

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL  
CAMPUS DO SERTÃO – EIXO DAS TECNOLOGIAS  
ENGENHARIA CIVIL

Amanda Priscila Monteiro Vieira

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉRMICA ENTRE SISTEMAS DE VEDAÇÃO  
CONSTITUÍDOS POR PAREDES SANDUÍCHE EM CONCRETO COM NÚCLEO DE  
EPS, ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO E TIJOLOS DE SOLO  
CIMENTO COM ADIÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA PARA FINS DE CONFORTO  
TÉRMICO**

Delmiro Gouveia

2021

Amanda Priscila Monteiro Vieira

**ANÁLISE COMPARATIVA TÉRMICA ENTRE SISTEMAS DE VEDAÇÃO  
CONSTITUÍDOS POR PAREDES SANDUÍCHE EM CONCRETO COM NÚCLEO DE  
EPS, ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO E TIJOLOS DE SOLO  
CIMENTO COM ADIÇÃO DE ARGILA EXPANDIDA PARA FINS DE CONFORTO  
TÉRMICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título em bacharel em Engenharia Civil, na Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão.

Professor Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos

Professora Coorientadora: Prof. Msc. Jéssica Beatriz da Silva

Delmiro Gouveia

2021

**Catálogo na fonte**

**Universidade Federal de Alagoas**

**Biblioteca do Campus Sertão**

**Sede Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

V657a Vieira, Amanda Priscila Monteiro

Análise comparativa térmica entre sistemas de vedação constituídos por paredes sanduíche em concreto armado com núcleo de EPS, alvenaria de vedação de blocos de concreto, tijolos solo cimento para fins de conforto térmico / Amanda Priscila Monteiro Vieira. – 2021.

63 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Rogério de Jesus dos Santos.

Coorientação: Jéssica Beatriz da Silva.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2021.

1. Construção civil. 2. Conforto térmico. 3. Sustentabilidade. 4. Parede sanduíche. 5. Poliestireno expandido. 6. Bloco de concreto. 7. Tijolo de cimento. I. Santos, Rogério de Jesus dos. II. Silva, Jéssica Beatriz da. III. Título.

CDU: 624.01

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Amanda Priscila Monteiro Vieira

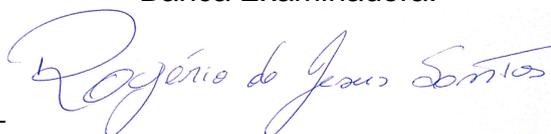
### ANÁLISE COMPARATIVA TÉRMICA ENTRE SISTEMAS DE VEDAÇÃO CONSTITUÍDOS POR PAREDES SANDUÍCHE EM CONCRETO ARMADO COM NÚCLEO DE EPS, ALVENARIA DE VEDAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO, TIJOLOS SOLO CIMENTO PARA FINS DE CONFORTO TÉRMICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título em bacharel em Engenharia Civil, na Universidade Federal de Alagoas, Campus do Sertão.

Professor Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos

Professora Coorientadora: Jéssica Beatriz

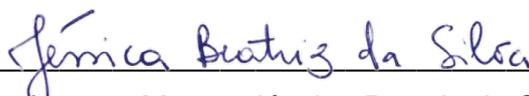
Banca Examinadora:



---

Professor Mestre Rogério de Jesus dos Santos

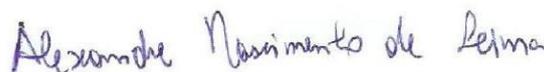
UFAL (Orientador)



---

Professora Mestra Jéssica Beatriz da Silva

(Coorientadora)



---

Professor Mestre Alexandre Nascimento de Lima

UFAL

**Dedico este trabalho a minha mãe, minha florzinha no céu, que esteve comigo dando forças em toda a minha jornada acadêmica e sempre será minha maior incentivadora e inspiração.**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me sustentado até aqui e me dado forças em cada situação adversa que ocorreu durante a realização deste trabalho. Diante de inúmeros percalços e complicações em meio a uma pandemia, o Senhor foi minha fortaleza e me mostrou que tudo coopera para o bem daqueles que amam a Deus.

A minha família materna, tias, tios e primos que tanto me apoiaram, incentivaram e não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Serei sempre imensamente grata a cada um que esteve ao meu lado durante minha jornada acadêmica e de vida.

Ao meu irmão e meus pais, e em especial a minha mãe que foi e sempre será minha maior incentivadora, sem todo o seu esforço, empenho, carinho, força, amor e dedicação eu jamais chegaria até aqui. Dedico este trabalho em memória dela, que sempre esteve ao meu lado e me mostrou que seria possível mesmo quando tudo pareceu estar dando errado, ela sempre foi minha grande rocha, fortaleza e maior fonte de coragem para finalizar este curso.

Ao meu noivo, Jorge, por tamanho companheirismo e amor dedicados a mim, por sempre estar ao meu lado em cada dificuldade sendo meu alicerce e melhor amigo, por me ajudar a crescer tanto como pessoa e profissional, sem dúvidas essa conquista não seria possível sem seu incentivo me fazendo sempre continuar e perseverar em meio a cada desafio.

As minhas amigas de infância, Melina, Raquel, Mirela e Vanessa, que mesmo em meio a distância, sempre foram grandes incentivadoras e estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo por mim durante cada conquista.

Aos meus amigos que estiveram comigo em minha jornada acadêmica, Karol, Joyce, Bella, Ieda, Luana e Ulisses por enfrentarem tantos desafios junto comigo durante o período de graduação, por todo aprendizado e incentivo, sendo como irmãos que tanto me acolheram.

Aos meus amigos do TLC, em especial a Beatriz, Jessyca, Maria Clara Carlos e Thayane por todo incentivo, amizade, companheirismo, torcida e aprendizados que levarei por toda vida.

As minhas amigas Eloyse, Thayanne e Dheny por acreditarem em mim e no meu potencial enquanto profissional, por cada aprendizado, por me apoiarem e incentivarem a ser melhor e a perseverar em direção aos meus objetivos.

Ao meu orientador e mestre Rogério, por todo incentivo, paciência, apoio e aprendizados, não medindo esforços para que esta pesquisa fosse possível mesmo em meio a tantos percalços que ocorreram, e por estar sempre disposto a ajudar.

A minha coorientadora Jessica, por sua disponibilidade para auxiliar, paciência e por cada aprendizado durante a realização dessa pesquisa.

## **EPÍGRAFE**

**“O homem planeja o seu caminho, mas é o senhor quem lhe dirige os passos.”**

(Provérbios 16,9)

**“Tudo posso, naquele que me fortalece.”**

(Filipenses 4,13)

## RESUMO

O atual mercado brasileiro da construção civil, possui diversos problemas ocasionados boa parte pela dificuldade em implementar inovações tecnológicas que tragam maiores benefícios para os usuários e construtores. Neste cenário, se faz necessária a busca por materiais que possuam qualidades superiores aos comumente utilizados no Brasil, visando trazer maior produtividade, menor custo, mais sustentabilidade e também maior conforto térmico para as edificações. Assim, o sistema construtivo utilizando painéis sanduíche com núcleo em EPS se torna uma alternativa vantajosa em relação aos métodos tradicionalmente utilizados, por se tratar de uma tecnologia sustentável, mais econômica a longo e curto prazo, mais leve, e que traz maior conforto termoacústico. Tendo em vista o potencial do método em trazer melhor conforto térmico para as edificações, a presente pesquisa tem como foco construir um protótipo de parede sanduíche com núcleo em EPS, e, analisar sua capacidade de transferência de calor com o auxílio de uma câmara térmica, comparando seus resultados com outros métodos. Foram analisados três tipos de paredes, sendo elas: A parede sanduíche com núcleo em EPS, parede com tijolos de solo cimento com adição de argila expandida e parede com blocos de concreto. Mediante os resultados adquiridos com método prático utilizado neste trabalho, a alvenaria em concreto com núcleo em EPS possuiu resultados satisfatórios, apresentando uma diferença de aumento de temperatura 82,6% menor que a parede com blocos de concreto e 47,62% menor que o protótipo composto por tijolos de solo cimento com argila expandida. Por meio de cálculos de desvio padrão, para os resultados das medições de temperatura que indicaram a transferência de calor de cada protótipo, a parede sanduíche obteve dados mais uniformes, demonstrando ser uma boa alternativa de parede para ser utilizada no município de Delmiro Gouveia, cidade do alto sertão alagoano, que possui temperaturas elevadas em boa parte do ano, como também outras regiões com elevadas temperaturas.

**Palavras-chave:** Parede Sanduíche com Núcleo em EPS. Poliestireno Expandido. Parede de Concreto com núcleo em EPS. Análise Térmica. Conforto Térmico.

## ABSTRACT

The current Brazilian civil construction market has several problems caused largely by the difficulty in implementing technological innovations that bring greater benefits to users and builders. In this scenario, it is necessary to search for materials that have superior qualities to those commonly used in Brazil, aiming to bring greater productivity, lower cost, more sustainability and also greater thermal comfort for buildings. Thus, the constructive system using sandwich panels with an EPS core becomes an advantageous alternative in relation to the traditionally used methods, as it is a sustainable technology, more economical in the long and short term, lighter, and which brings greater thermo-acoustic comfort. In view of the potential of the method to bring better thermal comfort to buildings, this research focuses on building a sandwich wall prototype with an EPS core, and analyzing its heat transfer capacity with the aid of a thermal camera, comparing its results with other masonry. Three types of masonry were analyzed, namely: The sandwich wall with EPS core, wall with cement and expanded clay soil bricks and wall with concrete blocks. Through the results acquired with the practical method used in this work, the concrete masonry with EPS core presented satisfactory results. It is also worth noting that, through standard deviation calculations for the results of temperature measurements that indicated the heat transfer of each prototype, the sandwich wall obtained more uniform data, proving to be a good alternative for masonry to be used in the municipality of Delmiro Gouveia, a city in the upper interior of Alagoas, which has high temperatures most of the year.

**Keywords:** Sandwich Wall with Core in EPS. Expanded polystyrene. Concrete wall with EPS core. Thermal analysis. Thermal comfort.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 Nivelamento de lajes e pisos já existentes com uso de placas de EPS de alta densidade. <b>..Erro! Indicador não definido.</b> |    |
| Figura 2 Pré-Expansor de EPS.....  | 19 |
| Figura 3 Estágios de Fabricação do EPS.....  | 20 |
| Figura 4 Composição e esquema do sistema de alvenaria com núcleo de EPS.....   | 21 |
| Figura 5 Paredes de EPS em processo de montagem.....   | 23 |
| Figura 6 Painel monolítico de EPS .....  | 24 |
| Figura 7 Ancoragem dos painéis do sistema de alvenaria com núcleo de EPS.....  | 26 |
| Figura 8 Construção com painéis sanduíche .....  | 26 |
| Figura 9 Aberturas de canais com soprador térmico. ....  | 27 |
| Figura 10 Imagem 3D do sistema monolítico com suas instalações .....   | 28 |
| Figura 11 Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....  | 32 |
| Figura 12 Classificação Climática de Thornthwaite do Estado de Alagoas .....   | 33 |
| Figura 13 Temperatura média máxima anual do ar do Estado de Alagoas .....  | 33 |
| Figura 14 Zona Bioclimática 7.....   | 34 |
| Figura 15 Mecanismos de Transferência de Calor.....  | 37 |
| Figura 16 Processo de mistura do concreto de forma mecânica .....  | 41 |
| Figura 17 Arranjo das malhas de aço e conectores do protótipo da parede sanduíche em concreto armado com núcleo de EPS .....           | 42 |
| Figura 18 Dimensões das malhas de aço da parede sanduíche com núcleo em EPS .....  | 43 |
| Figura 19 Malhas fixas no piso do laboratório. ....  | 44 |
| Figura 20 Vista Superior fôrma devidamente posicionada para concretagem do protótipo da parede sanduíche com núcleo em EPS .....       | 45 |
| Figura 21 Dimensões internas da forma para concretagem da parede sanduíche .....   | 45 |
| Figura 22 Protótipo da parede sanduíche com núcleo em EPS concretada .....   | 46 |
| Figura 23 Dimensões parede sanduíche com núcleo em EPS concretada .....  | 47 |
| Figura 24 Dimensões parede sanduíche com núcleo em EPS concretada .....  | 48 |
| Figura 25 Dimensões dos blocos de concreto e dos tijolos de solo de solo cimento com argila expandida .....                            | 49 |
| Figura 26 Protótipos das paredes e suas respectivas dimensões.....   | 49 |
| Figura 27 Posicionamento do soprador térmico durante a execução do experimento. ....   | 50 |
| Figura 28 Posicionamento do soprador térmico durante a execução do experimento. ....   | 51 |
| Figura 29 Medição de temperatura com a câmera térmica.....   | 52 |
| Figura 30 Imagens da câmera térmica durante a medição de temperatura de cada parede .....  | 52 |
| Figura 31 Gráfico de desempenho térmico das paredes.....   | 56 |
| Figura 32 Resultados das análises de temperatura .....   | 57 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 Condutividade térmica de materiais da construção civil.....   | 40 |
| Tabela 2 Resultado das medições de temperatura da parede de blocos de concreto.....                          | 54 |
| Tabela 3 Resultado das medições de temperatura da parede de tijolo ecológico com argila expandida.<br>.....  | 54 |
| Tabela 4 Resultado das medições de temperatura da parede sanduíche com núcleo em EPS .....                   | 55 |
| Tabela 5 Coeficiente de variação por minuto e desvio padrão dos dados da Parede de Bloco de<br>Concreto..... | 58 |
| Tabela 6 Coeficiente de variação por minuto e desvio padrão dos dados da Parede de BTC + A.....              | 59 |
| Tabela 7 Coeficiente de variação por minuto e desvio padrão dos dados da Parede com Núcleo em<br>EPS.....    | 59 |

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| <b>RESUMO</b> .....   | 8  |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | 9  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | 13 |
| <b>1.1 OBJETIVOS</b> .....  | 15 |
| 1.1.1 Objetivo Geral .....  | 15 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos .....   | 15 |
| <b>1.2 JUSTIFICATIVA</b> .....  | 16 |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....  | 17 |
| 2.1 USO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....  | 17 |
| 2.1.1 Processo de Fabricação do EPS .....                                       | 18 |
| 2.2 SISTEMA MONOLÍTICO DE VEDAÇÃO COM NÚCLEO DE POLIESTIRENO<br>EXPANDIDO ..... | 21 |
| 2.2.1 Montagem dos Painéis Sanduíches.....                                      | 23 |
| 2.2 CONFORTO TÉRMICO .....  | 29 |
| 2.2.1 CLIMA .....   | 31 |
| 2.3 NORMAS BRASILEIRA DE DESEMPENHO TÉRMICO .....                               | 36 |
| 2.3.1 NBR 15220 (ABNT, 2005) .....  | 36 |
| 2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR .....  | 36 |
| 2.4.1 CONDUÇÃO.....   | 37 |
| 2.4.2 CONVECÇÃO .....   | 38 |
| 2.4.3 RADIAÇÃO.....   | 38 |
| 2.5 RESISTÊNCIA TÉRMICA.....  | 39 |
| 2.6 CONDUTIVIDADE TÉRMICA .....   | 39 |
| <b>3 MÉTODOS</b> .....  | 41 |
| 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS NOS PROTÓTIPOS.....                                    | 41 |
| 3.2 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DOS PROTÓTIPOS.....                         | 42 |
| 3.3 MÉTODOS AVALIATIVOS DE DESEMPENHO TÉRMICO .....                             | 48 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCURSÕES</b> .....  | 52 |
| 4.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE TEMPERATURA .....                                | 53 |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....   | 60 |
| <b>REFERÊNCIAS</b> .....  | 62 |

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação crescente em atender os parâmetros de desempenho adequados e a necessidade de aumentar a produtividade dos processos que se aplicam a construção civil, visando gerar também economia de custos, revela a importância de avançar nos estudos de novos métodos e materiais que venham a ser empregados para a melhoria dos padrões de qualidade do setor, trazendo dessa forma, maiores benefícios para os usuários finais e construtores.

No mercado brasileiro da construção civil, ocorrem diversos problemas em consequência da ausência de inovações tecnológicas dos processos construtivos utilizados, segundo afirma Caram (2012). E conforme corrobora Costa *et al* (2014), é grande a competição das empresas para obter mais lucros, entretanto, o setor está atrasado em relação aos demais setores industriais.

A Norma de Desempenho, NBR 15575 (2013), trouxe exigências voltadas para o cumprimento de requisitos que beneficiem os usuários das edificações, como os requisitos relacionados a conforto térmico. Afim de atender as exigências da mesma, o setor da construção civil começou a ser mais disciplinado e a desenvolver novas técnicas e alternativas diferentes das comumente utilizadas.

Dentro deste cenário, as tipologias construtivas tradicionais como o sistema de alvenaria em blocos cerâmicos já não são tão efetivas para atender os requisitos de desempenho, além de gerarem uma grande quantidade de resíduos sólidos e custos maiores para os construtores. Pois, no mercado da construção residencial, vêm aumentando a busca por alternativas de novas técnicas construtivas que busquem trazer maior produtividade, construtividade, menor custo e desempenho ambiental (BARRETO, 2017).

No Brasil, de acordo com Medeiros (2017), o sistema construtivo enfatizado, faz uso de componentes industrializados que geram incontáveis benefícios para melhorar a produtividade e qualidade dentro da indústria da construção civil.

Dessa forma, considerando as necessidades do mercado atual, o sistema construtivo em painéis monolíticos em EPS se destaca por ser altamente vantajoso, apresentando inúmeros requisitos que se sobrepõem aos demais métodos construtivos adotados na atualidade, como: maior leveza, rápida execução, fácil manuseio e transporte, impermeabilidade, boa resistência, conforto térmico, conforto acústico, sustentabilidade e menor desperdício de materiais, pois os painéis são produzidos de forma personalizada para cada edificação.

Nas regiões de clima tropical das regiões brasileiras, mais precisamente do Sertão Alagoano, que possui condições térmicas que apresentam temperaturas elevadas em boa parte do ano, a procura pelo conforto térmico se faz cada vez mais necessária, relevante e de extrema importância. Pois, o isolamento das edificações buscando atender os parâmetros de desempenho por meio da impermeabilidade das paredes, acarretam além da sensação de conforto e satisfação aos usuários, a redução do consumo de energia e de impactos ambientais.

Levando em conta que a indústria da construção civil brasileira ainda apresenta inúmeras dificuldades em atender os parâmetros de desempenho e de conforto térmico como resultado da ausência de inovações tecnológicas. O sistema de alvenaria evidenciado foi escolhido por apresentar benefícios satisfatórios, pois atende aos requisitos de desempenho e de conforto térmico com eficácia, além de apresentar inúmeras vantagens quando comparado com alguns dos sistemas construtivos de vedação tradicionais (alvenaria com blocos de concreto e tijolo solo cimento).

Dessa maneira, a importância desta pesquisa consiste em analisar o sistema monolítico de vedação com núcleo de Poliestireno Expandido (EPS) com telas de aço revestidas em concreto, comparando o mesmo aos sistemas de vedação compostos por blocos de concreto e tijolo solo cimento com adição de argila expandida, buscando realizar estudos de novos métodos e materiais que venham a ser empregados para a melhoria dos padrões de qualidade do setor, apresentando uma alternativa de alvenaria que pode vir a gerar resultados mais efetivos para a indústria da construção civil e usuários acerca das características de conforto térmico, elevando a qualidade dos métodos utilizados pelos construtores,

oferecendo um bom isolamento térmico para as edificações e visando também reduzir o consumo de energia.

## **1.1 OBJETIVOS**

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo da presente pesquisa consiste em averiguar o comportamento térmico do sistema monolítico de vedação vertical com núcleo de poliestireno expandido (EPS).

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Confrontar os resultados obtidos através da medição de temperatura do sistema de vedação monolítico em EPS com os resultados obtidos para os sistemas de vedação compostos por blocos de concreto e tijolo solo cimento com adição de argila expandida, realizando ensaio com câmara térmica, considerando as determinações da NBR 15575 (ABNT, 2013), para fins de isolamento térmico.
- Analisar qual ou quais das alvenarias apresentam melhor desempenho térmico.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema da presente pesquisa surgiu por meio do interesse em estudar inovações tecnológicas no mercado da construção civil buscando materiais que tragam maiores benefícios para os profissionais da área e também atendam às necessidades locais de proporcionar maior conforto térmico aos usuários das edificações.

Tendo em vista o clima da cidade em que foi realizada a pesquisa e demais regiões com condições climáticas com temperaturas elevadas em boa parte do ano, e as dificuldades em encontrar métodos e materiais que sejam realmente eficazes em trazer conforto térmico, o método construtivo em destaque, foi escolhido por possuir qualidades superiores aos comumente utilizados na região, trazendo além de um melhor conforto térmico e acústico, maior produtividade, menos desperdícios e menor custo, de acordo com os materiais bibliográficos acessados.

O conforto térmico nas edificações, traz benefícios não somente em relação ao bem estar dos usuários das residências, mas também uma maior eficiência energética, fazendo com que sejam necessárias menos fontes de climatização artificial, o que acaba gerando também maior economia.

Dessa forma, as características de transferência de calor da parede sanduíche em concreto armado com núcleo em EPS foram analisadas, para comparar seus resultados com outros métodos utilizados na região, afim de apresentar as características térmicas desse método construtivo, contribuindo com a comunidade acadêmica e com a possível implementação futura desta parede que se mostra como uma boa alternativa a ser utilizada em regiões com climas de temperaturas elevadas.

Vale ressaltar também que o concreto armado foi utilizado no método construtivo pois os sistemas de paredes de concreto feitos com fôrmas, vem sendo bastante utilizado em construções do programa habitacional Minha casa, Minha vida,

associando este método com o método com núcleo em EPS, afim de apresentar um método que traga inovações, produtividade, conforto térmico e seja acessível para casas populares.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 USO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O poliestireno expandido (EPS) tem sido bastante utilizado na indústria da construção civil em setores como o de estradas, ferrovias e obras com grandes estruturas. Além de possuir grandes vantagens como leveza e excelente isolamento térmico e acústico, sua procura tem aumentado devido à busca por edificações com materiais mais sustentáveis.

*(Fonte: Isorecort, 2015)*



A Figura 1 demonstra uma das formas de aplicação do EPS na construção civil. O nivelamento de lajes e pisos já existentes pode ser realizado com placas de EPS de alta densidade, possibilitando uma maior agilidade no canteiro de obras, menor peso para as estruturas, além de possuir resistência necessária para suportar o alto tráfego sem sofrer deformações. Segundo Tessari (2006) o EPS tem sido muito empregado em preenchimento de lajes, devido ao seu baixo peso específico e resistência, além de atuar como isolante térmico de excelente qualidade para lajes

telhados e paredes. O EPS é um material isolante que é capaz de suportar grandes variações de temperaturas, suportando intervalos de -50° a +80° Celsius (COMISSÃO SETORIAL DE EPS,2007).

Tessari (2006), também afirma que:

O uso de EPS para isolamento vem crescendo consideravelmente tanto em câmaras construídas em alvenaria como pré-fabricadas. Os painéis pré-fabricados do tipo sanduíche destinados ao isolamento de câmaras com núcleo em EPS podem ser utilizados tanto nas paredes quanto no teto. (2006, p. 76).

A Associação Europeia de EPS, EUMEPS (2007) afirma que o EPS possui uma participação de 35% no mercado de isolamento térmico no setor de indústrias de construção civil da Europa. Sendo um material reconhecido por possuir certificações ambientais, possuindo boa avaliação de desempenho e sustentabilidade nos últimos 40 anos.

Moraes (2015) ressalta que:

“dentre as possibilidades no uso do EPS, observou-se que em todo o mundo, a mais utilizada ainda tem sido a produção de painéis de vedação e divisórias. Isso ocorre em função das propriedades de isolamento termo acústico que o mesmo oferece.” (MORAES e BRASIL, 2015, p. 05).

Como citado anteriormente, o EPS se destaca bastante por suas propriedades de isolamento térmico e acústico. Esta característica faz com que, no setor da construção civil de todo o mundo, este material esteja sendo utilizado majoritariamente na concepção de painéis de vedação e divisórias.

### 2.1.1 Processo de Fabricação do EPS

Soares (2014), assegura que o EPS foi concebido pela primeira vez na Alemanha em 1949 pelos químicos Fritz Stasny e Karl Bochholz e após sua criação, seu consumo e produção têm crescido de forma significativa. Conforme a norma DIN ISSO 1043/78, este material é produto da polimerização do estireno (que é um material derivado do petróleo) em água.

De acordo com a Associação Europeia de EPS o processo de fabricação do EPS possui 5 estágios:

“1. Pré-expansão: Os grânulos de poliestireno são expandidos por exposição livre ao vapor para formar grânulos maiores, cada um consistindo de uma série de células não interconectadas.

2. Condicionamento: Após a expansão, os grânulos ainda contêm pequenas quantidades de vapor condensado e gás pentano. À medida que esfriam, o ar se difunde gradualmente para os poros, substituindo, em parte, os outros componentes.

3. Moldagem: As contas são moldadas para formar placas, blocos ou produtos personalizados. O molde serve para dar forma e reter a pré-espuma, e o vapor é novamente usado para promover a expansão. Durante a moldagem, o vapor provoca a fusão de cada cordão com seus vizinhos, formando um produto homogêneo.

4. Modelagem: Após um curto período de resfriamento, o bloco moldado é removido da máquina e, após condicionamento adicional, pode ser cortado ou moldado conforme necessário usando elementos de fio quente ou outras técnicas apropriadas.

5. Processamento de pós-produção: O produto acabado pode ser laminado com folhas, plásticos, feltro para telhado, painel de fibra ou outros revestimentos, como material de revestimento de telhado ou parede.” (EUMEPS, 2007).

A Associação Europeia de EPS, EUMEPS (2007) também afirma que no processo de expansão o agente expansor faz com que o poliestireno se expanda para um volume cerca de 40 vezes maior que o original, fazendo com que surja um granuloso com partículas de EPS. A Figura 2 demonstra o equipamento utilizado na etapa de pré – expansão dos grânulos de poliestireno.

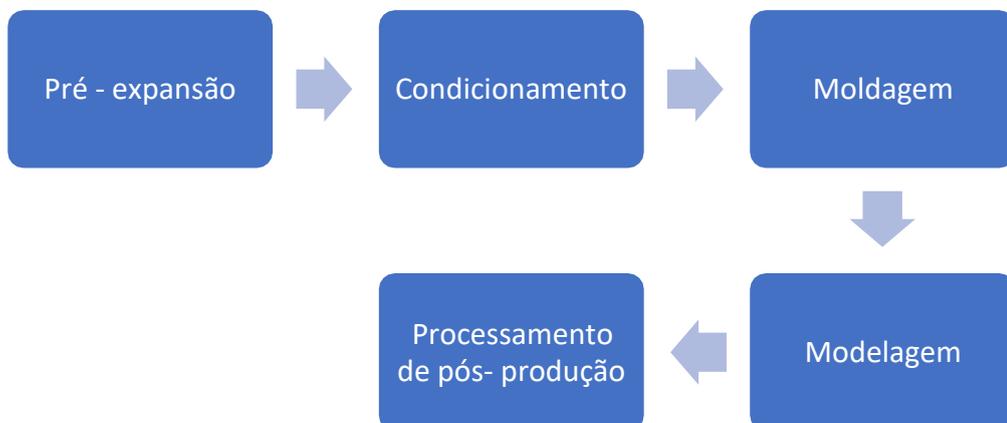
Figura 1 Pré-Expansor de EPS.



(Fonte: NKL CHINA, 2019)

Na fase de estabilização, o EPS é resfriado, fazendo com que diminua a pressão interior entre os granulados, e conforme essa pressão diminui, os espaços vazios são preenchidos pelo ar presente no ambiente. Em seguida, o granulado é inserido em moldes e exposto novamente ao vapor de água que faz com que eles se unam, resultando assim em um material expandido, rígido e com grande quantidade de ar em seu interior. O Fluxograma da Figura 3 a seguir resume o processo de produção do EPS, conforme A Associação Européia de EPS, EUMEPS (2007).

Figura 2 Estágios de Fabricação do EPS.



(Fonte: Autora, 2021)

O processo de produção permite que sejam obtidos inúmeros tipos de EPS com características diferentes, como densidades e formatos que dependem da forma com que serão utilizados. Em consequência da versatilidade deste material, o mesmo pode ser utilizado em inúmeras áreas, desde embalagens e peças automotivas a áreas da construção civil, onde pode ser utilizado de diversas formas, como blocos aplicados em lajes treliçadas, placas para painéis sanduiches, e também em nivelamento de solos. (MEDEIROS, 2017).

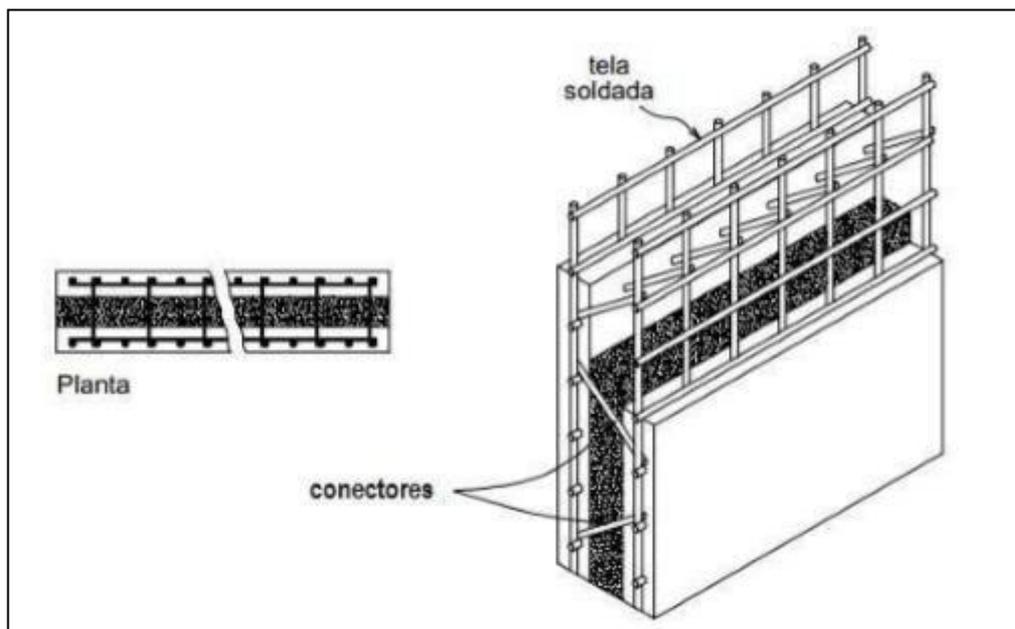
O poliestireno expandido se destaca por ser um material totalmente reciclável e reaproveitável, dessa forma não polui o meio ambiente. Em 1m<sup>3</sup> de EPS, existem de 2 a 6 bilhões de células preenchidas com ar, uma das características que garantem propriedades físicas como leveza, e isolamento térmico e acústico. (ABRAPREX, 2000).

Os produtos derivados de EPS também se destacam por serem sustentáveis pois não contaminam o solo, a água e nem o ar, são inodoros, não poluentes, fisicamente estáveis, 100% reaproveitáveis e recicláveis, e podem ser reciclados diversas vezes sem que percam suas propriedades físicas e mecânicas. (ABRAPREX, 2000).

## 2.2 SISTEMA MONOLÍTICO DE VEDAÇÃO COM NÚCLEO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO

O sistema monolítico de vedação com núcleo de EPS, é originalmente constituído por três camadas, sendo uma placa de EPS em seu núcleo e duas camadas de revestimento estrutural (argamassa armada) composto por telas eletrosoldadas revestidas por argamassa assim como ilustra a Figura 4, porém, eles podem ser constituídos de diferentes formas.

Figura 3 Composição e esquema do sistema de alvenaria com núcleo de EPS.



(Fonte: BERTINI, 2002, p.18)

De acordo com Bertini (2002) o sistema pode ser caracterizado como sendo paredes sanduíche, pois: “Uma estrutura mista do tipo sanduíche é composta por duas ou mais camadas de materiais diferentes, fazendo com que o conjunto ganhe em termos estruturais.” Segundo Pickard (1990), foi Victor Weisman, que em 1967 criou e apresentou a primeira patente de um sistema de paredes sanduíche similar aos encontrados atualmente no mercado da construção civil atual.

Conforme corrobora Bertoldi (2007), o sistema monolítico de vedação com núcleo em EPS, surgiu na Itália em 1980, em uma localidade do país de invernos rigorosos e submetida a terremotos, com o intuito de atender a condições climáticas severas, proporcionando resistência e características necessárias para assegurar conforto e segurança ao usuário. Ainda de acordo com Bertoldi (2007), este sistema começou a ser utilizado no Brasil na década de 90, porém ainda na atualidade é pouco utilizado pela maioria dos construtores e usuários que preferem os sistemas mais convencionais.

Este método construtivo se destaca não somente por seu desempenho térmico, mas também por possuir peso específico inferior aos demais sistemas de alvenaria convencionais, o que faz com que os custos de obra e o consumo de energia utilizados em futuros sistemas de refrigeração sejam significativamente

reduzidos. O método também proporciona a otimização dos processos construtivos gerando assim economia de tempo (MEDEIROS, 2017).

Figura 4 Paredes de EPS em processo de montagem.



(Fonte: Isorecort, 2020)

O sistema pode ser composto por materiais isolantes como poliestireno ou poliuretano armados com tela soldada que estão interligadas por outras barras soldadas e revestidas por argamassa que confere ao mesmo uma configuração com uma grande rigidez.

Segundo Lueble (2004), o sistema consegue aliar os requisitos de desempenho térmico, resistência, facilidade de aplicação, possui também menor tempo de execução e consumo de mão de obra que os métodos de vedação tradicionais, além de produzir uma quantidade inferior de resíduos que podem vir a ser reaproveitados posteriormente, se mostrando dessa forma, como um bom método alternativo em relação aos demais comumente utilizados.

#### 2.2.1 Montagem dos Painéis Sanduíches

Os painéis sanduíches com núcleo em EPS podem ser concebidos in loco manualmente, ou industrializados, onde são fabricados painéis com malhas e placas de EPS cortadas e devidamente montadas, sendo necessário, neste caso, somente realizar o devido posicionamento, amarração dos painéis e aplicação do revestimento estrutural.

Kiesewetter (2007), afirma que:

“A construção das paredes requer a montagem de grandes painéis compostos de chapas EPS com densidade de 15 kg/m<sup>3</sup> a 16 kg/m<sup>3</sup> do tipo 4F (NBR 11949), de no mínimo 80 mm, que são cortadas de acordo com a especificação de cada projeto. Na sequência, duas telas de aço eletrosoldadas de 3,4 mm de 15 cm x 15 cm fazem um sanduíche da peça e são presas por grampos. Os painéis de EPS podem ser ondulados, retangulares ou duplos, e sua utilização, como veremos a seguir, será determinada pela capacidade de se preencher as cavidades com argamassa, para que se formem micro colunas de reforço. Na construção de prédios com vários pavimentos, os painéis principais de sustentação devem ser duplos, com espaço variável entre eles, conforme a altura do edifício, e serão preenchidos com concreto estrutural. No final, o aspecto da edificação será de uma construção tradicional de alvenaria.” (KIESEWETTER, 2007).

Medeiros (2017) assegura que o processo de fabricação in loco acontece quando não há existência de indústrias especializadas em produzir os painéis próximas ao local da edificação, o que faz com que o frete possua valores por vezes muito altos e a obra se torna inexecutável. A produção manual faz com que o tempo de execução seja maior, porém, o desempenho dos painéis consegue ser mantido.

As dimensões comumente utilizadas dos painéis industrializados são 100x1000x2800mm, a execução de seu posicionamento e amarração não necessitam da utilização de maquinário de grande porte, como também de mão de obra especializada. Todavia, a sequência adequada de montagem deve ser obedecida para que não haja problemas posteriores (MEDEIROS, 2017).

Figura 5 Paineis monolíticos de EPS.



*(Fonte: EME Industria de EPS, 2019)*

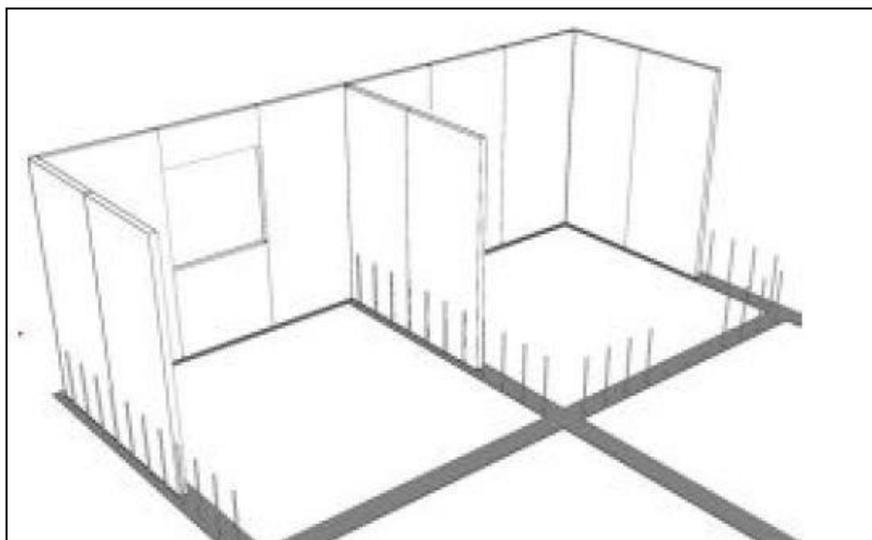
Para que seja iniciado o processo de montagem, a locação e fundação da edificação devem estar prontas. A metodologia construtiva mais indicada para a fundação é a do tipo radier, que deve ser dimensionada em conformidade com a NBR – 6118 (ABNT, 2014). Entretanto, devido a leveza das peças do método construtivo empregado, em alguns tipos de terreno podem ser utilizados outros tipos de fundações de custo inferior, como a fundação do tipo sapata corrida. Vale ressaltar que o projetista deve ser o responsável pela escolha do melhor tipo de fundação a ser utilizado de acordo com suas análises.

A fixação dos painéis industrializados na fundação é realizada por meio de sua base linearmente ou intercaladas, utilizando barras de aço CA – 50 de 8mm de diâmetro, com 30cm de espaçamento entre elas procurando sempre posicionar uma barra no centro de cada painel. Deve ser utilizado o engasgamento das barras na fundação de no mínimo 10 cm e ancoragem mínima de 30 cm (PRETEC, 2017).

Destarte, o material utilizado para serem realizadas as amarrações do sistema deve ser compatível com o sistema, é recomendado o uso do arame recozido nº 18 para evitar corrosões e rompimento da estrutura. As amarrações podem ser realizadas com o uso da torques e alicate ou para maior agilidade no tempo de execução, é recomendado o uso de grampeadores pneumáticos (MEDEIROS, 2017).

O posicionamento das barras de ancoragem pode ser realizado no momento da execução da fundação ou após a finalização da mesma, efetuando furos na estrutura e utilizando adesivo epóxi para executar a ancoragem. Na Figura 7 e 8 estão representadas a fixação dos painéis com as barras de aço devidamente espaçadas de acordo com o gabarito de obra (MEDEIROS, 2017).

Figura 6 Ancoragem dos painéis do sistema de alvenaria com núcleo de EPS.



(Fonte: PRETEC, 2017)

Figura 7 Construção com painéis sanduiche.



(Fonte: 100form, 2015)

Medeiros (2017) afirma que após o processo de ancoragem deve ser realizado o travamento dos painéis com escoras metálicas ou de madeira e reforços estruturais nos locais de aberturas das esquadrias e nos cantos existentes, para garantir que as paredes possuam resistência, alinhamento e prumo adequados.

Em seguida, devem ser executadas as instalações prediais, onde são instalados os tubos referentes ao sistema hidrossanitário e as instalações elétricas prediais que são embutidas nas paredes com núcleo de EPS utilizando um soprador térmico ou facas para fazer cortes e abrir os canais no EPS necessários para acomodar as instalações assim como apresentado na figura 9 (MEDEIROS, 2017).

Figura 8 Aberturas de canais com soprador térmico.



(Fonte: Tecnopanel, 2017)

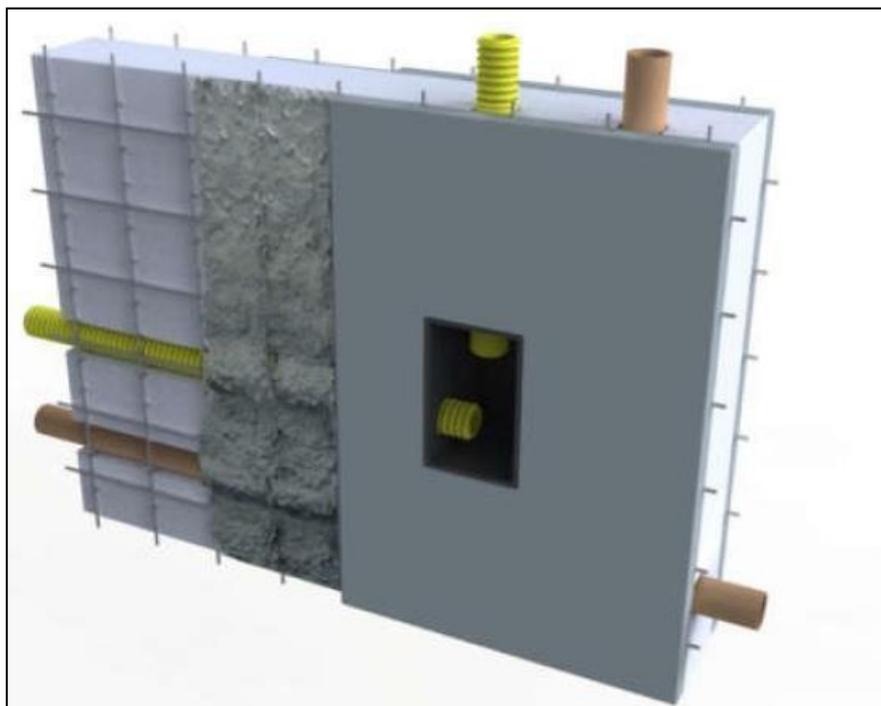
Após a devida instalação dos tubos, a argamassa projetada deve ser aplicada. A estrutura precisa ser bem travada para que não venha a se locomover durante as etapas de execução, garantindo a qualidade do sistema.

O processo de aplicação da argamassa projetada pode ser manual ou com projeção pneumática afim de tornar a obra mais produtiva. O cobrimento da armadura das malhas de aço precisa estar de acordo com o mínimo exigido pela NBR 11.173 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,1990).

A espessura final da argamassa armada é definida através do emestramento. É recomendado que a argamassa seja projetada de cima para baixo com espessura inicial de 10mm, após o período de pega inicial para não haver deslizamento das

camadas até que se atinja a espessura final que varia entre 10 a 15mm. Na figura 10 está representado o esquema interno dos painéis com suas respectivas camadas e materiais utilizados.

Figura 9 Imagem 3D do sistema monolítico com suas instalações.



(Fonte: EPS Aço Painéis, 2021)

Quanto ao que se refere a cobertura deste sistema, são indicadas lajes com características similares as dos painéis sanduiches, compostas com três camadas considerando as camadas de compressão e de tração deste elemento estrutural. Pode ser utilizado também o método de lajes treliçadas, com vigotas estruturais e preenchimentos em EPS, este método construtivo é indicado para lajes de piso.

Fuhr (2017) afirma que,

Esta tecnologia pode substituir alguns elementos estruturais, necessários no sistema convencional, como estruturas de concreto armado, com suas fôrmas e armaduras, alvenarias, revestimentos argamassados e isolações horizontais e verticais. Logo, facilita-se a execução, pois os elementos citados possuem interação complexa entre as uniões. O sistema com painéis monolíticos em EPS apresenta característica de carregamento distribuído e economia nas fundações, devido à redução do peso próprio.

Existem ainda maneiras de utilizar estruturas mistas com os painéis sanduiche com núcleo em EPS unidos a estruturas em concreto armado, dependendo da necessidade da edificação e da elaboração de cálculos do projetista

responsável, empregando as ancoragens necessárias para unir os elementos estruturais aos painéis de EPS. De acordo com Fonsêca (1994), “a principal consideração a ser feita sobre o uso da teoria do concreto armado no cálculo de painéis sanduíche diz respeito à indeterminação no grau de composição entre as duas placas de concreto”.

O sistema de alvenaria com núcleo em EPS pode ser utilizado em diversos tipos de edificações e possui diversos benefícios em comparação com os sistemas comumente utilizados, como: sustentabilidade, leveza, padrão de qualidade, rápida execução, fácil manuseio e transporte, impermeabilidade, alta resistência e ótimo conforto termoacústico.

Levando em consideração os benefícios do sistema relacionados ao desempenho térmico, é válido destacar também a eficiência energética que a utilização do mesmo proporciona as edificações. O EPS possibilita um ótimo isolamento térmico, que impacta diretamente na redução dos custos com climatização artificial.

## 2.2 CONFORTO TÉRMICO

No período clássico, edifícios eram considerados como um local que tem a obrigação de proporcionar funcionalidade. Todavia, os mesmos precisam ser notados como espaços que devem promover também eficiência energética, proporcionando conforto térmico, acústico e visual além de baixo consumo de energia. As pessoas da antiguidade já buscavam métodos construtivos que visavam a melhoria do conforto térmico, apesar de não haver climatização artificial na época. (LAMBERTS, 2014).

De acordo com Frota e Schiffer (2001), a arquitetura se adequa ao clima de uma determinada região quando possibilita condições de conforto ao homem através dos espaços construídos. Os autores ainda afirmam que compete também a arquitetura das edificações, suavizar as sensações de desconforto causadas por excessos de calor, frio ou ventos, possibilitando, ao menos, o mesmo conforto de espaços ao ar livre em climas mais brandos.

Conforme a NBR 15220, (2005) da ABNT, conforto térmico é a “satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente”. Já Lamberts (2016), afirma que “conforto térmico se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. Este estado de desconforto e não satisfação é acarretado pelas sensações de frio ou calor, na ocasião em que não existe balanço térmico no ambiente. E a ASHRAE 55 (2017) define o conforto térmico como sendo o estado da mente que reflete a satisfação térmica com o ambiente.

DeDear, Brager e Cooper (1997), complementaram a definição de conforto térmico da ASHRAE (2017), afirmando que o conforto térmico é obtido quando não é necessário para o indivíduo fazer alguma modificação térmica no ambiente.

Xavier (2000), afirma que as pesquisas brasileiras relacionadas a conforto térmico eram praticamente inexistentes até 1996, e Monteiro (2008) complementa também que as pesquisas realizadas são consideradas limitadas levando em conta a diversidade climática do Brasil. Já Panet (2016), declara que a maior parte dos estudos com foco em definir os parâmetros de conforto térmico no nordeste brasileiro, analisam as regiões de clima quente e húmido.

Atualmente, devido ao número pequeno de estudos nacionais e a atual ausência de normas ou guias para conforto térmico, a norma americana SHERAE 55 é incorporada no Brasil (RUPP, 2018). A norma americana ASHRAE 55 (2017) que se refere as condições térmicas ambientais para a ocupação humana em ambientes é utilizada para avaliação de conforto térmico em ambientes internos.

A análise de conforto térmico se torna algo subjetivo, pois, também deve-se levar em consideração aspectos psicológicos, fisiológicos e físicos que variam de indivíduo para indivíduo. Se faz necessário basear os estudos de conforto térmico em 3 fatores: Satisfação do ser humano em sentir – se termicamente confortável, a produtividade intelectual e manual e a conservação de energia em ambientes climatizados artificialmente (LAMBERTS, 2006).

Lamberts *et al.* (2016), declaram que existem inúmeras variáveis relacionadas ao conforto térmico, as variáveis humanas por exemplo, dependem do metabolismo

e da resistência térmica atribuída as roupas. Também são consideradas as variantes ambientais, como a temperatura do ar, temperatura radiante média, humidade e velocidade relativa do ar da região.

Já Costa (2003), afirma que “a temperatura juntamente com a umidade são os responsáveis pelas trocas de calor com o exterior, efetuadas pelo corpo humano e determinam para o ambiente suas características de conforto térmico”. E Frota e Schiffer (2007), explicam que com o aumento da humidade do ar, as partículas de água também estão em maior quantidade, e estas atuam como obstáculos para a radiação solar que atinge o solo ao longo do dia e também funcionam como barreira para o calor disseminado pelo solo na parte da noite.

O isolamento térmico também é um termo considerado ao analisar as definições relacionadas a conforto térmico. De acordo com Thomaz e Ishioka (2017), o isolamento térmico diz respeito também a redução do consumo de energia, não apenas ao conforto térmico. Ademais, reduz pontes térmicas que geram a condensação, por meio do melhoramento da impermeabilidade das paredes.

Frota e Schiffer (2001), afirmam que dentre os efeitos do clima, o Sol, atingindo os edifícios, constitui em maior ou menor escala, um ganho de calor. Destacando também que “Esse ganho de calor será função da intensidade da radiação solar incidente e das características térmicas dos materiais desses paramentos.” (FROTA E SCHIFFER, 2001).

### 2.2.1 CLIMA

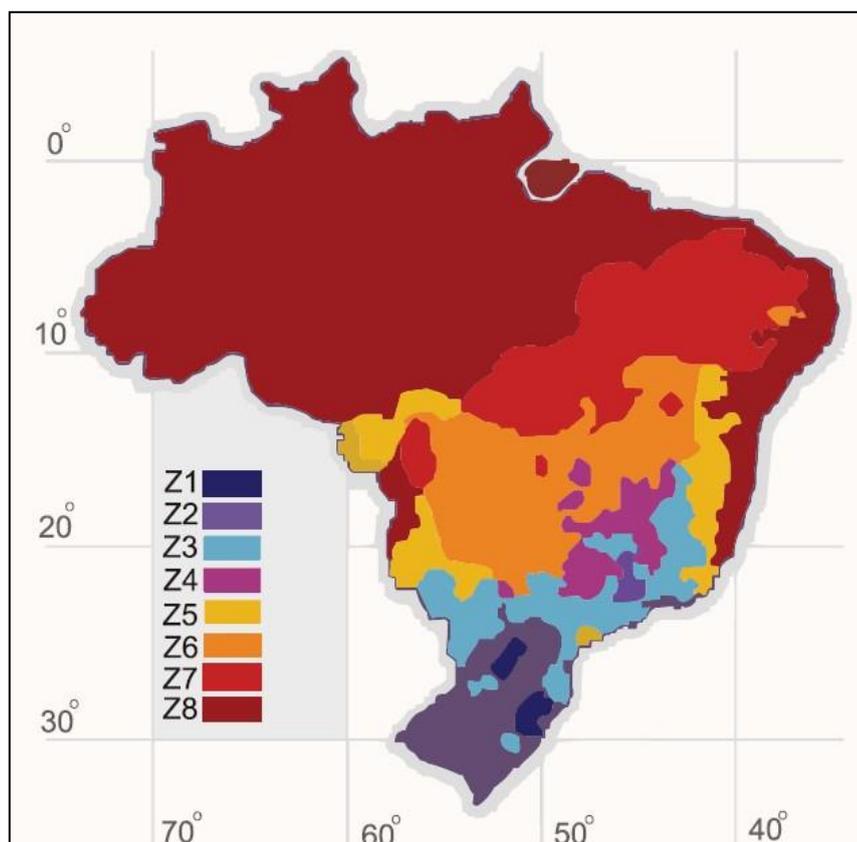
Considerando os fatores climáticos de uma região e como os mesmos afetam o desempenho térmico das edificações, Frota e Schiffer (2001), destacam que as variáveis climáticas que mais interferem no desempenho térmico das edificações são a oscilação diária e anual da temperatura e humidade relativa, quantidade de radiação solar, grau de nebulosidade do céu, sentido dos ventos e também índices pluviométricos.

Rolim et al. (2007) afirmam que o clima pode ser compreendido como o conjunto das condições atmosféricas médias de uma determinada região, também

asseguram que os sistemas que classificam as variações climáticas possuem grande importância, pois definem os climas analisando e levando em conta diversos elementos relacionados ao clima simultaneamente, favorecendo a troca e análise de informações para finalidades diferentes.

O Brasil possui uma grande variedade de climas que são apresentados na NBR 15220 (ABNT, 2005), esta norma apresenta oito Zonas Bioclimáticas pertencentes ao zoneamento bioclimático brasileiro, considerando temperaturas, umidade relativa do ar e suas respectivas médias, máximas e mínimas mensais e anuais. Fornecendo também orientações construtivas para as edificações de cada zona climática, englobando tipos de vedações e técnicas para adotar o condicionamento térmico passivo. A Figura 11 apresenta as 8 Zonas Bioclimáticas no território brasileiro de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

Figura 10 Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



(Fonte: NBR 15220, 2005)

Segundo a NBR 15220 (2005), o desempenho térmico de uma edificação pode ser avaliado tanto na fase de projeto, como também após a construção. Na

fase de projeto, a análise de desempenho pode ser realizada através de simulação computacional e também por meio de análise das diretrizes construtivas. Já após a construção, esta avaliação pode ser efetuada por meio de medições no local e de análises de parâmetros que estejam relacionados ao desempenho térmico.

De acordo com dados da Climatologia do Estado de Alagoas (EMBRAPA, 2012), o município de Delmiro Gouveia, localizado no extremo Oeste do estado de Alagoas, pertence a região do Semiárido do estado. A Figura 12 expõe a classificação climática de Thornthwaite do Estado de Alagoas de acordo com a Climatologia do Estado de Alagoas.

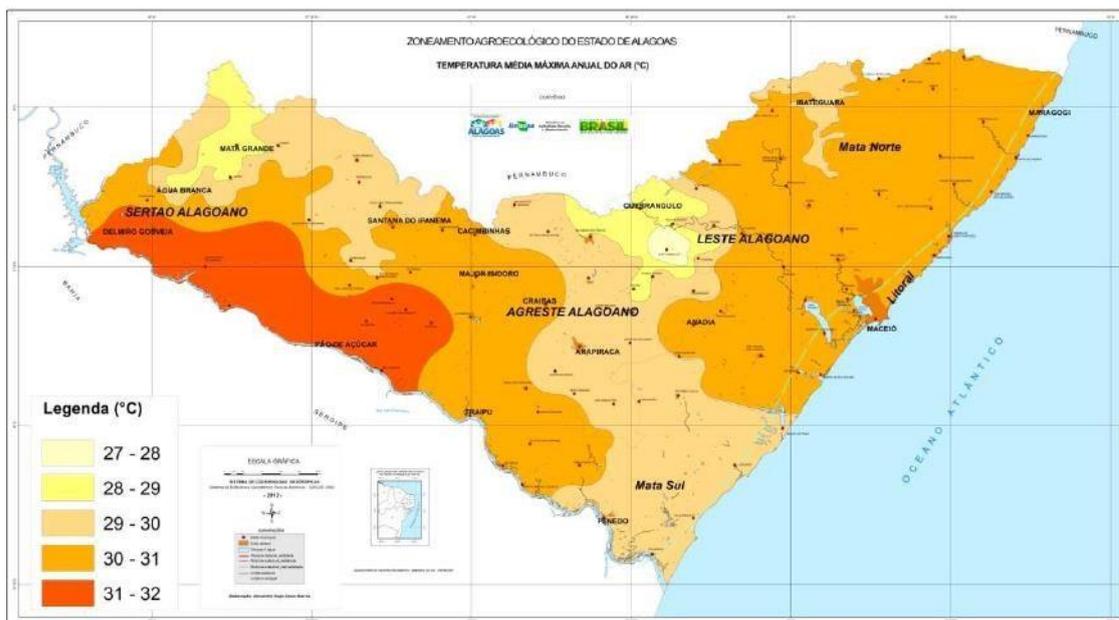
Figura 11 Classificação Climática de Thornthwaite do Estado de Alagoas.



(Fonte: EMBRAPA, 2012)

Ainda conforme EMBRAPA (2012), Delmiro Gouveia tem o clima quente e seco a maior parte do ano, e pertence ao sertão alagoano, possuindo temperatura média máxima anual de 31°C a 32°C. A Figura 13 apresenta a temperatura média máxima anual do ar em °C do estado de Alagoas, no qual é possível localizar o município na região mais laranja do gráfico.

Figura 12 Temperatura média máxima anual do ar do Estado de Alagoas.



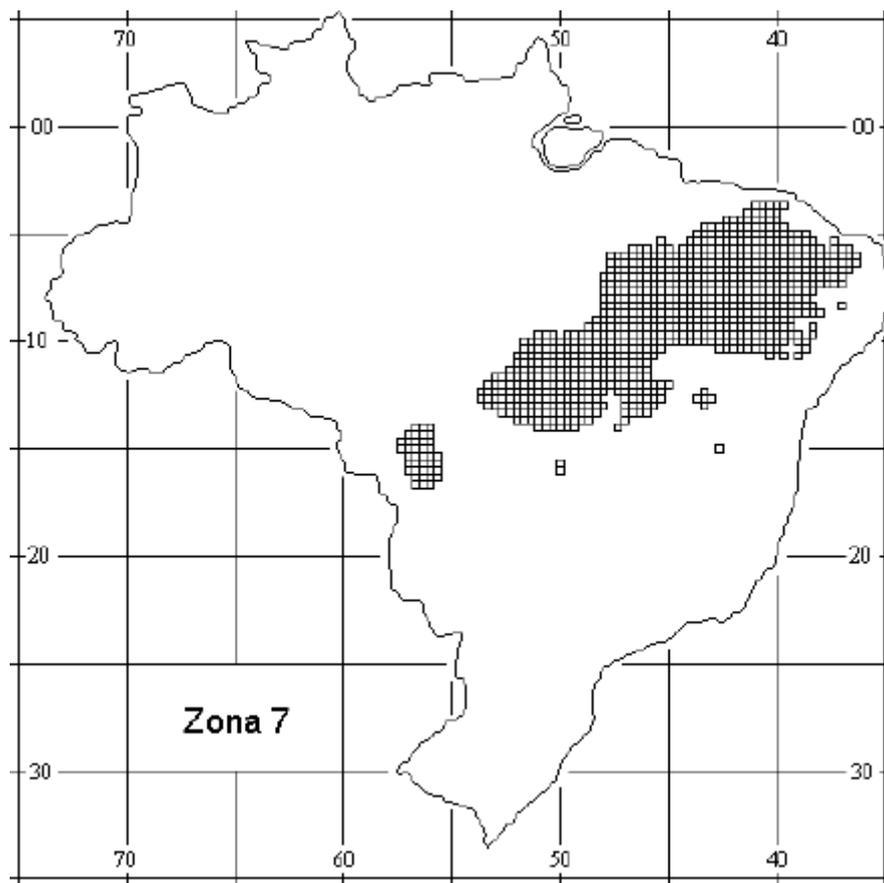
(Fonte: EMBRAPA, 2012)

Em conformidade com as informações fornecidas pela NBR15220 (ABNT, 2005), o município de Delmiro Gouveia do sertão alagoano se encaixa de forma melhor as características climáticas pertencentes a Zona Bioclimática 7. Esta zona se destaca por possuir clima quente com menor variação ao longo do ano e está presente em 12,6% do território brasileiro (BAGNATI, 2013).

A NBR15220 (ABNT, 2005) afirma também que 39 cidades pertencem a Zona Bioclimática 7. As diretrizes construtivas para esta zona incluem adotar estratégias que proporcionem a ventilação seletiva (ventilação nos períodos quentes quando a temperatura interna seja maior que a externa), parede e coberturas pesadas e aberturas para ventilação pequenas e sombreadas (NBR15220, 2005).

A Figura 14 também extraída da NBR 15220 apresenta e destaca a Zona Bioclimática 7 no território brasileiro.

Figura 13 Zona Bioclimática 7.



(Fonte: NBR 15220, ABNT 2005)

Para que um edifício possua um bom desempenho térmico é necessário analisar bem as características climáticas do local onde está inserido, e por meio destas informações, adotar as melhores técnicas e orientações construtivas para esta região. Nas regiões de clima quente e seco, é indicado que as edificações possuam ventilação natural de forma controlada, para que propiciem a renovação do ar nos cômodos sem causar incômodos aos usuários (SOUZA, 2006).

A NBR 15220 (ABNT,2005) também destaca que temperaturas mais agradáveis no interior das edificações localizadas na Zona 7 podem ser alcançadas utilizando paredes e coberturas com massa térmica maior, dessa forma, o calor absorvido durante o dia pode ser evacuado para o exterior durante a noite, caracterizando assim uma ventilação seletiva. Já as aberturas das esquadrias das edificações situadas na Zona 7, devem possuir entre 10% a 15% da área do piso para cada ambiente (ABNT ,2005).

A escolha adequada dos materiais, a correta definição dos volumes arquitetônicos e captação de luz e ventilação natural sem aumentar a carga térmica

da edificação são de extrema importância para proporcionar conforto térmico aos usuários das edificações em função das condições climáticas de cada região. (BARBORA, LIMA, 2010)

## 2.3 NORMAS BRASILEIRA DE DESEMPENHO TÉRMICO

### 2.3.1 NBR 15220 (ABNT, 2005)

A ABNT NBR 15220 (ABNT, 2005), Desempenho térmico de Edificações, possui 5 partes, e cada uma delas contém dados, definições e recomendações relacionadas ao desempenho térmico das edificações no território brasileiro.

Na presente pesquisa, foram extraídas das tabelas da Parte 1 da NBR 15220 (ABNT, 2005), as definições de resistência e condutividade térmica dos materiais, e também os dados referentes as propriedades térmicas dos materiais.

Vale ainda ressaltar que, as informações contidas na Parte 3 da NBR 15220 (ABNT, 2005) referentes ao zoneamento bioclimático do Brasil e suas 8 diferentes zonas foram analisadas no trabalho em questão.

Neste estudo, foram destacadas as recomendações de desempenho térmico para habitações da Zona 07 em que está localizado o município de Delmiro Gouveia - AL, e detalhadas as estratégias de condicionamento térmico passivo para esta zona.

## 2.4 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

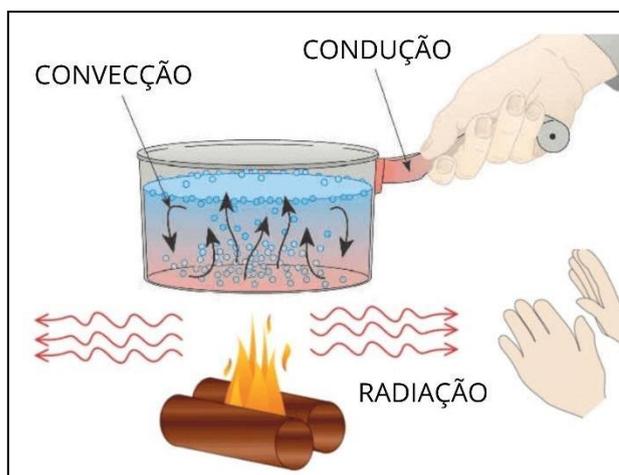
Costa (2003), afirma que para que ocorra transferência de calor é necessário que haja uma diferença de temperatura entre dois ou mais meios. Já Incropera *et al* (2011), ressaltam que a transferência de calor é a movimentação da energia térmica em decorrência de diferenças de temperatura no espaço.

O processo de transferência de calor acontece de forma espontânea dos corpos com maior temperatura para corpos com menor temperatura. Essa transferência de calor entre os corpos envolvidos, finaliza quando estes alcançam o equilíbrio térmico possuindo a mesma temperatura (MARTINI *et al.*, 2016).

Na área da construção civil se faz necessário entender os mecanismos de troca de calor e formas de transferência térmica, para que seja possível analisar as propriedades térmicas dos materiais que proporcionam maior conforto térmico para os usuários das edificações. Os painéis sanduíche com núcleo em EPS são uma das alternativas de técnicas de vedação que proporcionam maior conforto térmico, devido as características dos materiais utilizados.

De acordo com Costa (2003) o processo de transferência de calor pode acontecer de três formas: condução, convecção e radiação. Na Figura 15 estão apresentados de forma ilustrativa como ocorrem os mecanismos de transferência de calor.

Figura 14 Mecanismos de Transferência de Calor.



(Fonte: Thermal Engineering, 2019)

#### 2.4.1 CONDUÇÃO

A transferência de calor por condução é a transmissão de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos distintos que estão em contato, sem que haja deslocamento dos materiais dentro do sistema (COSTA, 2003).

Para que a condução térmica aconteça é necessário que exista um meio material que possibilite a propagação de calor. Assim, a condução térmica ocorre em partículas que estão no estado sólido, líquido e também gasoso. Na física, a condutividade térmica difere os materiais de acordo com sua respectiva capacidade

de conduzir calor, como: bons condutores que possuem maior condutividade e maus condutores que têm condutividade menor (MARTINI, 2016).

Martini (2016) afirma ainda que, “A condução térmica é um processo de propagação de calor que se realiza pela transmissão da agitação térmica de partículas de uma região com maior temperatura para partículas de uma região vizinha com menor temperatura”.

#### 2.4.2 CONVECÇÃO

A convecção é um processo caracterizado pela movimentação de matéria entre as regiões de um corpo ou meio e acontece somente em meios fluidos (estado líquido e gasoso), em razão da diferença de densidade destes fluidos. (MARTINI, 2016).

Já Costa (2003), assegura que convecção é a transferência de calor das zonas de um fluido em razão do movimento das partículas do mesmo, como consequência de uma diferença de pressão ocasionada pela mudança de temperatura e densidade desse meio fluido.

E Lamberts (2016) atesta que a convecção acontece quando pelo menos um dos corpos que estão em contato molecular é um fluido. O calor é transferido inicialmente por condução e após a alteração de temperatura o fluido sofre alteração em sua densidade o ocasiona a movimentação do mesmo e assim a convecção (LAMBERTS, 2016).

#### 2.4.3 RADIAÇÃO

A transferência de calor por meio da radiação ocorre quando a energia é conduzida através de ondas eletromagnéticas e este processo não depende do meio material e pode ocorrer tanto em meios materiais como no vácuo também (MARTINI, 2016).

Já Frota e Schiffer (2007) asseguram que a radiação é a troca de calor de corpos por meio da capacidade dos mesmos de absorver e emitir energia térmica.

Esse fenômeno acontece como consequência da natureza eletromagnética, que, quando absorvida, acarreta efeitos térmicos que não necessitam de um meio para sua propagação (FROTA E SCHIFFER, 2007).

Independente da temperatura em que se encontram, os corpos possuem a capacidade de emitir energia térmica e quando maior a temperatura maior também será a intensidade dessa radiação emitida. Ao serem expostos a energia radiante, os corpos absorvem uma parte dessa energia e outra parte é refletida e pode ser transmitida pelos mesmos. Quando recebem energia radiante os corpos são aquecidos de forma proporcional a sua capacidade de absorver esta energia (BARRETO FILHO e XAVIER, 2016).

Barreto Filho e Xavier (2016), também afirma que de forma geral corpos de cores claras e superfícies polidas possuem baixa capacidade de absorção e alta refletividade e corpos escuros têm alta capacidade de absorção de energia radiante e baixa refletividade.

## 2.5 RESISTÊNCIA TÉRMICA

A NBR 15220 (ABNT, 2005), define a resistência total de um elemento como o somatório das resistências térmicas que correspondem as camadas do mesmo, levando em consideração as resistências superficiais interna e externas. Já Costa (2003), define a resistência térmica como a dificuldade em transmitir calor de determinado material, e ainda que quanto menor for a condutividade térmica de um material, maior será sua resistência térmica.

## 2.6 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade térmica pode ser definida como a taxa de transferência de calor que depende da unidade de área e da espessura de cada material e indica a energia que é transferida no processo de difusão de forma específica para os diferentes materiais (INCROPERA, 2008; KAPUNO; RATHORE, 2011).

A Tabela 1 possui os valores referentes a condutividade térmica de diferentes matérias utilizados na construção civil conforme os dados fornecidos na NBR 15220 (ABNT, 2005).

Tabela 1 Condutividade térmica de materiais da construção civil.

| <b>Material</b>           | <b>Condutividade Térmica<br/>(W/(m.K))</b> |
|---------------------------|--|
| Argamassa Comum           | 1,15                                       |
| Concreto Normal           | 1,75                                       |
| Gesso                     | 0,5  |
| Tijolos e Telhas de Barro | 0,7  |
| EPS                       | 0,04                                       |
| Madeira                   | 0,29                                       |
| PVC                       | 0,2  |
| Vidro                     | 1  |

(Fonte: NBR 15220, 2005)

### 3 MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS NOS PROTÓTIPOS

Para realizar a confecção do painel sanduiche com núcleo de EPS, foram necessárias realizar algumas adaptações in loco, para que fosse possível construir o protótipo em laboratório.

Os materiais utilizados na composição do protótipo foram: uma placa de EPS com as dimensões de (1,00x0,40x0,07) m que foi comprada no comércio local, barras de aço CA - 50 com 5 mm de diâmetro e arame recozido necessários para a montagem do arranjo das malhas e conectores, o concreto que foi totalmente produzido in – loco com areia, brita, cimento, um aditivo multifuncional plastificante p/ concreto e argamassa dissolvido em água (foram utilizados 1,5 ml para cada kg de cimento utilizado), água e também madeiras para a montagem da fôrma para concretagem.

O concreto produzido in loco possui traço (1 : 1,13 : 1,62 : 0,44), o traço do concreto foi calculado previamente afim de obter a resistência de Fck 25 Mpa, utilizando cimento Portland composto com pozolana (CP IV) também comprado na região. Vale ressaltar que o traço do concreto utilizado foi confirmado por meio de ensaio de resistência a compressão com corpo de prova. A mistura do concreto foi feita de forma mecânica com a betoneira existente no Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal de Alagoas – UFAL Campus do Sertão e sua aplicação na fôrma foi realizada de forma manual.

A Figura 16 mostra o processo de mistura do concreto produzido in loco com a betoneira no Laboratório de Materiais de Construção da UFAL Campus do Sertão.

Figura 15 Processo de mistura do concreto de forma mecânica.



*(Fonte: Autora, 2021)*

### 3.2 ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E MONTAGEM DOS PROTÓTIPOS

Para as análises do presente trabalho, o painel simples da parede sanduiche foi composto por telas constituídas por barras de aço amarradas com arame recozido e cobertas com concreto produzido in loco, que substituiu a argamassa, e uma placa de EPS com 0,07 m de espessura em seu núcleo. O arranjo das malhas de aço e conectores deste sistema está apresentado na Figura 17 logo abaixo.

Figura 16 Arranjo das malhas de aço e conectores do protótipo da parede sanduiche em concreto armado com núcleo de EPS.

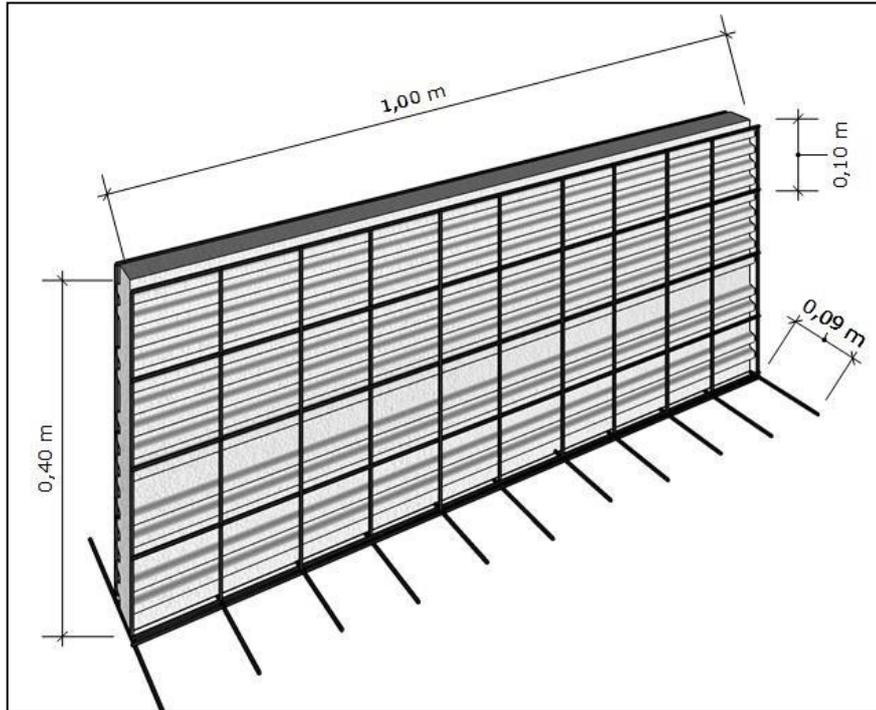


*(Fonte: Autora, 2021)*

Primeiramente, foi realizada a amarração e soldagem das barras de aço de forma manual. As barras de aço CA - 50 com 5mm de diâmetro foram amarradas com arame recozido, formando uma malha com 0,10 m de espaçamento entre as barras. As duas malhas foram unidas entre si com 03 conectores em aço CA – 50 com 5mm e soldadas de forma simultânea em uma base também confeccionada manualmente em aço CA – 50, e fixadas com parafusos chumbadores para que seja possível firmar o protótipo da parede no piso do laboratório.

A Figura 18 representa o modelo do protótipo da parede com núcleo em EPS e as dimensões das malhas de aço utilizadas.

Figura 17 Dimensões das malhas de aço da parede sanduíche com núcleo em EPS.



(Fonte: Autora, 2021)

A Figura 19 mostra os parafusos chumbadores que fixaram o protótipo da parede sanduiche com núcleo em EPS no piso do laboratório de materiais.

Figura 18 Malhas fixas no piso do laboratório.



(Fonte: Autora, 2021)

Em seguida, foi confeccionada a fôrma em madeira para que fosse possível realizar a concretagem do protótipo. A fôrma foi montada com as dimensões necessárias para comportar adequadamente o arranjo com as malhas e EPS já chumbadas no piso. As dimensões internas da forma foram de (1,00x0,40x0,25)m, com 0,09 m de espessura de vão de cada lado das malhas para receber o volume de concreto.

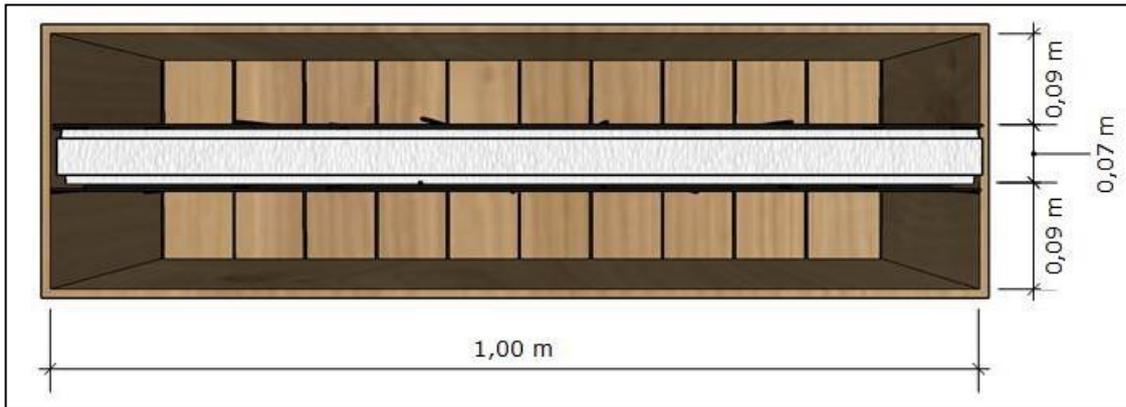
Nas Figuras 20, e 21, é possível ver a fôrma em madeira já confeccionada e posicionada, com as malhas de aço em seu interior, e suas respectivas dimensões.

Figura 19 Vista Superior fôrma devidamente posicionada para concretagem do protótipo da parede sanduíche com núcleo em EPS.



(Fonte: Autora, 2021)

Figura 20 Dimensões internas da forma para concretagem da parede sanduíche.



(Fonte: Autora, 2021)

Posteriormente, com a fôrma devidamente posicionada e impermeabilizada, foi realizada a concretagem da parede in loco. O Concreto com traço (1:1,13: 1,62 : 0,44), foi aplicado manualmente nos vãos da fôrma, após serem misturados de forma mecânica as quantidades de cimento Portland, areia, brita e água, com a betoneira. Em seguida, foi realizada a cura do concreto por sete dias consecutivos e a superfície do concreto foi molhada com água pelo menos duas vezes ao dia.

Na Figura 22, está apresentada a parede já concretada, desenformada e ainda em processo de cura. É possível averiguar as dimensões gerais do protótipo parede com núcleo em EPS de diferentes ângulos.

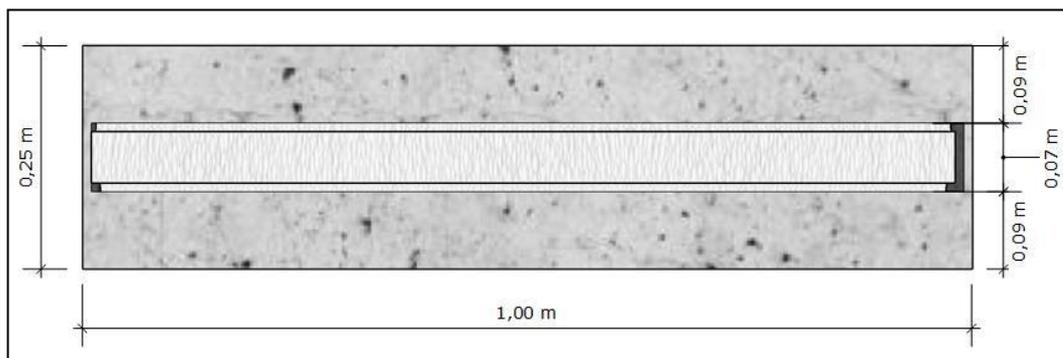
Figura 21 Protótipo da parede sanduíche com núcleo em EPS concretada.



*(Fonte: Autora, 2021)*

Nas imagens é possível observar as dimensões correspondentes aos diferentes materiais utilizados na parede. Vale ressaltar que a parede foi construída com dimensões maiores que a maioria das paredes utilizadas na região, afim de proporcionar um maior conforto térmico, caracterizando um protótipo com massa térmica superior, para que o calor absorvido durante o dia possa ser evacuado para o exterior durante a noite, de acordo com as recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2005). Na figura 23 estão especificadas as dimensões da parede sanduíche com núcleo em EPS.

Figura 22 Dimensões parede sanduíche com núcleo em EPS concretada.



(Fonte: Autora, 2021)

A Figura 24, contém as principais etapas do processo de construção da parede em concreto com núcleo em EPS, desde a fixação das malhas no piso no laboratório com a placa de EPS posicionada no núcleo até a parede concretada e desenhada.

Figura 23 Dimensões parede sanduíche com núcleo em EPS concretada.



(Fonte: Autora, 2021)

### 3.3 MÉTODOS AVALIATIVOS DE DESEMPENHO TÉRMICO

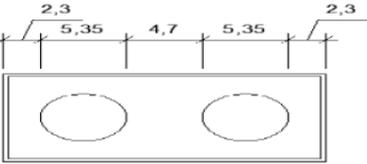
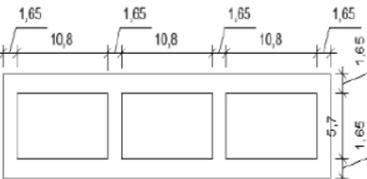
A etapa seguinte, foi efetuar a avaliação do desempenho térmico das diferentes paredes, afim de analisar os resultados obtidos de cada uma delas. Além

do protótipo da parede sanduiche com núcleo em EPS, foram também analisados outros dois tipos de paredes, a alvenaria composta com bloco de concreto e BTC +A (Bloco de terra comprimida com adição de argila expandida).

As paredes compostas com bloco de concreto e BTC com argila expandida, são protótipos já existentes no Laboratório de Materiais da UFAL Campus do Sertão, na cidade de Delmiro Gouveia - AL e foram também utilizadas em trabalhos anteriores.

Romão (2019), foi o responsável por confeccionar os tijolos de BTC com adição argila expandida. Romão (2019), produziu os BTC com traço de 1:10, proporções referentes ao cimento e ao solo utilizado, e 30% de argila expandida adicionada ao traço. A Figura 25 apresenta as dimensões dos blocos em concreto e dos tijolos de solo cimento com argila expandida de acordo com Romão (2019).

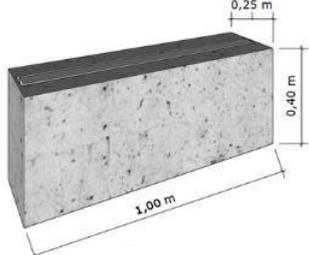
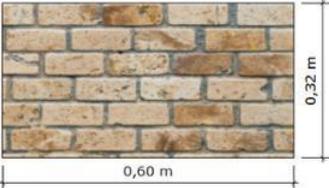
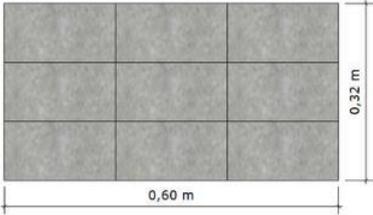
Figura 24 Dimensões dos blocos de concreto e dos tijolos de solo de solo cimento com argila expandida.

| TIJOLO/ BLOCO  | DIMENSÕES  |
|--|--|
| <p align="center"><b>TIJOLO DE SOLO CIMENTO<br/>COM ARGILA EXPANDIDA</b></p> |  |
| <p align="center"><b>BLOCO DE<br/>CONCRETO</b></p>                           |  |

(Fonte: Adaptado de Romão, 2019)

A Figura 26 apresenta cada protótipo das paredes e suas respectivas dimensões gerais.

Figura 25 Protótipos das paredes e suas respectivas dimensões.

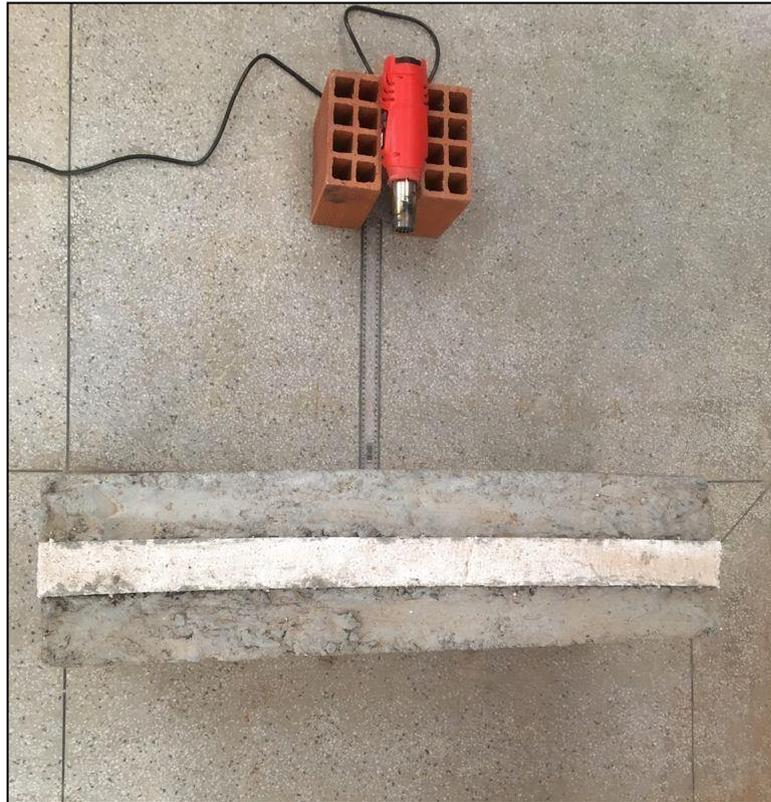
| ALVENARIA   | DIMENSÕES GERAIS (M)  |
|---|---|
| <p align="center"><b>PAREDE SANDUÍCHE COM NÚCLEO EM EPS</b></p>             |  |
| <p align="center"><b>ALVENARIA DE SOLO CIMENTO COM ARGILA EXPANDIDA</b></p> |   |
| <p align="center"><b>ALVENARIA COM BLOCO DE CONCRETO</b></p>                |  |

*(Fonte: Autora (2021))*

Para efetuar as medições de temperatura de cada parede, foi utilizada uma câmara térmica localizada com afastamento de 1,50 m de cada parede, e, um soprador térmico com emissão de calor constante que foi posicionado a uma distância de 40 cm de cada uma delas como fonte de calor. Assim, as paredes foram monitoradas com a câmara térmica enquanto o soprador estava ligado, durante um intervalo de 23 min, e as medições de temperatura dos protótipos foram anotadas a cada 1 min.

As Figuras 27 e 28 mostram o posicionamento do soprador térmico durante a execução do experimento.

Figura 26 Posicionamento do soprador térmico durante a execução do experimento.



*(Fonte: Autora, 2021).*

Figura 27 Posicionamento do soprador térmico durante a execução do experimento.



*(Fonte: Autora, 2021).*

#### 4 RESULTADOS E DISCURSÕES

As medições de temperatura aferidas com a câmera térmica no intervalo de 23 minutos em todos os protótipos analisados no presente trabalho, foram executadas de forma consecutiva, dessa forma, não houve uma grande diferença na temperatura ambiente durante a execução do experimento. As temperaturas do ambiente durante a realização do ensaio, para cada protótipo, foram:

- Parede com Tijolo de solo cimento com argila expandida: 28,7 °C
- Parede com bloco de concreto: 29,2 °C
- Parede sanduiche com núcleo em EPS: 29,5 °C

Na Figura 29, está registrado o momento da medição com a câmera térmica na parede de BTC +A analisada na presente pesquisa.

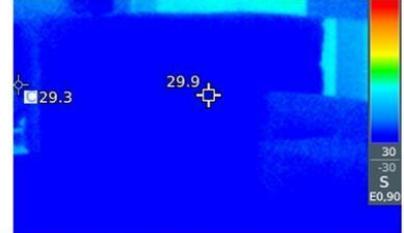
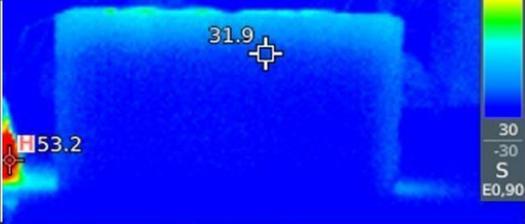
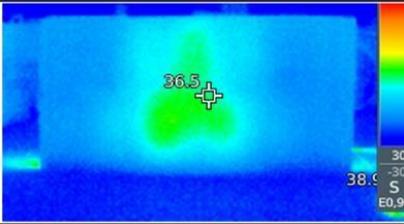
Figura 28 Medição de temperatura com a câmera térmica.



(Fonte: Autora, 2021)

Na Figura 30 é possível averiguar as imagens da câmera térmica durante a medição de temperatura de cada parede.

Figura 29 Imagens da câmera térmica durante a medição de temperatura de cada parede.

| ALVENARIA   | MEDIÇÕES DE TEMPERATURA COM A CÂMERA TÉRMICA. (°C)                                  |
|---|---|
| <p align="center"><b>PAREDE SANDUÍCHE COM NÚCLEO EM EPS</b></p>             |   |
| <p align="center"><b>ALVENARIA DE SOLO CIMENTO COM ARGILA EXPANDIDA</b></p> |   |
| <p align="center"><b>ALVENARIA COM BLOCO DE CONCRETO</b></p>                |  |

*(Fonte: Autora, 2021)*

Considerando as imagens referentes as medições de temperatura durante o ensaio, apresentadas na Figura 30, vale ressaltar que a parede composta por blocos de concreto apresentou uma considerável concentração de calor na região onde estava posicionado o soprador térmico, já as paredes de BTC+A e com núcleo em EPS houve uma distribuição melhor do calor na superfície da parede, apesar da fonte de temperatura ser pontual.

#### 4.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES DE TEMPERATURA

Com os resultados das medições de temperatura de cada parede, foi possível construir uma tabela com estes dados obtidos para cada uma delas. Dessa forma, na Tabela 2 estão evidenciados os resultados das medições de temperatura da parede composta por blocos de concreto.

Tabela 2 Resultado das medições de temperatura da parede de blocos de concreto.

| <b>Parede de Bloco de Concreto (Temperatura Amb. : 29,2°C)</b> |                   |                       |                   |                       |                   |
|--|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>1 Min -10 Min</b>   |                   | <b>11 Min -20 Min</b> |                   | <b>21 Min -23 Min</b> |                   |
| <b>Min.</b>  | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> |
| 1  | 30,6              | 11                    | 33,3              | 21                    | 36,2              |
| 2  | 31,1              | 12                    | 33,7              | 22                    | 36,5              |
| 3  | 31,3              | 13                    | 34,1              | 23                    | 36,9              |
| 4  | 31,5              | 14                    | 34,6              |                       |                   |
| 5  | 32,1              | 15                    | 34,7              |                       |                   |
| 6  | 32,3              | 16                    | 35,1              |                       |                   |
| 7  | 32,5              | 17                    | 35,1              |                       |                   |
| 8  | 32,7              | 18                    | 35,5              |                       |                   |
| 9  | 32,8              | 19                    | 35,6              |                       |                   |
| 10   | 33,3              | 20                    | 35,9              |                       |                   |

(Fonte: Autora, 2021)

Com os resultados obtidos acima, foi realizada a subtração entre a temperatura no minuto 23, e a temperatura no minuto 1, e foram obtidos dessa forma, o valor do aumento de temperatura para cada parede. Assim, os resultados a seguir foram adquiridos para a parede composta por blocos de concreto:

- Bloco de concreto:  $36,9 - 30,6 = 6,3$  °C.

Já a parede composta por tijolos ecológicos apresentou os seguintes resultados para as medições de temperatura, que estão demonstrados na Tabela 3:

Tabela 3 Resultado das medições de temperatura da parede de tijolo ecológico com argila expandida.

| <b>Parede de Tijolo Ecológico com argila expandida (Temperatura Amb. : 28,7°C)</b> |                   |                       |                   |                       |                   |
|--|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>1 Min -10 Min</b>   |                   | <b>11 Min -20 Min</b> |                   | <b>21 Min -23 Min</b> |                   |
| <b>Min.</b>  | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> |
| 1  | 30,6              | 11                    | 31,5              | 21                    | 32,6              |
| 2  | 30,8              | 12                    | 31,5              | 22                    | 32,6              |
| 3  | 30,4              | 13                    | 31,7              | 23                    | 32,7              |
| 4  | 30,4              | 14                    | 31,8              |                       |                   |
| 5  | 30                | 15                    | 31,7              |                       |                   |
| 6  | 30,4              | 16                    | 32                |                       |                   |
| 7  | 31,2              | 17                    | 32,4              |                       |                   |
| 8  | 31,3              | 18                    | 32,4              |                       |                   |
| 9  | 31,4              | 19                    | 32,5              |                       |                   |
| 10   | 31,3              | 20                    | 32,5              |                       |                   |

(Fonte: Autora, 2021)

A partir dos resultados das medições de temperatura para a parede de BTC+A, foi calculado o aumento de temperatura que ocorreu durante o ensaio para a mesma:

- Tijolo de solo cimento com argila expandida:  $32,7 - 30,6 = 2,1 \text{ °C}$

A parede sanduiche com núcleo em EPS, alcançou os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 Resultado das medições de temperatura da parede sanduíche com núcleo em EPS.

| Parede com núcleo em EPS (Temperatura Amb. : 29,5°C) |            |                |            |                |            |
|--|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| 1 Min -10 Min  |            | 11 Min -20 Min |            | 21 Min -23 Min |            |
| Min.   | Temp. (°C) | Min.           | Temp. (°C) | Min.           | Temp. (°C) |
| 1  | 30         | 11             | 30,7       | 21             | 31         |
| 2  | 30,2       | 12             | 30,6       | 22             | 31,1       |
| 3  | 30,3       | 13             | 30,8       | 23             | 31,1       |
| 4  | 30,4       | 14             | 30,7       |                |            |
| 5  | 30,5       | 15             | 30,7       |                |            |
| 6  | 30,4       | 16             | 30,8       |                |            |
| 7  | 30,5       | 17             | 30,9       |                |            |
| 8  | 30,6       | 18             | 31         |                |            |
| 9  | 30,5       | 19             | 31         |                |            |
| 10   | 30,6       | 20             | 30,9       |                |            |

(Fonte: Autora, 2021)

Desse modo, os resultados a seguir foram obtidos para a parede sanduíche com núcleo em EPS:

- Parede sanduiche com núcleo em EPS:  $30,0 - 31,1 = 1,1 \text{ °C}$

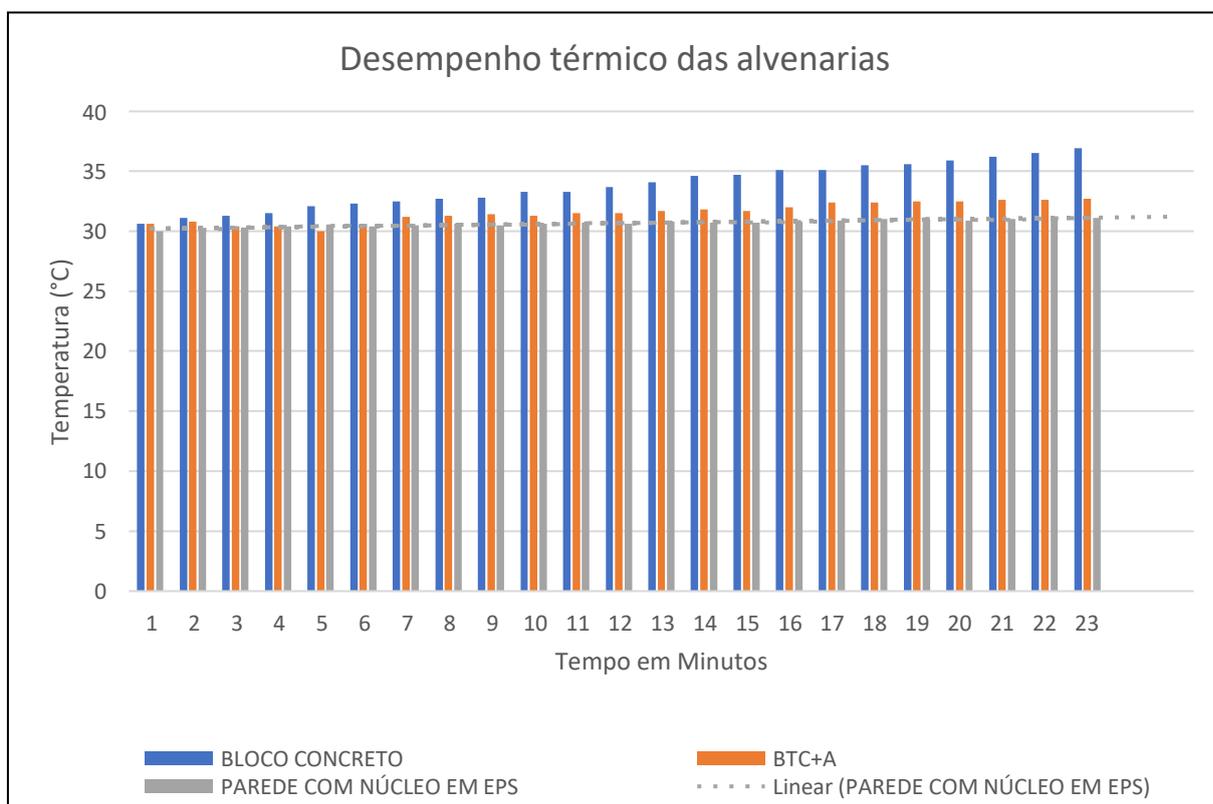
Com os resultados das medições de temperatura, pode – se constatar que a parede sanduíche com núcleo em EPS, alcançou os resultados esperados das medições de temperatura, obtendo uma diferença de aumento de temperatura 82,6% que a parede com blocos de concreto e 47,62% menor que o protótipo composto por BTC+A.

A partir dos dados obtidos das análises térmicas dos protótipos é possível confirmar que, como esperado, devido as características da condutividade térmica dos materiais do protótipo construído no presente trabalho, a parede em concreto

com núcleo em EPS apresentou melhor conforto térmico quando comparada as demais paredes.

No gráfico presente na figura 31 estão representados os resultados das medições de temperatura, neste gráfico é possível constatar que e os resultados alcançados pela parede com núcleo em EPS estão abaixo dos demais protótipos analisados nesta pesquisa.

Figura 30 Gráfico de desempenho térmico das paredes.



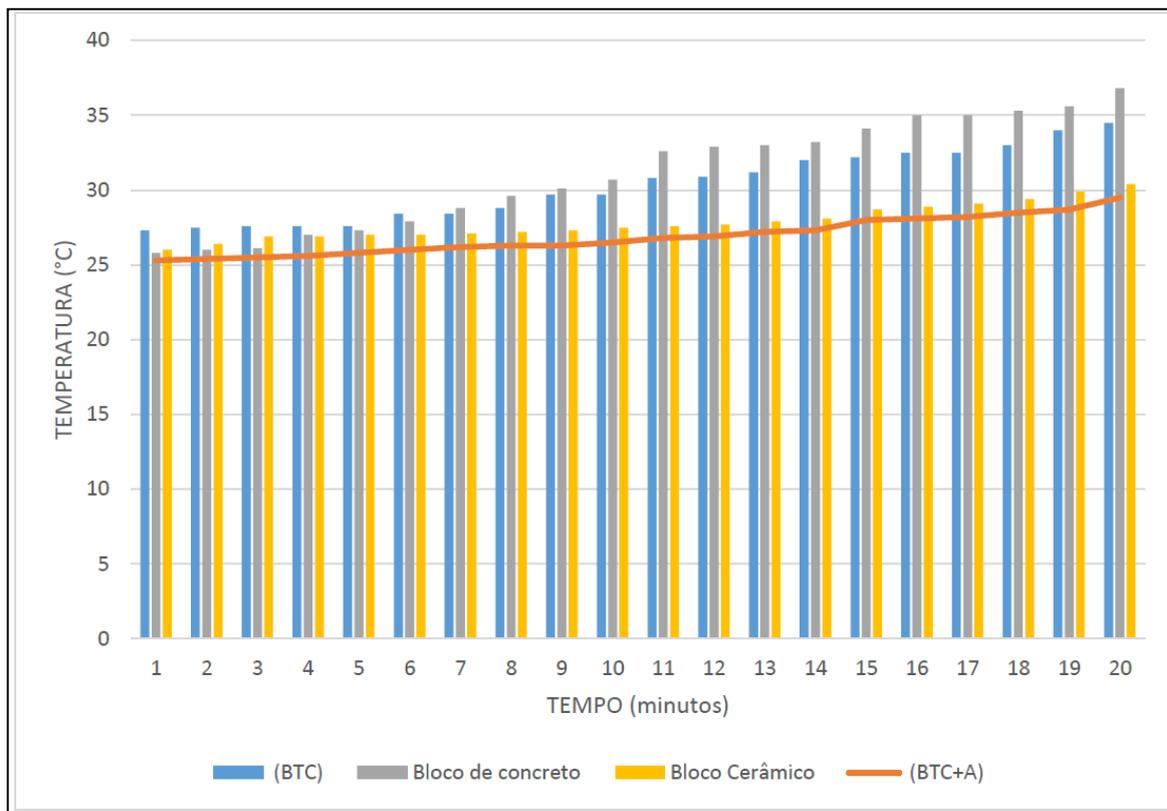
(Fonte: Autora, 2021)

As análises de temperatura da presente pesquisa podem ser comparadas com os resultados obtidos por Romão (2019), já que este autor confeccionou os protótipos com tijolo de solo cimento com adição de argila expandida e com blocos de concreto, realizando também análises de desempenho térmico com estas paredes. Vale ressaltar que Romão (2019) realizou as análises e medições de temperaturas de forma semelhante as apresentadas neste trabalho, utilizando soprador térmico como fonte de calor e câmara térmica para aferir as temperaturas.

O Gráfico, presente na figura 32 apresenta os resultados alcançados por Romão (2019) em suas análises práticas de desempenho térmico. O autor analisou

análises com duas das paredes utilizadas na presente pesquisa: As paredes em BTC+A e em bloco de concreto.

Figura 31 Resultados das análises de temperatura.



(Fonte: Romão, 2019)

Romão (2019), também analisou uma alvenaria composta por blocos cerâmicos, utilizada comumente na região do alto sertão alagoano, e constatou que o protótipo da parede em BTC+A obteve resultados de medições de temperatura inferiores aos demais analisados por ele, como é possível observar na Figura 32.

Comparando os dados obtidos por Romão (2019) com as análises do presente trabalho, a parede sanduíche com núcleo em EPS apresentou resultado mais satisfatório que a alvenaria composta por tijolos solo cimento com adição de argila expandida, em destaque no trabalho de Romão (2019).

Por meio dos resultados obtidos com as medições de temperatura do presente trabalho, foi possível obter a média de temperatura de cada parede considerando o tempo de 23 min analisado. Dessa forma, foram adquiridos os seguintes resultados de acordo com os dados das Tabelas 2, 3 e 4:

- Tijolo de solo cimento com argila expandida: 31,55 °C
- Bloco de concreto: 33,8 °C
- Parede sanduiche com núcleo em EPS: 30,66 °C

Diante dos resultados obtidos, é possível atestar que a parede sanduiche com núcleo em EPS oferece o melhor conforto térmico, e maior estabilidade levando em consideração as variações de temperatura durante o ensaio, enquanto a parede com bloco de concreto obteve o pior resultado e maior aumento de temperatura.

Foram calculados, ainda, o desvio padrão para cada parede analisada neste trabalho. Utilizando a Equação 1 os cálculos relacionados ao desvio padrão para as análises de temperatura de cada parede foram encontrados.

$$\sqrt{\frac{\sum(X - M)^2}{N}} \quad (1)$$

Onde, no trabalho em questão:

M = Média das temperaturas de cada parede.

X = Medição de temperatura em cada minuto.

N = Quantidade de minutos em que a temperatura foi aferida.

Desse modo, nas Tabelas 5, 6 e 7 estão apresentados os resultados do coeficiente de variação para cada minuto em que a temperatura foi averiguada e o resultado do cálculo de desvio padrão para cada parede, com base nos resultados obtidos das medições.

Tabela 5 Coeficiente de variação por minuto e desvio padrão dos dados da Parede de Bloco de Concreto.

| Parede de Bloco de Concreto ((X-M) <sup>2</sup> ) |            |                |            |                |            |
|---|------------|----------------|------------|----------------|------------|
| 1 Min -10 Min                                     |            | 11 Min -20 Min |            | 21 Min -23 Min |            |
| Min.  | Temp. (°C) | Min.           | Temp. (°C) | Min.           | Temp. (°C) |
| 1   | 10,24      | 11             | 0,25       | 21             | 5,76       |
| 2   | 7,29       | 12             | 0,01       | 22             | 7,29       |
| 3   | 6,25       | 13             | 0,09       | 23             | 9,61       |
| 4   | 5,29       | 14             | 0,64       |                |            |
| 5   | 2,89       | 15             | 0,81       |                |            |
| 6   | 2,25       | 16             | 1,69       |                |            |
| 7   | 1,69       | 17             | 1,69       |                |            |
| 8   | 1,21       | 18             | 2,89       |                |            |

|  |      |    |      |  |                 |
|--|------|----|------|--|-----------------|
| 9  | 1    | 19 | 3,24 |  |                 |
| 10   | 0,25 | 20 | 4,41 |  |                 |
| Desvio Padrão: $\sqrt{(\sum [(X-M)^2]) / N}$ |      |    |      |  | <b>1,826615</b> |

(Fonte: Autora, 2021)

Tabela 6 Coeficiente de variação por minuto e desvio padrão dos dados da Parede de BTC + A.

| <b>Parede de Tijolo Ecológico com argila expandida ((X-M)<sup>2</sup>)</b> |                   |                       |                   |                       |                   |
|--|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>1 Min -10 Min</b>   |                   | <b>11 Min -20 Min</b> |                   | <b>21 Min -23 Min</b> |                   |
| <b>Min.</b>  | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> |
| 1  | 0,906635          | 11                    | 0,002722          | 21                    | 1,09794           |
| 2  | 0,565766          | 12                    | 0,002722          | 22                    | 1,09794           |
| 3  | 1,327505          | 13                    | 0,021853          | 23                    | 1,317505          |
| 4  | 1,327505          | 14                    | 0,061418          |                       |                   |
| 5  | 2,409244          | 15                    | 0,021853          |                       |                   |
| 6  | 1,327505          | 16                    | 0,200548          |                       |                   |
| 7  | 0,124026          | 17                    | 0,718809          |                       |                   |
| 8  | 0,063592          | 18                    | 0,718809          |                       |                   |
| 9  | 0,023157          | 19                    | 0,898374          |                       |                   |
| 10   | 0,063592          | 20                    | 0,898374          |                       |                   |
| Desvio Padrão: $\sqrt{(\sum [(X-M)^2]) / N}$                               |                   |                       |                   |                       | <b>0,812869</b>   |

(Fonte: Autora, 2021)

Tabela 7 Coeficiente de variação por minuto e desvio padrão dos dados da Parede com Núcleo em EPS.

| <b>Parede com núcleo de EPS ((X-M)<sup>2</sup>)</b> |                   |                       |                   |                       |                   |
|---|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| <b>1 Min -10 Min</b>                                |                   | <b>11 Min -20 Min</b> |                   | <b>21 Min -23 Min</b> |                   |
| <b>Min.</b>   | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> | <b>Min.</b>           | <b>Temp. (°C)</b> |
| 1   | 0,442514          | 11                    | 0,00121           | 21                    | 0,112079          |
| 2   | 0,216427          | 12                    | 0,004253          | 22                    | 0,189036          |
| 3   | 0,133384          | 13                    | 0,018166          | 23                    | 0,189036          |
| 4   | 0,07034           | 14                    | 0,00121           |                       |                   |
| 5   | 0,027297          | 15                    | 0,00121           |                       |                   |
| 6   | 0,07034           | 16                    | 0,018166          |                       |                   |
| 7   | 0,027297          | 17                    | 0,055123          |                       |                   |
| 8   | 0,004253          | 18                    | 0,112079          |                       |                   |
| 9   | 0,027297          | 19                    | 0,112079          |                       |                   |
| 10  | 0,004253          | 20                    | 0,055123          |                       |                   |
| Desvio Padrão: $\sqrt{(\sum [(X-M)^2]) / N}$        |                   |                       |                   |                       | <b>0,286825</b>   |

(Fonte: Autora, 2021)

A partir dos resultados de desvio padrão obtidos, é possível constatar que a parede sanduíche com núcleo em EPS também possuiu o melhor resultado dos cálculos, possuindo um desvio padrão de 0,286825, resultado abaixo das demais, comprovando a confiabilidade dos resultados obtidos. Assim, o conjunto de dados de temperatura da parede em foco neste trabalho demonstra se manter mais

uniforme que as demais analisadas, pois, quanto mais próximo de zero são os dados de desvio padrão, mais os dados são homogêneos.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A partir dos resultados obtidos na presente pesquisa, é possível demonstrar o grande potencial da parede sanduíche com núcleo em EPS para trazer um maior conforto térmico para as edificações.

Dentre as alternativas utilizadas como comparação a parede com núcleo em EPS, o protótipo composto por tijolos de solo cimento com argila expandida que é um material não utilizado comumente na região, possuiu um resultado satisfatório em relação a diferença de temperatura, quando comparado com os blocos de concreto, que são utilizados com frequência na região do alto sertão.

Diante das análises de temperatura realizadas, a parede com núcleo em EPS, demonstrou além de uma diferença de temperatura menor, uma uniformidade nos resultados das medições, trazendo maior estabilidade de temperatura quando seus resultados são confrontados com os demais protótipos.

Sendo assim, o método construtivo do tipo sanduíche com núcleo em EPS, apresentou uma diminuição em termos de transferência de calor superior aos demais analisados na presente pesquisa, possuindo resultados satisfatórios, onde a diferença de aumento de temperatura 82,6% menor que a parede com blocos de concreto e 47,62% menor que o protótipo composto por BTC+A.

Apesar de não ser um método construtivo utilizado com frequência no Brasil, na busca por novos meios de construir de forma sustentável trazendo maiores benefícios em relação ao melhor conforto térmico e rapidez na execução de obras, a parede com núcleo de EPS demonstra ser uma alternativa bastante viável levando em consideração algumas das técnicas construtivas mais utilizadas em nosso país.

Sugestões para trabalhos futuros:

Destacam – se as seguintes sugestões para trabalhos futuros:

- É recomendado executar o protótipo com diferentes tipos de concreto e também argamassas, afim de analisar além dos parâmetros térmicos, outras características como conforto acústico, resistência a compressão, ensaios de absorção e entre outro, enriquecendo a produção de trabalhos acadêmicos sobre o tema.
- Desenvolver protótipos utilizando além do método construtivo da parede com núcleo em EPS, também as lajes pré-moldadas com placas em EPS, concreto leve com partículas em EPS, telhas sanduíche com EPS, explorando as grandes capacidades deste material na área da construção civil.
- Encontrar e utilizar aditivos que melhorem o concreto e/ ou argamassa armada utilizada no sistema, com o objetivo de melhorar as condições do traço e propriedades como trabalhabilidade e coesão destes materiais, agregando novas qualidades a este sistema.
- Buscar normas e embasamentos acadêmicos confiáveis sobre o tema, sejam com autores nacionais ou internacionais.

## REFERÊNCIAS

- ABRAPEX (Associação Brasileira do Poliestireno Expandido). **O EPS na Construção Civil: Características do poliestireno expandido para utilização em edificações.** São Paulo, 2000.
- ALEF, G. N. M. **Evaluation of Sandwich Walls in Mortar Armed with EPS Core.** Completion of course work (Graduação) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2017.
- BARRETO, M. N. **Casa EPS: Edifício residencial em painéis monolíticos de poliestireno expandido.** 2017. Trabalho final de Graduação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- BARRETO, F. B.; SILVA, C. X. **Física aula por aula: Mecânica dos Fluidos, termologia e óptica,** 3ªed. São Paulo: FTD, 2016.
- BERTINI, A. A. **Estruturas tipo sanduíche com placas de argamassa projetada.** Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
- CARAM, G. L. O impacto da inovação na mão de obra: um estudo sobre a construção civil no município de são paulo. Disponível em: <<http://www.convibra.org/dwp.asp?id=7263&ev=30/>>. Acesso em: 26 de maio de 2020.
- COSTA, E. C. **Física aplicada à construção: conforto térmico.** 4º ed. São Paulo, 2003.
- COSTA, W. J. V.; GONÇALVES, R. J.; SILVA, K. P. G.; TEIXEIRA, D. G. **Processos produtivos na construção civil: otimização do processo de reboco de fachada em edificação.** Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014\\_TN\\_STO\\_195\\_101\\_25756.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STO_195_101_25756.pdf)>. Acesso em: 20 maio de 2020.
- FÜHR, A. G. **Análise estrutural e de custos de estruturas de concreto armado com vedações verticais com painéis monolíticos em EPS e com blocos cerâmica.** São Leopoldo, 2017.
- INCROPERA, F. P. et al. **Fundamentos de transferência de calor e de massa.** 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- KAPUNO, R. R. A.; RATHORE, M. M. **Engineering heat transfer.** 2. ed. Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2011.
- KIESEWETTER, A. C. Paredes de painéis, monolíticos em EPS. Revista Techne. Disponível em: [www.techne17.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285706-2.aspx](http://www.techne17.pini.com.br/engenharia-civil/129/artigo285706-2.aspx). Acesso em: 13 de janeiro de 2021.

LAMBERTS, R. et al. **Eficiência energética na arquitetura**. 3. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, 2015.

FROTA, S. A. B. Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

MARÉ, Renata Maria. **Estudo de eficiência da ventilação em sistema de climatização com distribuição de ar pelo piso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MEDEIROS, G. A. N. **Avaliação de paredes sanduiche em argamassa armada com núcleo de EPS**. Dissertação (TCC) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

MORAES, C. B.; BRASIL, P. C. **Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental**. Disponível em: [www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade](http://www.imed.edu.br/Uploads/Estudo%20da%20Viabilidade). Acesso em: 02/05/2021.

MARTINI, Gloria; SPINELLI, Walter; REIS, Hugo Carneiro; SANT` ANNA, Blaidi. **Conexões com a Física**, 3ª ed. São Paulo: Moderna, 2016, 287p, v2.

MATOS, Rudmar Serafim. **TM-182 Refrigeração e Climatização**. Paraná, 2010. Disponível em: <[ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila/83\\_5\\_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf](ftp://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM182/CLIMATIZACAO/apostila/83_5_CARGA%20TERMICA%20EM%20CLIMATIZACAO.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2013.

NBR 15220 – **Desempenho Térmico de Edificações** – Parte 3. Rio de Janeiro, 2005.

SOARES, F. A. M. **Incorporação de partículas de poliestireno expandido e resina epóxi em compósito cimentício**, Programa de pós-graduação em engenharia mecânica (PPMEC) – Universidade Federal de São João Del-Rei (UFSJ), São João Del-Rei, 2014.

THOMAZ, B.; ISHIOKA, L. **Materiais de Construção: Isolamento Térmico**. Laboratório de Construção da Universidade do Porto. Disponível em: <[http://ciamh.up.pt/arma/wp-content/uploads/2014/08/G19\\_isolamento-termico.pdf](http://ciamh.up.pt/arma/wp-content/uploads/2014/08/G19_isolamento-termico.pdf)>. Acesso em 05 de maio de 2020.

PICKARD, S.S. Welded wire sandwich panels: na alternative to wood-frameconstruction. *Concrete Construction*, v.35, n.4, p.363-6. 1990.

FONSÊCA, F. J. C. Projeto de painéis sanduíche de concreto pré-moldado. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

BERTOLDI, R. B. Caracterização de sistema construtivo com vedações constituídas por argamassa projetada revestindo núcleo composto de poliestireno expandido e telas de aço: dois estudos de caso em Florianópolis. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

ISORECORT, 2021; **Construção com EPS**; Disponível em: <[www.construcaocomeps.com.br/painéis-autoportantes-com-eps/](http://www.construcaocomeps.com.br/painéis-autoportantes-com-eps/)> Acesso em 20 agosto 2021

