho termoacústico. A estrutura para essa cobertura pode

ser fabricada de forma ágil utilizando perfis metálicos galvanizados, seguindo o layout especificado no projeto. Há também, maior estabilidade estrutural, devido a flexibilidade de fixação da estrutura à casa, por meio de parafusos ou chumbamento com argamassa.

Para as telhas, é indicado o uso de telhas termoacústicas, também conhecidas como telhas sanduíche, que são compostas por duas chapas de material metálico (zinco) e um núcleo de material isolante térmico, que pode ser o poliestireno expandido ou a espuma de poliuretano. As telhas termoacústicas são eficientes tanto em telhados embutidos quanto em telhados aparentes, sendo adequadas para projetos de diferentes escalas, sejam eles pequenos, médios ou grandes (Termotelha, 2020).

### **3.3 Impacto ambiental**

O setor da construção apresenta um elevado consumo de recursos naturais e é responsável por gerar quantidades significativas de resíduos. Segundo o Conselho Internacional da Construção (CIB, 2014), a indústria da construção é considerada a principal consumidora de recursos naturais e demanda uma grande quantidade de energia. Estimativas indicam que mais de 50% dos resíduos sólidos produzidos pelas atividades humanas estão relacionados à construção.

A necessidade de empreendimentos com custos reduzidos, juntamente com o aprimoramento e otimização de sistemas, tem impulsionado a procura por alternativas nos modelos construtivos. A busca por métodos de construção inovadores está diretamente relacionada à crescente demanda por sustentabilidade, um requisito relevante na construção civil atualmente (Balbino, 2020).

Tessari (2006) enfatiza que a busca constante por sistemas de desenvolvimento sustentável tem como resultado direto a redução da exploração de materiais primários. Isso é alcançado através da preferência por materiais reciclados e renováveis, juntamente com o aumento do foco em tecnologias limpas. Ocorre a redução do excesso de resíduos e a otimização dos recursos naturais, com o objetivo de criar condições ambientais satisfatórias para as construções. Com esse propósito em mente, destaca-se a funcionalidade do EPS.

O sistema construtivo monolítico em EPS apresenta diversas características que contribuem para um bom desempenho ambiental, como por exemplo:

- a) Eficiência energética - os painéis em EPS possuem bom desempenho térmico, o que contribui para a redução do consumo de energia relacionado ao aquecimento e

- resfriamento das construções. Isso resulta em menor demanda de energia para climatização e, conseqüentemente, na redução das emissões de gases de efeito estufa;
- b) Redução de resíduos – o sistema é fabricado sob medida, reduzindo o desperdício de materiais durante o processo de construção. Os resíduos gerados durante a fabricação podem ser reciclados e reincorporados na produção de novos painéis;
  - c) Baixa pegada de carbono – O isopor é um material leve, o que reduz a necessidade de estruturas de suporte robustas. Há um menor consumo de materiais, energia e emissões associadas à sua produção. A durabilidade dos painéis contribui para uma vida útil prolongada das edificações, minimizando a necessidade de reconstrução e diminuindo o impacto ambiental a longo prazo. Além disso, o material não libera substâncias nocivas ao meio ambiente. Mesmo em contato com o solo, o EPS não causa danos nem contamina o lençol freático;
  - d) Baixa Emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) – O EPS é um material de baixa emissão de VOCs, o que proporciona um ambiente interno mais saudável, com menor presença de substâncias tóxicas ou poluentes.

O sistema monolítico em painéis de EPS se destaca por seu baixo impacto ambiental em comparação a outros sistemas. O Poliestireno Expandido é fabricado em conformidade com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, o que significa que não possui composição tóxica ou prejudicial ao meio ambiente, incluindo a camada de ozônio, e é livre de cloro-fluorcarbonetos (CFCs). O gás presente nas células do EPS é o ar atmosférico, e sua fabricação requer baixo consumo de energia devido à sua natureza plástica e leveza. Além disso, a produção de EPS gera uma quantidade mínima de resíduos sólidos ou líquidos (ACEPE, 2009).

Para Balbino (2020), o sistema construtivo em questão é uma abordagem sustentável e inovadora, onde os resíduos são completamente recicláveis, resultando em construções mais ágeis, eficientes e econômicas. Ainda, as obras se mantêm limpas e apresentam uma reduzida produção de entulhos, especialmente em relação ao uso de formas de madeira.

#### **4 NORMAS REGULAMENTADORAS**

A Associação Americana de Aquecimento, Refrigeração e Engenharia de Condicionamento de Ar (ASHRAE) dos Estados Unidos desenvolveu normas globalmente aceitas, como a ASHRAE 55 (2004) e a EN 15251 (2007), esta última sendo uma norma europeia. Essas normas introduzem o conceito de modelo de conforto adaptativo, fundamentado

em pesquisas realizadas em edificações naturalmente ventiladas. O modelo de conforto adaptativo fundamenta-se em correlações observadas entre a sensação subjetiva de conforto relatada pelos ocupantes e a temperatura interna em várias edificações reais (Sorgato, 2009).

As diretrizes destinadas à avaliação de ambientes ventilados naturalmente devem se diferenciar das diretrizes aplicadas a edificações com sistemas de resfriamento mecânico. Sorgato (2009) justifica essa distinção pelas variações nos ajustes e expectativas dos usuários de cada edificação. Existem abordagens que estabelecem uma associação entre a temperatura de conforto no interior de uma edificação e a temperatura externa, levando em consideração a capacidade das pessoas de se adaptarem às variações sazonais e ao clima local. Como resultado, os ocupantes percebem diferentes temperaturas internas como confortáveis, influenciadas pela estação do ano e pela localização.

A *ASHRAE Standard 55* (2004) especifica condições térmicas aceitáveis em ambientes condicionados naturalmente, relacionando a zona de temperaturas de conforto apenas à média da temperatura externa, sem restrições para valores de umidade e velocidade do ar e estipula as condições térmicas para ocupação, considerando fatores ambientais e pessoais que influenciam o conforto térmico. Essa norma, baseada no modelo de trocas de calor entre o ambiente e o corpo humano, identifica quatro fatores ambientais (temperatura do ar, temperatura radiante, umidade e velocidade do ar) e dois fatores pessoais (atividade e vestimenta) como determinantes das sensações térmicas. Vale ressaltar que a aplicabilidade da *ASHRAE Standard 55* está restrita à temperatura externa média, variando entre 10°C e 33,5°C.

A *European Norm* (EN 15251, 2007), define critérios de conforto térmico em edificações, categorizando-as em três níveis: alto, normal e moderado de expectativa. Estabelece a zona de temperaturas de conforto para edifícios sem sistemas de refrigeração mecânica, considerando a média da temperatura externa da semana anterior e o efeito da velocidade do ar. Aplicável a escritórios, habitações e ocupações semelhantes, a norma permite que os ocupantes ajustem a vestimenta e controlem as aberturas de ventilação. As três faixas de temperaturas de conforto variam de 21,7 °C a 30,7 °C (90% de aceitabilidade), 20,35 °C a 31,7 °C (80% de aceitabilidade), e 19,75 °C a 32,7 °C (65% de aceitabilidade).

Atualmente, no Brasil, existem duas normas vigentes relacionadas ao desempenho térmico de edificações: a NBR 15220 (ABNT, 2005) intitulada Desempenho térmico de edificações e a NBR 15575 (ABNT, 2013) denominada Edificações habitacionais – Desempenho. Ambas definem padrões para avaliação de desempenho térmico.

A NBR 15220 (ABNT, 2005), está organizada em cinco partes que abordam as definições, símbolos, unidades, métodos de cálculo e medição das propriedades térmicas dos

componentes construtivos. Além de incluir o zoneamento bioclimático brasileiro, a norma oferece orientações para as propriedades térmicas dos elementos construtivos e estratégias de condicionamento térmico passivo, como ventilação cruzada, resfriamento evaporativo e uso de massa térmica. As paredes, coberturas e aberturas são caracterizadas termicamente por meio de resistência térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar, com recomendações específicas para o tamanho da área de ventilação e proteções contra sombreamento.

O desempenho térmico é avaliado seguindo as especificações da zona bioclimática da região específica. O zoneamento bioclimático classifica o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas, para cada uma das quais foram elaboradas diretrizes técnico-construtivas. Essas recomendações visam otimizar o desempenho térmico das edificações, levando em consideração a adaptação mais eficaz às condições climáticas de cada região. Os parâmetros e condições considerados para definir as estratégias de condicionamento térmico passivo e para elaborar diretrizes construtivas próprias para cada zona bioclimática brasileira, incluem o dimensionamento das aberturas destinadas à ventilação; mecanismos de proteção das aberturas; características das vedações externas, contendo o tipo de parede e a configuração da cobertura e a implementação de estratégias para o condicionamento térmico passivo (ABNT NBR 15220-3, 2003).

A NBR 15575 (ABNT, 2013) é composta por seis partes e aborda requisitos de habitabilidade para edificações de até 5 pavimentos, incluindo critérios de desempenho térmico destinados a assegurar condições térmicas adequadas para as atividades dos usuários dentro da habitação. Assim como a NBR 15220:2005, esta norma trata critérios como transmitância térmica, absorptância e capacidade térmica, para classificar o desempenho de componentes de paredes e coberturas em níveis mínimo (M), intermediário (I) e superior (S), com base nas zonas bioclimáticas (quadro 2). No entanto, não incorpora os parâmetros de atraso térmico e fator solar. A avaliação de desempenho térmico é realizada por meio de valores limites de temperatura do ar no interior da edificação, variando conforme os níveis, que são adaptados às diferentes zonas bioclimáticas.

**Quadro 2** – Nível mínimo de aceitação para paredes externas

<b>DESEMPENHO TÉRMICO MÍNIMO (M)</b>			
<b>Transmitância - U</b> (W/m <sup>2</sup> .K)	Zonas bioclimáticas 1 e 2	<b>Zonas bioclimática 3 a 8</b>	
	U ≤ 2,7	α ≤ 0,6	<b>U ≤ 3,7</b>
		α > 0,6	U ≤ 2,5
<b>Capacidade térmica - C<sub>T</sub></b> (KJ/m <sup>2</sup> .K)	Zonas bioclimáticas 1 a 7	<b>Zona bioclimática 8</b>	
	CT ≥ 130	<b>Sem requisito</b>	

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1:2021 (2024).

De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013), a avaliação de desempenho térmico pode ser feita através de procedimento simplificado (normativo), de simulação e/ou de medição. No procedimento normativo é verificado o atendimento aos requisitos e critérios estabelecidos para vedações verticais internas e externas, conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2005) e sistemas de cobertura (ABNT NBR 15575-5, 2005). Em casos em que a análise resultar em valores de transmitância e capacidade térmica fora dos limites de recomendação da norma, o desempenho térmico da edificação deve ser avaliado como um todo pelo método da simulação computacional. No procedimento de simulação, os critérios e requisitos devem ser atendidos mediante simulação computacional, normalmente realizada pelo programa *Energyplus*. Já para o procedimento de medição, a avaliação é feita por meio de medições em edifícios ou protótipos construídos.

## 5 METODOLOGIA

Este trabalho, de abordagem quali-quantitativa e natureza aplicada, consiste em uma revisão bibliográfica com o tema central do trabalho, Desempenho Térmico do Sistema Construtivo em Painéis de EPS, voltado a uma situação específica na cidade de São Luís – MA, avaliando como essa técnica construtiva se adapta dentro das condições climáticas locais. A análise será feita com base em procedimento simplificado normativo.

Quanto aos objetivos, a pesquisa será de caráter exploratório e descritivo. A pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, podendo dizer que estas pesquisas buscam o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições (Gil, 2002). O intuito é levantar informações e dados preliminares sobre o sistema construtivo em EPS, com foco na análise do desempenho térmico aliado a eficiência energética na construção. Busca-se explorar os elementos determinantes da eficiência energética que

influenciam o desempenho do consumo de energia, considerando parâmetros como fontes de energia e, principalmente, desempenho térmico.

Além da revisão bibliográfica, a metodologia emprega como procedimento a pesquisa de campo, através de métodos de análise de conteúdo e determinação de propriedades térmicas a partir de cálculos extraídos de dados específicos de uma habitação hipotética. Será feita uma análise do desempenho térmico da técnica construtiva discutida nesta monografia, com base nas determinações das NBR's 15220 partes 1, 2 e 3 de 2005 e 15575 parte 1 de 2024 e parte 4 de 2021. Para melhor o entendimento, os resultados serão comparados com dados do sistema construtivo em alvenaria convencional.

O estudo tem como base livros, legislações, normas, anais de evento, artigos científicos e acadêmicos (tese e dissertação), portanto, será de cunho bibliográfico. Definido por Severino (2000, p.131) como o comentário sobre o conjunto de informações devidamente selecionadas escritas por estudantes ou especialistas, em livros ou revistas sobre determinada área científica citada no trabalho.

Para realizar uma análise abrangente e detalhada sobre o sistema construtivo em painéis de Poliestireno Expandido, foram utilizadas bases de dados como BDTD (Biblioteca Digital de Teses e Dissertações), Google acadêmico e Scielo, limitando-se a um período significativo de estudos, de 2000 a 2023. O foco da pesquisa recaiu sobre documentos do tipo artigo científico, dissertação e principalmente, tese, escritos em português e inglês.

Foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão como mostra o quadro 3, detalhando a Revisão Sistemática de Literatura desenvolvida para coletar os dados bibliográficos. Para garantir a relevância dos estudos selecionados, como critérios de inclusão foram considerados trabalhos que exploram o Sistema construtivo em EPS e que se concentram nesse sistema monolítico como uma alternativa viável para habitações. Além disso, inclui-se pesquisas que abordam a Eficiência energética na construção civil, especialmente aquelas que abordam o desempenho térmico de edificações em EPS e em Alvenaria Convencional. Para refinar ainda mais os resultados, os critérios de exclusão aplicaram-se a artigos de acesso restrito e pesquisas anteriores ao ano de 2000.

**Quadro 3 – Revisão Sistemática de Literatura**

<b>PROTOCOLO DA PESQUISA</b>	
<b>a) Base de dados:</b>	CAPS / BDTD / Google acadêmico / Scielo
<b>b) Tipo de documento:</b>	Artigo / Monografia / Dissertação / Tese
<b>c) Período:</b>	2000 a 2024
<b>d) Idioma:</b>	Português / Inglês
<b>e) Critério de inclusão:</b>	Estudos que abordem o Sistema construtivo em EPS, que analisem o desempenho térmico do sistema em EPS e de Alvenaria convencional e os comparem, e pesquisas que foquem em eficiência energética na construção civil.
<b>f) Critério de exclusão:</b>	Artigos de acesso restrito e artigos que não tratem a respeito do Sistema construtivo monolítico em EPS e do Sistema construtivo em Alvenaria convencional.
<b>g) Palavras-chave:</b>	EPS, Sistema construtivo em EPS, Desempenho Térmico, Eficiência energética, Sustentabilidade na construção civil, Métodos construtivos inovadores.
<b>h) Estratégias de busca:</b>	EPS na construção civil, Painéis sanduíches em EPS, Desempenho térmico do EPS, Comparativo entre os sistemas construtivos em EPS e em Alvenaria Convencional, Eficiência energética na construção civil, Impacto ambiental de sistemas construtivos.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As palavras-chave utilizadas para direcionar o trabalho foram “EPS”, “Sistema construtivo em EPS”, “Desempenho térmico”, “Eficiência energética”, “Sustentabilidade na construção civil”, e “Métodos construtivos inovadores”. Explorou-se também várias estratégias de busca, incluindo termos como “EPS na construção civil”, “Painéis sanduíches em EPS”, “Desempenho térmico do EPS” e “Comparativo entre sistemas construtivos”. Ademais, temas relacionados a “Eficiência energética na construção civil” e “Impacto ambiental de sistemas construtivos” foram investigados para enriquecer a análise com uma variedade de perspectivas acadêmicas e práticas.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os autores Lamberts, Dutra e Pereira (2004), em seu livro, denominado Eficiência Energética na Arquitetura, conceituam a eficiência energética como um traço intrínseco à construção, refletindo sua capacidade de oferecer conforto térmico, visual e acústico aos usuários com um consumo reduzido de energia. Dessa forma, um edifício é considerado mais eficiente energeticamente do que outro se conseguir proporcionar as mesmas condições ambientais com um consumo menor de energia.

Segundo Cesar (2011), a eficiência energética em edificações é fundamental para impulsionar o avanço sustentável da sociedade. Projetos concebidos com base nesse princípio devem adaptar-se às características climáticas locais, incorporando técnicas passivas para reduzir o consumo de energia associado ao aquecimento de água, calefação e refrigeração. Além disso, os sistemas de ventilação externa devem garantir uma eficiente separação térmica entre o interior e o exterior da edificação, abrangendo estanqueidade do ar, isolamento térmico, eliminação de pontes térmicas, seleção criteriosa de materiais de acabamento, posicionamento estratégico de janelas e utilização eficiente de vidros. Outros aspectos incluem a implementação de sistemas de controle de ventilação, dimensionamento adequado de equipamentos para refrigeração e calefação, quando aplicável, e a escolha de aparelhos e eletrodomésticos energeticamente eficientes. Adicionalmente, a integração de fontes de energia renovável é crucial para atender às demandas energéticas remanescentes da edificação, consolidando, assim, uma abordagem abrangente na busca pela eficiência energética.

Os primeiros padrões relacionados ao desempenho de edificações surgiram na Europa no início dos anos 70, estabelecendo critérios para a envoltória a fim de reduzir a transferência de calor através de seus elementos construtivos, bem como controlar a difusão de vapor e a permeabilidade do ar (Morishita, 2011).

Baltar, Kaehler e Pereira (2006) apontam que a eficiência energética do sistema de condicionamento ambiental está intimamente ligada às características das edificações, ao clima, ao uso e ao tipo de ar condicionado empregado. A interação desses fatores permite avaliar tanto o desempenho energético quanto o conforto térmico das construções. Além disso, o desempenho energético está associado às trocas de calor entre edificação e o meio ambiente, as quais variam conforme a temperatura ambiente, a velocidade dos ventos, a radiação solar e a umidade relativa do local. Essas condições são influenciadas não apenas pelo ambiente circundante, mas também pelas características de ocupação e operação do edifício. É fundamental ressaltar que a eficiência energética possui uma relação direta com aspectos ambientais, já que a energia é obtida do meio ambiente e, após ser transformada e utilizada, é integralmente devolvida ao ambiente, em diferentes formas.

Um dos núcleos do desafio da eficiência energética e do baixo desempenho das edificações está centrado no pensamento imediatista (Doringo; Pinto; Santos, 2010). Para esses autores, os elementos de projeto, os mecanismos de mercado e a própria execução da obra podem conduzir a construções com eficiência energética e conforto térmico inadequados. Torna-se evidente a necessidade de uma mudança na abordagem construtiva, assim como na adoção de novas tecnologias e materiais de construção no Brasil. Essa transformação é essencial

para promover a criação de edificações mais eficientes e aprimorar aquelas que já estão em existência.

Dados do documento Consumo de Energia no Brasil – Análises setoriais, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE - 2014), indica que em 2012, o consumo energético do setor residencial e industrial era de 9,4% e 35% da demanda total, respectivamente. Grande parte dessa demanda é destinada a iluminação e climatização. Logo, ao pensar em construções de edificações é crucial optar por materiais com bom desempenho térmico e maior conservação de energia (Bezerra, 2003).

O Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (labEEE, 2023), destaca que no cenário contemporâneo, é evidente que a maior parte do nosso tempo é dedicada a atividades realizadas no interior de edificações, seja residenciais, comerciais ou educacionais, totalizando aproximadamente 90% do tempo. O ambiente térmico interno não só impacta o consumo de energia, mas também representa um fator crucial em nossa produtividade, saúde e bem-estar. Considerando a relevância das condições térmicas em uma edificação, é fundamental incorporá-las durante o projeto ou na modernização de edificações ocupadas, visando aprimorar seu conforto e eficiência.

O método de construção em Poliestireno Expandido consiste em painéis monolíticos compostos por EPS e malha de aço, que são revestidos com argamassa estrutural. A característica autoportante da parede de EPS elimina a necessidade de vigas e pilares, proporcionando maior eficiência e produtividade no canteiro de obras. As camadas de argamassa estrutural que revestem o núcleo de EPS incorporam uma malha de aço, conectada tanto à malha lateral quanto ao centro da placa, formando um conjunto integrado. A presença da malha de aço possibilita a criação de micro pilares ao longo da parede, conferindo resistência sísmica à estrutura da edificação (Lueble, 2004).

Ainda de acordo com Lueble (2004), o sistema representa uma resposta tecnologicamente avançada e vantajosa em termos de requisitos estruturais, isolamento térmico e acústico, superando o método tradicional de construção em concreto ou tijolo cerâmico. O EPS, mantendo suas propriedades ao longo da vida útil do material, assegura a durabilidade do painel. Sua resistência ao apodrecimento, à formação de bolor e à ausência de substâncias nocivas o tornam ambientalmente seguro, além de evitar patologias construtivas. A versatilidade das placas, disponíveis em diversas formas e tamanhos, permite adaptações precisas a cada projeto, proporcionando a flexibilidade necessária para criações ousadas, ao contrário de muitos sistemas pré-fabricados.

Em um estudo comparativo de conforto térmico entre uma edificação construída em alvenaria convencional, alvenaria estrutural e painéis monolíticos de EPS, realizado por Freitas e Miranda (2021), observou-se que, segundo o Método do *Centre Scientifique et Technique du Batiment*<sup>1</sup> ou Método CSTB, nenhum dos sistemas analisados alcançou o conforto térmico desejado para a edificação na cidade de Caxias – MA. Contudo, apesar dos resultados insatisfatórios, principalmente devido aos ganhos de calor provenientes da cobertura, em relação ao desempenho térmico das paredes, o sistema construtivo que apresentou o melhor resultado foi o de painéis monolíticos de poliestireno expandido, retardando a entrada de carga térmica na edificação.

Bertoldi (2007) conduziu um estudo de caso em Florianópolis – SC, sobre a caracterização de um sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada, revestindo um núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço. Neste estudo, o autor comparou diferentes tipos de paredes dos sistemas construtivos em EPS e de alvenaria convencional, demonstrando que, no quesito isolamento térmico, uma parede de tijolos cerâmicos precisaria ter 98 cm de espessura para proporcionar o mesmo conforto térmico que uma parede de 15 cm de espessura formada por painéis de EPS. Isso evidencia que o sistema de EPS é significativamente superior em termos de retardar a transferência de calor, possibilitando uma redução no consumo de energia para aquecimento ou resfriamento dos ambientes internos e, conseqüentemente, resultando em maior eficiência energética.

Bezerra (2003) enfatiza que a aplicação de técnicas de conservação pode resultar em uma redução de até 15% no consumo de energia pelo setor produtivo. A utilização comprovada do EPS em projetos de construção civil destaca-se como uma tecnologia viável para a conservação de energia, necessitando apenas de maior divulgação de suas qualidades.

Ao analisar o desempenho térmico do sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo, o autor conclui que o uso de blocos com EPS como agregado em sistemas construtivos demonstrou vantagens claras no desempenho térmico, evidenciando a capacidade de reduzir a transferência de calor do ambiente externo para o interno. Em comparação com os blocos padrão, as diferenças de temperatura entre as faces aquecida e resfriada das paredes construídas com blocos de concreto leve aumentaram. Além de melhorar o conforto térmico dos usuários, a reutilização do EPS como agregado na construção civil

---

<sup>1</sup> Método desenvolvido na França, para avaliar o desempenho térmico de edifícios com base no regime térmico permanente. O Método CSTB considera fatores como isolamento térmico, orientação do edifício, materiais de construção e condições climáticas locais.

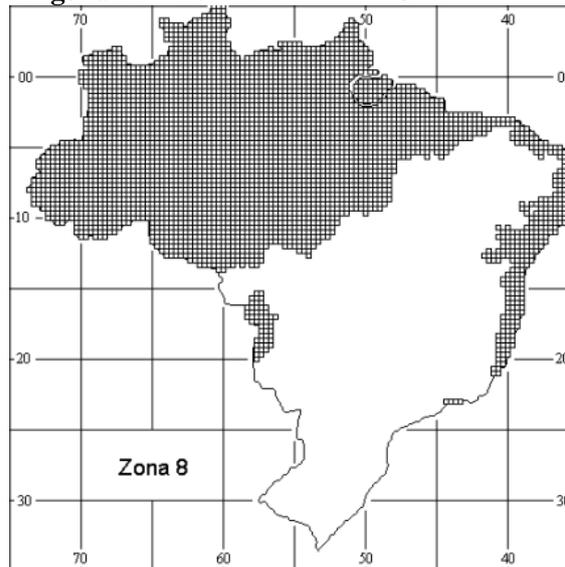
contribui para reduzir os custos de produção dos blocos e, conseqüentemente, minimiza o impacto ambiental causado pelo descarte desse material.

Os autores destacam diferentes perspectivas e considerações acerca da eficiência energética na construção civil. Lamberts, Dutra e Pereira (2004) reforçam a necessidade de oferecer conforto com consumo reduzido de energia. Cesar (2011) ressalta estratégias específicas para projetos, e Baltar, Kaehler e Pereira (2006) conectam a eficiência energética ao sistema de condicionamento ambiental. Doringo, Pinto e Santos (2010) apontam o desafio do pensamento imediatista na construção. Além disso, dados do EPE (2004) e do labEEE (2023) evidenciam a relevância do consumo de energia nas atividades diárias e a importância de materiais com bom desempenho térmico. Juntos, compartilham a ideia de que a eficiência energética é parte indispensável para o avanço sustentável da sociedade e promoção de construções mais eficientes.

O sistema construtivo em Poliestireno Expandido é defendido pelos autores como uma solução tecnologicamente avançada e vantajosa em diversos aspectos. Lueble (2004) ressalta a característica autoportante da parede de EPS, eliminando a necessidade de vigas e pilares, conferindo maior eficiência e produtividade no canteiro de obras. Enquanto Bezerra (2023) enfatiza a aplicação do EPS como uma técnica de conservação de energia. A versatilidade das placas, disponíveis em diversas formas e tamanhos, adapta-se precisamente a cada projeto, oferecendo flexibilidade para criações ousadas. A presença da malha de aço proporciona resistência sísmica, contribuindo para a durabilidade e segurança do sistema. As pesquisas citadas, convergem para destacar o EPS como uma solução eficiente, ambientalmente segura e capaz de atender aos desafios contemporâneos da construção civil.

## **6.1 Clima da cidade de São Luís – zona bioclimática 8**

A cidade de São Luís, localizada no estado do Maranhão, nordeste do Brasil, faz parte da zona bioclimática 8, representada pela figura 11 (ABNT NBR 15220-3, 2003). O clima da região é predominantemente tropical úmido, com altas temperaturas e umidade elevada durante o ano inteiro. Essas condições são comuns em regiões próximas ao Equador, onde há uma quantidade significativa de luz solar ao longo do ano. A proximidade com o oceano Atlântico contribui para a elevada umidade da região e, ocasionalmente chuvas intensas. A sazonalidade é marcada por dois períodos distintos: a estação chuvosa, de janeiro a julho, e a estação seca, de agosto a dezembro.

**Figura 11 – Zona bioclimática 8**

Fonte: ABNT NBR 15220-3 (2003).

O quadro 4, apresenta as diretrizes técnico-construtivas que têm como objetivo aprimorar o desempenho térmico das edificações, buscando a adaptação mais eficiente às condições climáticas particulares de cada região.

**Quadro 4 – Diretrizes construtivas para a zona bioclimática 8**

Aberturas para ventilação	Sombreamento das aberturas	Vedações externas		Estratégias de condicionamento térmico passivo	Atraso térmico - $\Phi$ (horas)	Fator solar - $FS_o$ (%)
		Parede	Cobertura			
Grandes (A em % de área de piso - $A > 40\%$ )	Sombrear aberturas	Leve refletora	Leve refletora	Ventilação cruzada permanente e resfriamento artificial	$\leq 4,3$	$\leq 4\%$

Fonte: Adaptado da NBR 15220-3:2005 (2024).

Costa (2003) aponta que os elementos que interferem no clima de regiões quente e úmidas são: temperatura do ar, ventos, umidade, radiação e precipitações. Para um clima mais agradável esses fatores precisam ser controlados através da redução da produção de calor e em razão da condução e convecção dos impactos externos, elevando a movimentação do ar, evitando a absorção e diminuição da pressão de vapor, estimulando a evaporação, diminuição da absorção de radiação e proteção máxima dos espaços públicos.

## 6.2 Avaliação do desempenho térmico

Para a avaliação do desempenho térmico utilizou-se as propriedades térmicas (quadro 5) dos materiais que compõem as paredes dos dois sistemas construtivos como o coeficiente de condutividade térmica, densidade e calor específico, para determinar os critérios de Transmitância térmica ( $U$ ), Capacidade térmica ( $C_T$ ), atraso térmico ( $\Phi$ ) e Fator solar ( $FS_0$ ).

**Quadro 5** – Propriedades térmicas

<b>Materiais</b>	<b>Densidade de massa aparente (<math>\rho</math>)</b>	<b>Condutividade térmica (<math>\lambda</math>)</b>	<b>Calor específico (<math>c</math>)</b>
Unidade	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>	<b>W/(m.K)</b>	<b>KJ/(Kg.K)</b>
Tijolo cerâmico	1500/1600/2000	0,90	0,92
Argamassa	1800/2000	1,15	1,00
EPS	15	0,04	1,42
Argamassa estrutural	2200	1,75	1,00

Fonte: Adaptado da NBR 15220-2:2005 (2024).

De acordo com Fiegenbaum (2018), a transmitância térmica é uma medida da facilidade com que o calor passa através de um material, levando em conta as trocas de calor superficiais (convecção e radiação) e as trocas através do material por condução. Ela é influenciada pela espessura, condutividade térmica, posição do material e direção do fluxo de calor, e pode ser calculada como o inverso da resistência térmica total. Portanto, para o cálculo é dado a seguinte fórmula:

- $U = \frac{1}{R_T}$

Onde:

$R_T$  é a resistência térmica total do componente de ambiente a ambiente

Para determinação das Resistências térmicas de superfície a superfície ( $R_t$ ) e ambiente a ambiente ( $R_T$ ), precisa-se conhecer a Resistência de superfície interna ( $R_{si}$ ), Resistência de superfície externa ( $R_{se}$ ) e a Resistência da câmara de ar ( $R_{ar}$ ), neste caso, o tijolo (câmara de ar não ventilada). O quadro 6 exibe os valores extraídos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

**Quadro 6** – Valores de resistências

Variável	Unidade	Valor
Resistência de superfície interna ( $R_{si}$ )	m <sup>2</sup> .K/W	0,13
Resistência de superfície externa ( $R_{se}$ )	m <sup>2</sup> .K/W	0,04
Resistência da câmara de ar ( $R_{ar}$ )	m <sup>2</sup> .K/W	0,16

Fonte: Adaptado da NBR 15220-2:2005 (2023).

O cálculo das resistências térmicas  $R_t$  e  $R_T$  de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é obtido mediante as expressões 1 e 2, respectivamente:

$$\bullet R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad \dots 1)$$

Onde:

$R_{t1}$ ,  $R_{t2}$  e  $R_{tn}$  são as resistências térmicas das n camadas homogêneas, determinadas por:

$$\bullet R = \frac{e}{\lambda}$$

Onde:

e é a espessura da camada

$\lambda$  é a condutividade térmica do material da camada

$R_{ar1}$ ,  $R_{ar2}$  e  $R_{arn}$  são as resistências térmicas das n câmaras de ar

$$\bullet R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad \dots 2)$$

Conforme a NBR 15220-1 (ABNT, 2005), a resistência térmica total de um elemento é obtida a partir da soma das resistências térmicas das camadas que o compõem, incluindo as resistências superficiais internas e externas. Essa medida representa a capacidade do material em dificultar a transmissão de calor. Segundo Fiegenbaum (2018), a resistência térmica de um material aumenta à medida que sua condutividade térmica diminui e sua espessura aumenta. Em outras palavras, materiais com baixa condutividade térmica e maior espessura oferecem maiores resistências ao fluxo de calor, tornando-se mais eficientes como isolantes térmicos.

A partir das expressões 1 e 2, foram calculadas as resistências térmicas de superfície a superfície e de ambiente a ambiente para os dois sistemas construtivos e, com algumas variações nos materiais. No caso do sistema construtivo com vedações em EPS, as variações foram em relação a espessura do painel, da argamassa estrutural e da espessura dos rebocos

interno e externo. E para as paredes de alvenaria, as mudanças foram em relação as medidas do tijolo cerâmico e a espessura dos rebocos interno e externo. O resultado está contido no quadro 7.

**Quadro 7 - Resistências térmicas  $R_t$  e  $R_T$  dos componentes.**

SISTEMAS CONSTRUTIVOS			RESISTÊNCIA TÉRMICA - (m <sup>2</sup> .K)/W	
			$R_t$	$R_T$
<b>EPS</b>				
Painel de EPS (cm): 160 x 280 x 7	Argamassa estrutural (cm): 2,5	Reboco externo e interno (cm): 1,5	<b>1,81</b>	<b>1,97</b>
Painel de EPS (cm): 160 x 280 x 10	Argamassa estrutural (cm): 2	Reboco externo e interno (cm): 1	<b>2,54</b>	<b>2,71</b>
Painel de EPS (cm): 160 x 300 x 8	Argamassa estrutural (cm): 2	Reboco externo e interno (cm): 1,5	<b>2,05</b>	<b>2,22</b>
Painel de EPS (cm): 160 x 300 x 7	Argamassa estrutural (cm): 2	Reboco externo e interno (cm): 2	<b>1,81</b>	<b>1,98</b>
<b>ALVENARIA CONVENCIONAL</b>				
Tijolo cerâmico (cm): 9 x 14 x 19	Argamassa de assentamento (cm): 1	Reboco externo e interno (cm): 2,5	<b>0,23</b>	<b>0,39</b>
Tijolo cerâmico (cm): 9 x 19 x 19	Argamassa de assentamento (cm): 1	Reboco externo e interno (cm): 2,5	<b>0,24</b>	<b>0,41</b>
Tijolo cerâmico (cm): 10 x 16 x 32	Argamassa de assentamento (cm): 1	Reboco externo e interno (cm): 2	<b>0,25</b>	<b>0,42</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A análise do quadro 7 revela que a resistência térmica do sistema monolítico é expressivamente superior ao de alvenaria convencional. Esta eficácia do EPS em isolar o calor resulta em uma menor transferência de calor através das paredes, contribuindo significativamente para a estabilidade das temperaturas internas e mantendo os ambientes mais confortáveis.

A capacidade térmica por sua vez, está relacionada a quantidade de calor requerida para provocar uma variação de uma unidade na temperatura de um sistema (ABNT NBR 15220-

1, 2005). Ela auxilia no entendimento de como os materiais respondem ao calor e como eles podem armazenar ou liberar energia térmica durante mudanças de temperatura. É determinada pela equação abaixo:

$$\bullet \quad C_T = \frac{A_a + A_b + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}}$$

Onde:

$A_a$ ,  $A_b$  e  $A_n$  são as áreas de cada seção

$C_{Ta}$ ,  $C_{Tb}$  e  $C_{Tn}$  são capacidades térmicas dos componentes de cada seção

$$\bullet \quad C_{Ta} = \sum_{i=1}^n e * c * \rho$$

$e$  é a espessura do componente.

$c$  é o calor específico

$\rho$  é a densidade

Materiais com baixa capacidade térmica esquentam ou esfriam mais rapidamente em resposta às mudanças de temperatura. Enquanto materiais com maior capacidade térmica tendem a armazenar mais calor e liberá-lo lentamente. Em climas quentes onde as variações de temperatura são menos extremas como o de São Luís - MA, e o objetivo é permitir uma resposta às condições externas, materiais com baixa capacidade térmica podem ajudar a manter os interiores mais frescos durante o dia.

A NBR 15220-1 (ABNT, 2005), define o atraso térmico como o intervalo de tempo entre uma mudança de temperatura em um material e a resposta correspondente na superfície oposta de um elemento construtivo sujeito a um padrão periódico de transferência de calor. É determinado pela resistência, capacidade térmica do componente construtivo e pela disposição sequencial das camadas. O atraso térmico é calculado a partir da seguinte fórmula:

$$\bullet \quad \Phi = 1,382 * R_t * \sqrt{B_1 + B_2}$$

Onde:

$R_t$  é a resistência térmica de superfície a superfície do componente

$$\bullet \quad B_1 = 0,226 * \frac{B_0}{R_t}$$

$$\bullet \quad B_0 = C_T - C_{T_{ext}}$$

$C_T$  é a capacidade térmica de um componente

$C_{T_{ext}}$  é a capacidade térmica da última camada do componente, junto à face externa

$$\bullet \quad B_2 = 0,205 * \left( \frac{\lambda * \rho * c}{R_t} \right) * \left( R_{ext} - \frac{R_t - R_{ext}}{10} \right)$$

$R_{ext}$  é a resistência térmica da última camada do componente, junto à face externa.

$\lambda$ ,  $\rho$ ,  $c$  correspondem a condutividade térmica do material, densidade de massa aparente e calor específico, respectivamente.

Simplificando, o atraso térmico refere-se ao período de tempo que leva para a temperatura interna se ajustar a temperatura externa, levando em conta as propriedades térmicas dos materiais de construção empregados. Componentes com atrasos térmicos mais longos podem ajudar a suavizar as flutuações de temperatura do ambiente interno, tornando-o mais estável e confortável.

O fator solar de elementos opacos ou fator de ganho de calor solar de elementos opacos é descrito pela NBR 15220-1 (ABNT, 2005) como o quociente da taxa de radiação solar transmitida através de um componente opaco pela taxa da radiação solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo. É uma medida que descreve a capacidade do material ou componente de absorver, refletir e transmitir a energia solar que incide sobre ele. Controlar a entrada de calor em uma edificação pode reduzir a necessidade de utilização de ar condicionado, resultando em menor custo de energia. Essa proporção é determinada pela seguinte equação:

- $FS_o = 4 * U * \alpha$

Onde:

$U$  é a transmitância térmica do componente

$\alpha$  é a absorptância à radiação solar – função da cor da superfície exposta

Com base nos dados fornecidos e nas fórmulas apresentadas, os resultados para os parâmetros avaliados estão listados no quadro 8.

Quadro 8 – Avaliação do desempenho térmico

DESEMPENHO TÉRMICO							
Sistema construtivo				Parâmetros			
				U - W/(m <sup>2</sup> .K)	C <sub>T</sub> - KJ/(m <sup>2</sup> .K)	Φ - (horas)	FS <sub>o</sub> - (%)
				α = 0,20			
Tipo	EPS						
I	Painel de EPS (cm): 160 x 280 x 7	Argamassa estrutural (cm): 2,5	Reboco externo e interno (cm): 1,5	<b>0,51</b>	<b>83,49</b>	<b>8,07</b>	<b>0,41</b>
II	Painel de EPS (cm): 160 x 280 x 10	Argamassa estrutural (cm): 2	Reboco externo e interno (cm): 1	<b>0,37</b>	<b>64,13</b>	<b>8,38</b>	<b>0,30</b>
III	Painel de EPS (cm): 160 x 300 x 8	Argamassa estrutural (cm): 2	Reboco externo e interno (cm): 1,5	<b>0,45</b>	<b>72,71</b>	<b>8,02</b>	<b>0,36</b>
IV	Painel de EPS (cm): 160 x 300 x 7	Argamassa estrutural (cm): 2	Reboco externo e interno (cm): 2	<b>0,50</b>	<b>85,49</b>	<b>8,17</b>	<b>0,40</b>
ALVENARIA CONVENCIONAL							
I	Tijolo cerâmico (cm): 9 x 14 x 19	Argamassa de assentamento (cm): 1	Reboco externo e interno (cm): 2,5	<b>2,52</b>	<b>168,06</b>	<b>3,44</b>	<b>2,02</b>
II	Tijolo cerâmico (cm): 9 x 19 x 19	Argamassa de assentamento (cm): 1	Reboco externo e interno (cm): 2,5	<b>2,43</b>	<b>166,87</b>	<b>3,49</b>	<b>1,94</b>
III	Tijolo cerâmico (cm): 10 x 16 x 32	Argamassa de assentamento (cm): 1	Reboco externo e interno (cm): 2	<b>2,38</b>	<b>160</b>	<b>3,60</b>	<b>1,90</b>

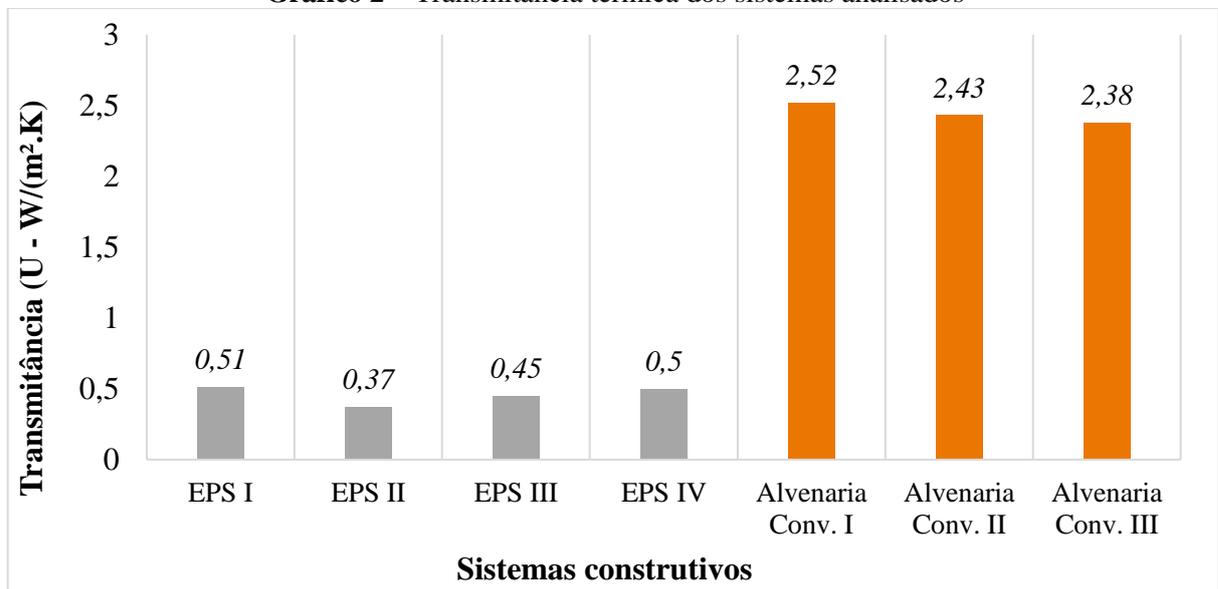
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Observa-se que o desempenho térmico das paredes em EPS está de acordo com os requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 15575 (ABNT, 2021), Parte 4. Esta norma não considera os parâmetros de atraso térmico e fator solar. No entanto, o anexo C da NBR 15220-3 (ABNT, 2005) fornece recomendações e diretrizes construtivas para adequar a edificação ao clima local, considerando o atraso térmico e o fator solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.

Nestes casos, apenas o fator solar está dentro da exigência, enquanto o atraso térmico resultou em um valor superior ao recomendado. Isso não significa, necessariamente, que o desempenho térmico das paredes da edificação seja insatisfatório, uma vez que atende ao nível mínimo exigido pela NBR 15575-4 (ABNT, 2021). Para uma análise abrangente de todos os parâmetros, é necessário avaliar o desempenho térmico através de simulação computacional ou medição *in loco*.

Conforme a NBR 15575-4 (ABNT, 2021), para a zona bioclimática 8, considerando uma pintura de cor branca nas paredes (absortância  $\alpha = 0,20$ ), o valor máximo tolerável para a transmitância térmica (U) é  $3,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ . Embora ambos os sistemas avaliados apresentem resultados aceitáveis para a transmitância térmica, o sistema em EPS mostrou melhores resultados em todos os painéis considerados, sendo significativamente inferiores ao sistema de alvenaria convencional, como demonstra o gráfico 2. Para esse parâmetro analisado, o EPS equivale a cerca de 20% da alvenaria convencional, indicando uma elevada resistência ao fluxo de calor e conseqüentemente, maior capacidade de isolamento térmico, uma vez que possui menos facilidade de transmitir essa energia térmica.

**Gráfico 2** – Transmitância térmica dos sistemas analisados

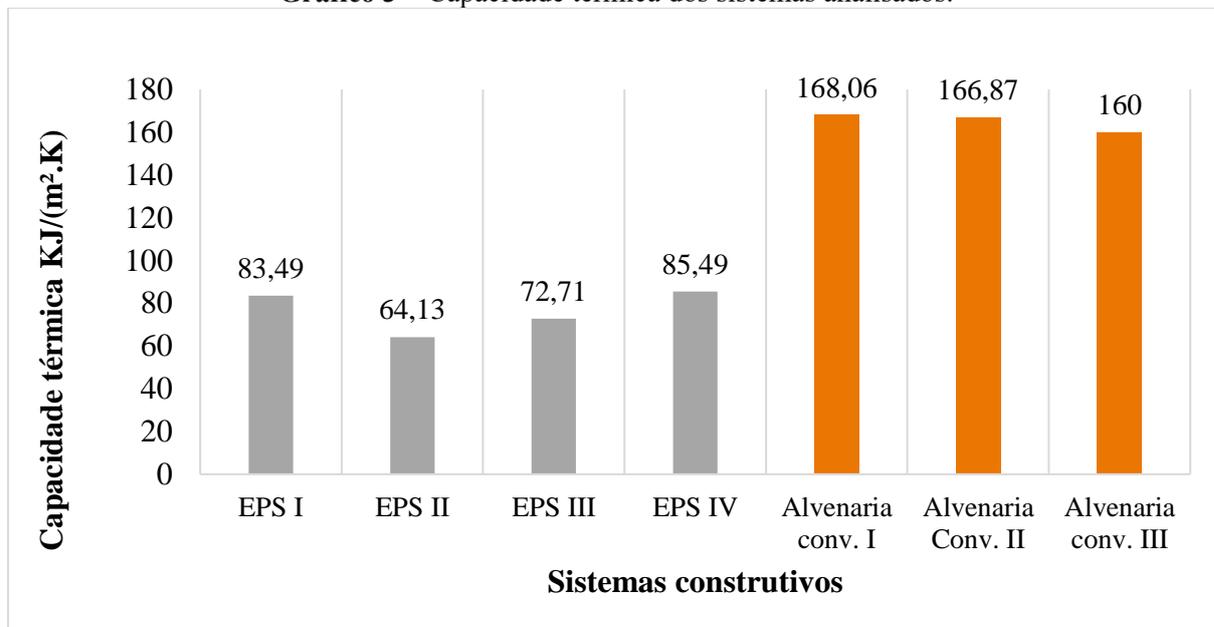


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Considerando a cidade de São Luís – MA, a NBR 15575-4 (ABNT, 2021) não determina valores mínimos ou máximos para a capacidade térmica, portanto, tanto o sistema construtivo em EPS quanto o de alvenaria convencional, são satisfatórios. No gráfico 3, é possível notar que as vedações verticais de alvenaria convencional apresentam uma capacidade térmica elevada em comparação com as de EPS. Essa diferença significativa pode ser explicada

pelo fato do EPS se tratar de um isolante térmico com condutividade térmica  $\leq 0,065 \text{ W}/(\text{m.K})$  e resistência térmica  $> 0,5 \text{ (m}^2.\text{K)}/\text{W}$  e nesse caso, para o cálculo da capacidade térmica das paredes, é desconsiderado todos os materiais das camadas externas situados a partir do material isolante.

**Gráfico 3 – Capacidade térmica dos sistemas analisados.**



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

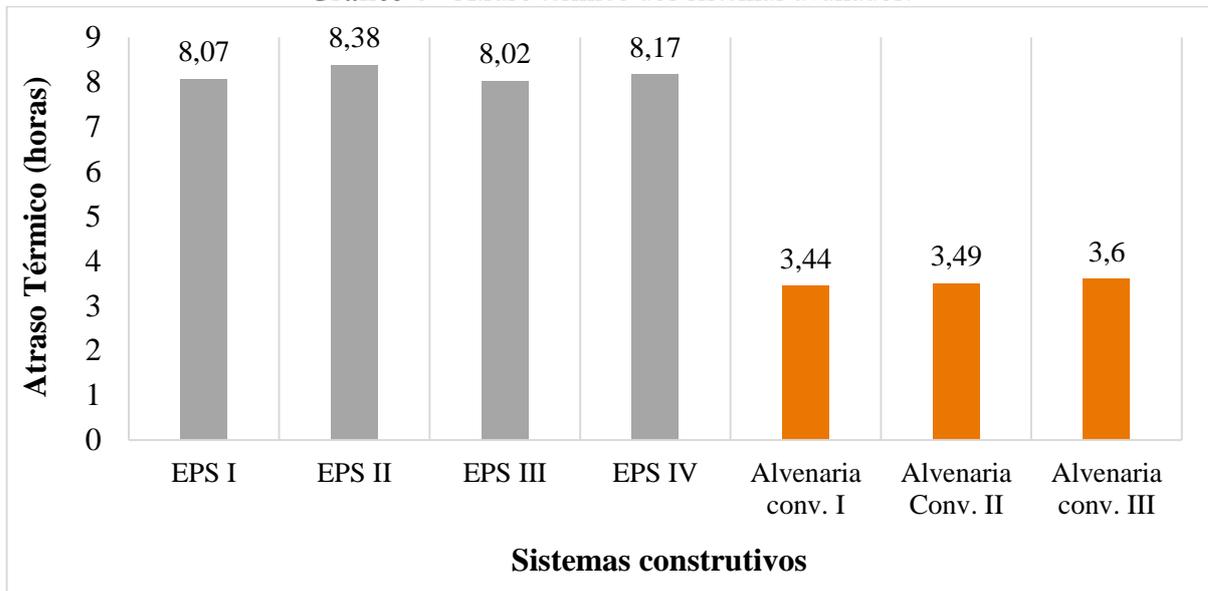
A observação do gráfico 3 sugere que o sistema de EPS apresenta uma resposta mais rápida às mudanças climáticas entre o meio externo e interno, já que precisa de menos energia para variar a temperatura e pode não ser tão vantajoso considerando um aumento ao longo do dia. Porém, apesar da parede absorver e reter menos calor, o fato de o EPS ser um excelente material isolante térmico, o calor terá uma dificuldade considerável em atravessar a superfície. Além disso, a capacidade térmica se contrasta com o atraso térmico, que é expressivamente superior, indicando que são necessárias quase cinco hora a mais para a temperatura interna acompanhar as variações de temperatura externa.

Apolinário e Kowalski (2022) realizaram uma pesquisa intitulada Impacto do uso de alvenaria e painéis monolíticos de EPS na eficiência energética e desempenho térmico de habitações de interesse social e constataram que métodos construtivos com maiores valores de atraso térmico, apresentam menores variações de temperatura nos ambientes internos.

O gráfico 4 apresenta os resultados para o parâmetro de atraso térmico e exibe uma discrepância de aproximadamente 5 horas entre os dois sistemas avaliados. Para paredes leves refletoras, tipo mais indicado para edificações situadas na zona bioclimática 8, o atraso térmico

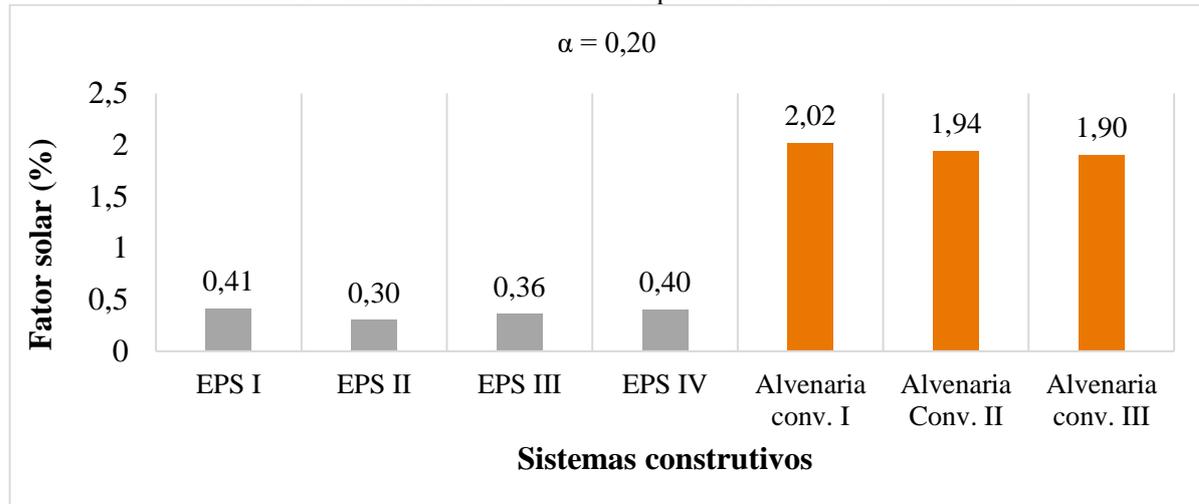
máximo recomendável é de 4,3 horas. Nesse sentido, as paredes de alvenaria convencional resultaram em valores aceitáveis, enquanto os painéis de EPS não seguem a recomendação da Parte 3 da norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Entretanto, como mencionado anteriormente, além do procedimento normativo, é imprescindível realizar uma análise como um todo, utilizando um software adequado. Essa análise deve considerar o desempenho térmico anual da envoltória da edificação em relação a uma envoltória de referência, para determinar se o desempenho térmico é satisfatório ou não.

**Gráfico 4 – Atraso térmico dos sistemas avaliados.**



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Ainda segundo as diretrizes estabelecidas na NBR 15220-3 (ABNT, 2005), o fator solar de elementos opacos para vedações externas do tipo leves refletoras não deve ultrapassar 4%. Nessa situação, tanto o sistema em EPS quanto o de alvenaria convencional apresentaram valores adequados. Conforme o gráfico 5, as paredes de EPS demonstraram uma notável eficiência, especialmente em regiões de clima quente e úmido, contribuindo para uma redução significativa da carga térmica no interior da edificação. Isso se deve ao fato de que o fator solar médio das paredes de EPS é de apenas 0,37%, aproximadamente cinco vezes menor do que o fator solar médio das vedações em alvenaria convencional, que é de 1,95%.

**Gráfico 5** – Fator solar de elementos opacos dos sistemas analisados.

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Se desconsiderarmos para cada sistema construtivo o reboco e a pintura por exemplo, mantendo as paredes com superfícies aparentes de tijolos cerâmicos e microconcreto, o fator de calor solar das vedações verticais externas de alvenaria convencional seriam insatisfatórios, equivalendo a mais de 6%, enquanto para as paredes de painéis de EPS com telas de aço eletrossoldadas revestidas com argamassa estrutural o resultado se manteria bem longe do limite indicado pelo anexo C da norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005), que seria cerca de 1,20%. A partir desse exemplo, podemos considerar que devido à baixa transmitância térmica, o sistema construtivo em EPS tem maior dificuldade em transmitir calor em superfícies diferentes, sem exceder o valor máximo admissível pela norma.

Seguindo as disposições da NBR 15575-5:2013, Fiegenbaum (2018) comparou o desempenho térmico de três diferentes tipos de paredes, paredes de painéis pré-moldados, de tijolos cerâmicos e de blocos de concreto, por meio de protótipos submetidos a condições ambientais idênticas. Um dos protótipos empregou blocos cerâmicos para compor a vedação vertical. Ao analisar o fator solar das paredes, pintadas na cor marrom, observou-se que o resultado excedia o limite máximo estipulado pela NBR 15220-3:2005. Essa constatação evidencia uma limitação do sistema construtivo em alvenaria convencional em relação às opções de superfícies expostas, ao contrário do que ocorre com o EPS.

Em sua dissertação, Bertoldi (2007) analisou o sistema construtivo em EPS em duas residências na cidade de Florianópolis – SC, zona bioclimática 3, conforme a NBR 15220-3:2005, e obteve resultados semelhantes aos desta monografia. Para o primeiro caso, com uma parede de 18 cm de espessura, os resultados foram:  $R_T = 2,74$  ( $m^2.K$ )/W,  $U = 0,36$  W/( $m^2.K$ ),  $C_T = 162,13$  KJ/( $m^2.K$ ),  $\Phi = 9,54$  horas e  $FS_o$  para parede branca = 0,29%. Para outra parede

com 9 cm de espessura, os resultados foram:  $R_T = 1,49$  (m<sup>2</sup>.K)/W,  $U = 0,67$  W/(m<sup>2</sup>.K),  $C_T = 161,06$  KJ/(m<sup>2</sup>.K),  $\Phi = 7,17$  horas e  $FS_o$  para parede branca = 0,54%. Para a zona bioclimática em que a cidade está localizada, a NBR 15220-3:2005 recomenda o uso de paredes leves refletoras, assim como para a zona bioclimática 8. Portanto, os valores de transmitância, atraso térmico e fator solar são os mesmos. Bertoldi (2007) considera que, devido às propriedades isolantes das paredes, um atraso térmico superior ao estabelecido pela norma indica maior eficiência em retardar a transferência de calor.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção civil enfrenta o desafio iminente de lidar com a crescente demanda por recursos naturais, impondo uma pressão constante sobre o meio ambiente, especialmente em vista das mudanças climáticas globais. Este estudo, portanto, conduziu uma análise do desempenho térmico do sistema construtivo monolítico em painéis de EPS, com o objetivo de entender as diferentes dimensões e identificar estratégias para melhorar o conforto térmico e a eficiência energética das edificações, sem comprometer as necessidades dos usuários. É evidente que o objetivo geral de estudar o sistema construtivo em EPS, destacando seu desempenho térmico, foi atingido de forma efetiva.

Os objetivos específicos incluíram verificar a eficiência energética do sistema em EPS através da capacidade de proporcionar conforto térmico e reduzir o consumo de energia, avaliar a viabilidade deste sistema para habitações em São Luís – MA em termos de desempenho térmico, com base nos requisitos das normas NBR 15575-4:2021 e NBR 15220-3:2005, e comparar o sistema construtivo em painéis de EPS com o de alvenaria convencional, considerando aspectos climáticos específicos de São Luís – MA. Todos esses objetivos foram alcançados, pois o trabalho conseguiu identificar diversos fatores que influenciam na eficiência energética e confirmar a conformidade com as normas, além de sugerir práticas mais eficientes.

A análise de desempenho térmico das paredes de EPS mostrou que os fatores mais influentes no desempenho térmico são a condutividade térmica, densidade, espessura do material e a cor da superfície exposta ao sol. Os resultados indicam uma elevada resistência ao fluxo de calor e, conseqüentemente, uma maior capacidade de isolamento térmico das vedações de EPS. Os cálculos demonstraram que os parâmetros avaliados atendem aos requisitos do nível mínimo de desempenho (M), determinados pela NBR 15575-4:2021, e apresentaram resultados significativamente mais satisfatórios em comparação com as paredes de alvenaria

convencional, mesmo considerando apenas a ventilação natural para regular as condições dos ambientes internos.

Quando mudamos esse cenário para edificações equipadas com sistemas de resfriamento artificial, os benefícios tornam-se ainda mais evidentes. O EPS não apenas dificulta a entrada de calor nos ambientes internos, mas também mantém a temperatura estável, evitando sua dissipação rápida. Esse comportamento garante que a temperatura desejada seja alcançada mais rapidamente, contribuindo para o conforto térmico e eficiência energética, ao reduzir o consumo de energia elétrica e a necessidade constante de ar condicionado. Assim, a viabilidade do método construtivo inovador mostrou-se adequada para São Luís.

Conclui-se que este estudo esclarece concepções fundamentais sobre o sistema construtivo em painéis de EPS, destacando aspectos que o aproximam de ideais de construção sustentável. Embora o uso do EPS seja comum em lajes, isolantes térmicos ou até como agregado de outros materiais, sua aplicação como sistema construtivo efetivo ainda enfrenta obstáculos significativos. Desta forma, o estudo contribui para uma reflexão sobre a importância de alternativas inovadoras e energeticamente eficientes como padrão para edificações e incentiva pesquisas posteriores.

Para pesquisas futuras, sugere-se considerar outros fatores como temperatura, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar, que interferem na troca de calor entre a edificação e o meio, além de considerar finalidades específicas, como tipo de edificação e quantidade de ocupantes. Outra melhoria a ser feita é incorporar simulação computacional para avaliar o desempenho térmico e auxiliar na tomada de decisões ainda na fase de projeto. Adicionalmente, recomenda-se avaliar a viabilidade econômica do sistema construtivo em EPS e realizar comparações com outros sistemas construtivos, para fornecer uma visão mais abrangente sobre a eficiência e aplicação desse método.

## REFERÊNCIAS

**ABNT NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Princípios e estrutura.** 2009a. disponível em:

file:///C:/Users/Ana%20Leticia/Downloads/NBR%20ISO%2014040%20-%20GA-ACV%20-%20Princ%3%ADpios%20de%20estrutura.pdf. Acesso em 27 de out. de 2023.

**ABNT NBR ISO 14044: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e orientações.** 2009b. disponível em:

file:///C:/Users/Ana%20Leticia/Downloads/NBRISO14044%20-%20GA-ACV%20-%20Requisitos%20e%20orienta%3%A7%C3%B5es%20(1).pdf. Acesso em 27 de out. de 2023.

**ABNT NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro, 221 p. 2003. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/valtencirgomes/disciplinas/construcao-de-edificios/abnt-6118-projeto-de-estruturas-de-concreto-procedimento>. Acesso em 02 de mar. de 2023.

**ABNT NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 08 p. 2005. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod\\_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-1.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-1.pdf?forcedownload=1). Acesso em 08 de nov. de 2023.

**ABNT NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fato solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 34 p. 2005. Disponível em:

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod\\_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5660736/mod_folder/content/0/NBR%2015220/NBR15220-2.pdf). Acesso em: 05 de nov. de 2023.

**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, 23 p. 2003. Disponível em:

[https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica\\_parte3\\_SET2004.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_SET2004.pdf). Acesso em 05 de nov. de 2023.

**ABNT NBR 15270-1: Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 11 p. 2005. Disponível em:

[https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR\\_15270\\_1\\_2005.PDF](https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17827/material/NBR_15270_1_2005.PDF). Acesso em 08 de nov. de 2023.

**ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 85 p. 2013. Disponível em: [https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2\\_guia\\_normas\\_final.pdf](https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf). Acesso em 06 de nov. de 2023.

**ABNT NBR 15575-4: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE.** Rio de Janeiro, 75 p. 2013. Disponível em: [https://360arquitetura.arq.br/wp-content/uploads/2016/01/NBR\\_15575-4\\_2013\\_Final-Sistemas-de-veda%C3%A7%C3%B5es-verticais-internas-e-externas.pdf](https://360arquitetura.arq.br/wp-content/uploads/2016/01/NBR_15575-4_2013_Final-Sistemas-de-veda%C3%A7%C3%B5es-verticais-internas-e-externas.pdf).

Acesso em 06 de nov. de 2023.

**ABNT NBR 15575-1: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais.** Rio de Janeiro, 95 p. 2024. Disponível em: <https://www.normas.com.br/produto/normas-brasileiras-e-mercossul/pesquisar/15575#:~:text=NBR15575%2D1%20de%2001%2F2024,um%20ou%20mais%20sistemas%20espec%C3%ADficos>. Acesso em 24 de abr. de 2024.

**ABNT NBR 15575-4: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE.** Rio de Janeiro, 72 p. 2021. Disponível em: <https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/27242/nbr15575-4-edificacoes-habitacionais-desempenho-parte-4-requisitos-para-os-sistemas-de-vedacoes-verticais-internas-e-externas-svvie>. Acesso em: 25 de abr. de 2024.

**ABRAPEX. Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Manual de Utilização EPS na Construção Civil.** Pini, São Paulo: 2017.

**APARQUITETURA. Sistema de painel monolítico – EPS – como funciona.** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kRwdwpwe7QU>. Acesso em 24 de maio de 2024.

APOLINÁRIO, Bruna de Souza; KOWALSKI, Luis Fernando. Impacto do uso de alvenaria e painéis monolíticos de EPS na eficiência energética e desempenho térmico de habitações de interesse social. Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 2022, Canela. **Anais.** Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/2052/1800>. Acesso em 21 de abr. de 2024.

BALTAR, Marta Garcia; KAEHLER, José Wagner Maciel; PEREIRA, Luís Alberto. **Indústria da Construção Civil e Eficiência Energética.** Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006, 06 p. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/2983/8/000384715-Texto%252bCompleto%252bAnexo%252bE-5.pdf>. Acesso em 24 de set. de 2023.

BERTOLDI, Renato Hercílio. **Caracterização do sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno e telas de aço:** dois estudos de casos em Florianópolis. 2020. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89757/241196.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 30 de mar. de 2023

BEZERRA, Luciano André Cruz. **Análise do desempenho térmico de sistema constutivo de concreto com EPS como agregado graúdo.** 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/15548/1/LucianoACB.pdf>. Acesso em 03 de out. de 2023.

BRASIL, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA-EPE. **Balço Energético Nacional 2015: Ano base 2014.** Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-97/Relat%C3%B3rio%20Final%202015.pdf>. Acesso em 05 de nov. de 2023.

BRASIL. Decreto nº 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dispõe sobre o Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética. **Presidência da República - secretária geral**. Brasília, DF, 2001. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9864.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9864.htm). Acesso em 01 de out. de 2023.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envolvimento de Edificações Não-residenciais**. 2008. 215 p. Tese (Doutor em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/91026/260128.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 29 de set. de 2023.

CELERE, E. **Painéis monolíticos: o que são e quais são suas vantagens**. Disponível em: <https://celere-ce.com.br/construcao-civil/paineis-monoliticos/>. Acesso em 21 de abr. de 2023.

CESAR, Luiza Denardi. **Instrumento para a introdução da abordagem da eficiência energética em cursos de Engenharia Civil**. 2011. 119 p. Dissertação (Mestrado em Construção civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4663>. Acesso em 10 de set. de 2023.

**Construindo o futuro: o sistema construtivo monolítico em EPS! – CasaNIO.br**. Disponível em: <https://casanio.com.br/futuro/>. Acesso em 24 de maio de 2024.

**Construtora Tavares – O futuro do EPS é agora**. Disponível em: <https://construtoratavares.com.br/>. Acesso em 23 de abr. de 2023.

COSTA, Luiz Augusto Maia. **O ideário Urbano Paulista na virada do século**. São Carlos: Rima, Fapesp, 2003.

**DEV\_PZ. Engenheiro constrói em Aldeia primeira casa de isopor do Estado**. Disponível em: <https://aldeiadagente.com.br/2017/10/31/engenheiro-constroi-em-aldeia-primeira-casa-de-isopor-do-estado/>. Acesso em 24 de maio de 2024.

DORIGO, A. L.; PINTO, C. L. S.; SANTOS, C. B. **Utilização de fontes renováveis de energia no campus da Universidade Tuiuti**. Universidade Tuiuti do Paraná, 2010. Disponível em: [https://www.logiarquitetura.com.br/wp-content/uploads/2015/01/Revista-UTP-n42-art\\_12.pdf](https://www.logiarquitetura.com.br/wp-content/uploads/2015/01/Revista-UTP-n42-art_12.pdf). Acesso em 11 de set. de 2023.

**EPS – CSOL – Construções e Soluções**. Disponível em: <https://construtoracsol.com.br/eps/>. Acesso em 20 de maio de 2024.

FIGENBAUM, Ana Cristina. **Análise comparativa de isolamento térmico entre painéis pré-moldados, alvenaria de vedação de blocos de concreto e blocos cerâmicos para fins de conforto térmico**. Lajeado: Universidade do Vale do Taquari, 2018. 90 p. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/50900cfe-03b1-4ad9-84a1-5d9f8ceb88db/content>. Acesso em 02 de maio de 2024.

FREITAS, Yan Gabriel Pereira Magalhães de; MIRANDA, Fabrício Everton. **COMPARAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO ENTRE UMA EDIFICAÇÃO EXECUTADA EM ALVENARIA CONVENCIONAL, ALVENARIA ESTRUTURAL E**

**PAINÉIS MONOLÍTICOS EM EPS.** 2021. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, 18(38). Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/5374>. Acesso em 11 de mar. de 2024.

GENOL, Kevin Amorim. **Construção com painéis monolíticos de EPS autoportante para residências.** TCC (Graduação e Especialização em Engenharia Civil) – Unisul. Palhoça, 2021. Disponível em: [https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/13702/1/TCC\\_Constru%c3%a7%c3%a3oPaineisEPS\\_Kevin\\_Genol.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/13702/1/TCC_Constru%c3%a7%c3%a3oPaineisEPS_Kevin_Genol.pdf). Acesso em 04 de mar. de 2023.

GIL, Antônio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas S.a,2002

GOMES, João Batista Maia; OLIVEIRA, Luís Guilherme de Paula; GOMES, Ohanna Dhara Barbosa. **Sistema construtivo em painel monolítico de EPS:** estudo do processo executivo. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil – UNA. Pouso Alegre, 2021. Disponível em: [https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19366/1/Constru%c3%a7%c3%a3o\\_em\\_EPS.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/19366/1/Constru%c3%a7%c3%a3o_em_EPS.pdf). Acesso em 09 de mar. de 2023.

GONÇALVES et al. **Ambiente construído, clima urbano, utilização racional de energia nos edifícios da cidade de Lisboa.** Lisboa, INETI, 2004. Disponível em: [https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2022/03/Brochura\\_ACLURE\\_2004.pdf](https://www.lneg.pt/wp-content/uploads/2022/03/Brochura_ACLURE_2004.pdf). Acesso em 05 de nov. de 2023.

**Lajes com EPS são seguras, mas precisam ser bem construídas – Cimento Itambé.** Disponível em: <https://www.cimentoitambe.com.br/lajes-com-eps-sao-seguras-mas-precisam-ser-bem-construidas/>. Acesso em 24 de maio de 2024.

LAMBERTS, Roberto. **Conforto térmico.** 2023. labEEE, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/linhas-de-pesquisa/conforto-termico>. Acesso em 08 de set. de 2023.

LUEBLE, Ana Regina Ceratti Pinto. Construção de habitações com painéis de EPS e argamassa armada. In: **Conferência latino-americana de construção sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 1.,** 2004, São Paulo. Disponível em: <https://docplayer.com.br/11566772-Construcao-de-habitacoes-com-paineis-de-eps-e-argamassa-armada.html>. Acesso em 04 de abr. de 2023.

MAGALHÃES *et al.* **Poliestireno expandido,** 2009. Universidade Estadual de Campinas – FEM. Disponível em: <https://www.fem.unicamp.br/~assump/Projetos/2009/g7.pdf>. Acesso em 07 de maio de 2024.

MICHELE, Fossati; LAMBERTS, Roberto. Eficiência energética da envoltória de edifícios de escritórios de Florianópolis: Discussão sobre a aplicação do método prescritivo do RTQ-C. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 59-69, abr./jun. 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/12180/8457>. Acesso em 07 de maio de 2024.

**Mitos e verdades sobre o EPS na construção.** Disponível em: <https://www.universidadetrisul.com.br/etapas-construtivas/mitos-e-verdades-sobre-o-eps-na-construcao>. Acesso em 24 de maio de 2024.

MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas**. 2016. 473 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2016. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/176656/346322.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 27 de out. de 2023.

Morishita, Claudia. **Impacto do regulamento para eficiência energética em edificações no consumo de energia elétrica do setor residencial brasileiro**. 2011. 232 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/95844>. Acesso em 12 de set. de 2023.

RAMESH, T.; PRAKASH, R.; SHUKLA, K. K. Life cycle approach in evaluating energy performance of residential buildings in Indian context. **Energy and Buildings**, v. 54, 09 p. 2012. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/257227174\\_Life\\_cycle\\_approach\\_in\\_evaluating\\_energy\\_performance\\_of\\_residential\\_buildings\\_in\\_Indian\\_context](https://www.researchgate.net/publication/257227174_Life_cycle_approach_in_evaluating_energy_performance_of_residential_buildings_in_Indian_context). Acesso em 04 de nov. de 2023

RODRIGUES, Roberto Siqueira. Eficiência energética na construção civil no Brasil. **Revista Integralização Universitária**, Palmas, v. 08, n. 11, 8 p. mar. 2015. Disponível em:

<https://to.catolica.edu.br/revistas/index.php?journal=riu&page=article&op=view&path%5B%5D=218&path%5B%5D=108>. Acesso em 01 de out. de 2023.

ROSSI, B.; MARIQUE, A.-F.; REITER, S. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. **Building and Environment**, v. 51, 08 p. 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257171300\\_Life-cycle\\_assessment\\_of\\_residential\\_buildings\\_in\\_three\\_different\\_European\\_locations\\_basic\\_tool/link/5b9fd6a192851ca9ed11a827/download](https://www.researchgate.net/publication/257171300_Life-cycle_assessment_of_residential_buildings_in_three_different_European_locations_basic_tool/link/5b9fd6a192851ca9ed11a827/download). Acesso em 04 de nov. de 2023.

RUIZ, A. G. **Eficiência energética na construção civil**. 2014. Disponível em:

<http://www.brasilengenharia.com/portal/>. Acesso em 01 out. de 2023.

**PAINÉIS MONOLÍTICOS**. Disponível em: <https://isoalfa.com.br/paineis-monoliticos/>. Acesso em 23 de abr. de 2023.

PAULA, Geovani Aires Assis de; TEIXEIRA, Rafael de Souza. **Análise de execução de estrutura de EPS em residência unifamiliar em Jaraguá-GO**. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Jaraguá. Jaraguá, 2019.

Disponível em:

[http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1500/1/2019\\_1\\_TCC\\_PaulaGeovaniAiresAssisde.pdf](http://repositorio.aee.edu.br/bitstream/aee/1500/1/2019_1_TCC_PaulaGeovaniAiresAssisde.pdf). Acesso em 04 de mar. de 2023.

SÁ, Andréia Juliana de Oliveira. **Avaliação da eficiência energética de edificações – Reflexões sobre a aplicabilidade das normas vigentes**. 2022. 133 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2022.

Disponível em:

[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/46030/1/Dissertacao\\_Avalia%c3%a7%a3%0%20da%20efici%c3%aancia%20energ%c3%a9tica%20de%20edifica%c3%a7%b5es%20.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/46030/1/Dissertacao_Avalia%c3%a7%a3%0%20da%20efici%c3%aancia%20energ%c3%a9tica%20de%20edifica%c3%a7%b5es%20.pdf). Acesso em 27 de set. de 2023.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 3, 9 p. 2007. Disponível em: [https://www.sintef.no/globalassets/upload/energi/transes/article\\_life-cycle-energy\\_enb.pdf](https://www.sintef.no/globalassets/upload/energi/transes/article_life-cycle-energy_enb.pdf). Acesso em 05 de nov. de 2023.

SORGATO, Márcio José. **Desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares ventiladas naturalmente**. 2009. 216 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92673/275310.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 05 de nov. de 2023.

SORGATO, Márcio José. **A influência do comportamento do usuário no desempenho térmico e energético de edificações residenciais**. 2015. 260 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/169395/338876.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 05 de nov. de 2023.

TAVARES, Sérgio Fernando. **Metodologia de análise de ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006. Disponível em: [https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE\\_Sergio\\_Fernando\\_Tavares.pdf](https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/teses/TESE_Sergio_Fernando_Tavares.pdf). Acesso em: 04 de nov. de 2023. Acesso em 04 de nov. de 2023.

TÉRMICOS, L. K. I. | T. T. E P. **Malha de Reforço em U para Paredes Perpendiculares (P/ Monolit) 2,5mm - 187x96x187x1235mm - Loja Kingspan Isoeste | Telhas Térmicas e Painéis Térmicos**. Disponível em: <https://www.lojakingspan.com/br/malha-de-reforco-em-u-para-paredes-perpendiculares--p--monolit--25mm---187x96x187x1235mm/p>. Acesso em 24 de jun. 2024.

TIBURCIO, Igor Torres. **Estudo comparativo entre o sistema construtivo em painéis monolíticos em EPS e o sistema convencional com estrutura de concreto e vedações em alvenaria**. 2022. 54 p. Monografia (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/48643/1/EstudoComparativoEPS\\_Tiburcio\\_2022.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/48643/1/EstudoComparativoEPS_Tiburcio_2022.pdf). Acesso em 21 de maio de 2024.