

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHES COM NÚCLEO DE EPS E  
PLACAS DE FACE CIMENTÍCIAS COMO SISTEMA DE TECNOLOGIA  
CONSTRUTIVA PARA CASAS POPULARES, EM MANAUS.**

**MICHELL DA SILVA BARROS**

**MANAUS**

**2019**

**MICHELL DA SILVA BARROS**

**DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHES COM NÚCLEO DE EPS E  
PLACAS DE FACE CIMENTÍCIAS COMO SISTEMA DE TECNOLOGIA  
CONSTRUTIVA PARA CASAS POPULARES, EM MANAUS.**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para obtenção do título de mestre em engenharia civil (Área de concentração: Materiais e componentes de construção).

**Orientador: Prof. Dr. João de Almeida  
Melo Filho.**

**MANAUS**

**2019**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

B277d Barros, Michell da Silva  
Desenvolvimento de painéis sanduíches com núcleo de EPS e placas de face cimentícias como sistema de tecnologia construtiva para casas populares, em Manaus. / Michell da Silva Barros. 2019  
116 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: João de Almeida Melo Filho  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Painéis sanduíches cimentícios. 2. Sistema de vedação vertical internas ou externas. 3. Desempenho de edificações. 4. Tecido de juta. 5. Metacaulim Amazônico. I. Melo Filho, João de Almeida II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº. 018/2019**

**ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO AO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL**

**DATA DO EXAME:** 09/10/2019

**DISCENTE:** Michell da Silva Barros

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho

**BANCA EXAMINADORA: (Nome Completo)**

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Presidente)

Profa. Dra. Caren Michels (Membro Externo)

Profa. Dra. Magnólia Grangeiro Quirino (Membro Externo)

**TÍTULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHES COM NÚCLEO DE EPS E PLACAS DE FACE CIMENTÍCIAS COMO SISTEMA DE TECNOLOGIA CONSTRUTIVA PARA CASAS POPULARES, EM MANAUS.**

**LOCAL:** Sala Multiuso II da Faculdade de Tecnologia

**HORA DE INÍCIO:** 14h00

De acordo com o Regimento Interno do Programa Pós - Graduação em Engenharia Civil, aprovados pelo Conselho de Ensino e Pesquisa/CONSEP/UFAM e CAPES, o (a) aluno (a) submeteu sua dissertação em forma escrita e oral, sendo após exposição de cerca de 30 minutos arguido oralmente pelas membros da banca, tendo tido como resultado:

**Aprovação por unanimidade de sua dissertação.** O (A) aluno (a) foi considerado aprovado, podendo pleitear o título de Mestre.

**Reprovação de sua Dissertação.** O (A) aluno (a) não foi considerado aprovado (a) na sua Defesa de Dissertação. Não podendo pleitear o título de Mestre.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que será assinada pelos membros da banca e pelo (a) aluno (a).

**Observações:** Fazer as considerações da banca

Manaus, 09 de outubro de 2019

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho (Presidente)

*João de Almeida M. Filho*

Profa. Dra. Caren Michels (Membro Externo)

*Caren Michels*

Profa. Dra. Magnólia Grangeiro Quirino (Membro Externo)

*Magnolia Grangeiro Quirino*

Michell da Silva Barros (Discente)

*Michell da Silva Barros*

A Deus pelo dom da vida,  
aos amigos e família,  
presentes concedidos ao  
longo da jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Meu eterno agradecimento as pessoas envolvidas e que tornaram esse momento inesquecível, não teria conseguido sem o apoio dessas pessoas incríveis, a família que Deus me concedeu ao longo do trajeto da vida, ao amado João Miguel pelo apoio e as pessoas que estarão eternamente presentes na minha vida, aos mestres e doutores pelo apoio e incentivo durante a carreira acadêmica, a contribuição de cada um tornou a caminhada ainda mais gratificante.

## EPÍGRAFE

Ninguém baterá tão forte quanto à vida. Porém, não se trata de quão forte pode bater, trata-se de quão forte pode ser atingido e continuar seguindo em frente. É assim que se conquista a vitória.

Stallone, S.

## RESUMO

**BARROS, M. S. DESENVOLVIMENTO DE PAINÉIS SANDUÍCHES COM NÚCLEO DE EPS E PLACAS DE FACE CIMENTÍCIAS COMO SISTEMA DE TECNOLOGIA CONSTRUTIVA PARA CASAS POPULARES, EM MANAUS.** 2019. 116 f. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Tecnologia, Universidade do Amazonas, Manaus, 2019.

A utilização de materiais alternativos na construção civil tornou-se necessário para mitigar os impactos ambientais provocados pelo setor e proporcionar o emprego de materiais leves, principalmente painéis sanduíches utilizados na implantação e construção de habitações populares que atendam aos programas habitacionais e que possibilitem a criação de novos sistemas construtivos de vedação vertical adaptados a especificidade da região amazônica. Os materiais escolhidos para confecção das placas de face foram caracterizados e buscaram atender a norma de resistência NBR 15.498:2016 voltada a utilização das placas de face, a ASTM C393:2016 para o painel e a norma de desempenho NBR 15.575:2013 que viabilizou a utilização do painel sanduíche cimentício (PSC) como sistema de vedação vertical em edificações. A pesquisa analisou os desempenhos físicos e mecânicos dos painéis sanduíches cimentícios (PSC) constituídos de placas de face de argamassa cimentícia com substituição parcial de 30% do cimento pelo metacaulim regional reforçado com tecido juta em dupla camada, e núcleo em poliestireno expandido (EPS). As propriedades físicas e mecânicas avaliadas através da norma NBR 15.498:2016 para as placas de face e apresentaram resistência deste componente acerca de 11 MPa e de acordo com ASTM C393:2016, a carga suportada pelo painel sanduíche foi de aproximadamente 2000 N. Ainda segundo a norma de desempenho 15.575:2013 adotada para realização dos ensaios de conforto térmico e acústico, o painel sanduíche cimentício – PSC foi validado como sistema de vedação vertical de nível superior com capacidade de utilização na construção civil para região amazônica.



Palavras-chave: Painéis sanduíches cimentícios, Sistema de vedação vertical internas ou externas, Desempenho de edificações, Tecido de juta, Metacaulim Amazônico.

## **ABSTRACT**

BARROS, M. S. DEVELOPMENT OF EPS CORE SANDWICH PANELS AND SCIENTIFIC FACE PLATES AS A CONSTRUCTIVE TECHNOLOGY SYSTEM FOR POPULAR HOUSES. 2019. 116 f. Dissertation (masters) - Faculty of Technology, University of Amazonas, Manaus, 2019.

The use of alternative materials in civil construction has become necessary to mitigate the environmental impacts caused by the sector and provide the use of lightweight materials, especially sandwich panels used in the implementation and construction of popular housing that meet housing programs and enable the creation of new vertical sealing construction systems adapted to the specificity of the Amazon region. The materials chosen to make the face plates were characterized and sought to meet the resistance standard NBR 15.498: 2016 aimed at the use of face plates, ASTM C393: 2016 for the panel and the performance standard NBR 15.575: 2013 that enabled the use of the cement sandwich panel (PSC) as a vertical sealing system in buildings. The research analyzed the physical and mechanical performance of cement sandwich panels (PSC) consisting of cement mortar face plates with partial replacement of 30% of cement by regional double layer jute fabric reinforced metakaolin and expanded polystyrene core (EPS) . The physical and mechanical properties evaluated by NBR 15.498: 2016 for faceplates and showed resistance of this component about 11 MPa and according to ASTM C393: 2016, the load supported by the sandwich panel was approximately 2000 N. Still according to performance standard 15.575: 2013 adopted for conducting thermal and acoustic comfort tests, the cementitious sandwich panel - PSC has been validated as a top level vertical sealing system with capacity for use in civil construction for the amazon region.

Keywords: Cement Sandwich Panels, Internal or External Vertical Sealing System, Building Performance, Jute mesh, Amazonian Metacaulim.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação psc estrutural reforçado com fibras segundo tipologia dos compósitos. ....	30
Figura 2 – Colheita da juta para obtenção dos fios componentes do tecido. ...	33
Figura 3 - Processo produtivo da juta, colheita. ....	34
Figura 4 – Método de secagem da juta .....	34
Figura 5 – Aplicação de goma nos fios da juta.....	35
Figura 6 - Processo de transformação da matéria prima de poliestireno. ....	35
Figura 7 - Meios de reutilização do eps.....	36
Figura 8 - Zoneamento bioclimático brasileiro conforme nbr 15220-3.....	41
Figura 9 - Dados dos dias típicos de verão da cidade de manaus de acordo com nbr 15220 – parte3.....	42
Figura 10 - Planejamento experimental.....	45
Figura 11 - Ensaio para obtenção da massa específica do cimento. ....	48
Figura 12 – Equipamento utilizado para elaboração dos ensaios de difração a laser. ....	49
Figura 13 - Localização do ponto de extração do metacaulinita (-2.41 s; -60.03 w). ....	50
Figura 14- Processo de produção do metacaulinita (a) coleta do caulim e (b) molho do caulim. ....	51
Figura 15 - Processo de produção da metacaulinita, preparo para secagem do material. ....	51
Figura 16 - Retirada do caulim da estufa e maceração do caulim.....	52
Figura 17 - Maceração do caulim após retirada da estufa. ....	52
Figura 18 - Processo de produção da metacaulinita, (a) utilização da mufla pelo período de seis horas e (b) obtenção da metacaulinita após resfriamento. ....	53
Figura 19 - Difração de raio-x da metacaulinita.....	54

Figura 20 - Localização do ponto de extração da areia (-3.15 s; -60.90 w).....	55
Figura 21 - Ensaio para obtenção massa específica real.....	56
Figura 22–Realização de ensaio para determinação de impurezas, (a) deposição da areia em solução de referência, (b) análise visual comparativa a solução de referência. ....	57
Figura 23 - Difração de raio-x da areia quartzosa .....	58
Figura 24 - Tecido de juta aberta bidirecional, (a) tecido em dimensão de 1000mm x 10000mm, (b) abertura dos urdumes e (c) abertura das tramas. ....	62
Figura 25 - Identificação e pesagem do material utilizado na pasta.....	65
Figura 26 – Homogeneização do material na cuba do misturador. ....	65
Figura 27 - Equipamentos utilizados no ensaio de marsh.....	66
Figura 28 – Etapas de ensaio do funil de marsh. (a) montagem do equipamento, (b) distribuição da argamassa, (c) medição da altura e tempo de escoamento.....	67
Figura 29 - Ensaio de mini abatimento, (a) disposição do cone sobre papel milimetrado e (b) realização das leituras ortogonais do espalhamento da argamassa. ....	68
Figura 30– Componentes do painel sanduíche cimentício – psc, medidas em mm. ....	69
Figura 31–Processo de fabricação das placas, (a) verificação dos equipamentos e dosagem dos materiais e (b)– preparação das formas acrílicas. ....	69
Figura 32 - Processo de fabricação das placas, (a) espalhamento da placa matriz e (b) – vedação das bordas laterais. ....	70
Figura 33 - Processo de fabricação das placas, (a) – inserção da 1 <sup>o</sup> camada do tecido de juta e (b) – inserção da 2 <sup>o</sup> camada do tecido de juta.....	70
Figura 34 - Conformação da camada final e confecção dos corpos de prova..	71
Figura 35 - Ensaio da placa face, (a) identificação das placas e (b) ensaio de tração na flexão em três pontos. ....	72
Figura 36 - Confecção do painel sanduíche cimentício psc, (a) formas de madeira de terra firme e (b) desforma do painel após 48 horas.....	73

Figura 37 – Ensaio de adesão realizados na máquina universal do laboratório lem/ufam, (a) acoplagem do corpo de prova no porta amostra e (b) fixação e ensaio do corpo de prova.....	77
Figura 38 – Configuração padrão de ensaio de tração na flexão adotado pela norma astm c393. ....	77
Figura 39 – Ensaio do painel sanduíche a flexão adaptado da norma astm c393. ....	78
Figura 40 – Configuração padrão de ensaio de compressão adotado pela norma astm c364.....	79
Figura 41 – Configuração padrão de ensaio de compressão adotado pela norma astm c364.....	80
Figura 42 - Planta baixa sugerida para elaboração de uma casa popular. ....	81
Figura 43 – Fachada de uma casa para habitação popular com adaptação do psc.....	82
Figura 44 – Elevação frontal da casa para habitação popular. ....	82
Figura 45 - Visualização 3d das paredes da unidade de habitação popular popular. ....	83
Figura 46 – Formas metálicas para confecção de guias pré-moldadas para moradias populares.....	83
Figura 47 – Conformação dos painéis nos encaixes pré fabricados. ....	84
Figura 48 - Modelo de ensaio acústico em laboratório.....	85
Figura 49 – Equipamento de ensaio acústico, (a) disposição dos acessórios e posicionamento do painel sanduíche na caixa, (b) vedação da caixa para início de ensaio acústico. ....	86
Figura 50 - Construção da célula térmica para realização dos ensaios térmicos. ....	88
Figura 51 – Realização de leituras das unidades térmicas, (a) leitura da temperatura externa,, (b) leitura da temperatura interna.....	89
Figura 52 – Temperaturas máxima, média e mínima da cidade de manaus no o mês de agosto de 2019.....	89
Figura 53 – Insolação total diária do mês de agosto de 2019. ....	90

Figura 54 – Total de chuva acumulada na cidade de Manaus no mês de agosto de 2019. ....	90
Figura 55 - Distribuição granulométrica a laser dos materiais.....	92
Figura 56 – Curvas para obtenção do ponto de saturação: (a) tempo x teor de superplastificante; (b) consistência x teor de superplastificante (a/c =0,3;0,4;0,5). ....	93
Figura 57 - Análise de resistência dos corpos de prova da argamassa. ....	95
Figura 58 – Análise dos ensaios mecânicos nas placas de face – 28 dias. ....	96
Figura 59 – Encaixes das guias pré-fabricadas e cantoneiras metálicas do módulo volumétrico de ensaio.....	97
Figura 60 – Análise visual das superfícies dos corpos de prova do ensaio de arrancamento. ....	99
Figura 61 – Gráficos de força x deflexão do psc. ....	99
Figura 62 – Ensaio de compressão de borda dos painéis, (a) instabilização das lâminas, (b) esmagamento do topo do psc. ....	100
Figura 63 – Análise térmica da variação de temperatura térmica externa x interna de acordo com a sensação térmica. ....	103
Figura 64 – Ensaio de desempenho térmico, (a) análise térmica as 13:00 h, (b) análise térmica as 19:00h. ....	103

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Classificação de placas de acordo com resistência a flexão (mpa).....	28
Tabela 2 - Índices de desempenho dos demais fabricantes. ....	29
Tabela 3 - Exigências físicas do material pozolânico.....	32
Tabela 4 - Exigências químicas do material pozolânico.....	32
Tabela 5 - Especificações mínimas para edificações populares. ...	38
Tabela 6 - Especificações mínimas do programa de habitação popular da caixa econômica para construção de casas. ....	39
Tabela 7 - Desempenho acústico de acordo com nbr 15.575-4/2013 para svve – sistemas de vedação verticais externas. ....	40
Tabela 8 - Dados da cidade de Manaus, no estado do Amazonas, de acordo com nbr 15220 – parte3.....	42
Tabela 9 - Dados dos dias típicos de verão da cidade de Manaus de acordo com nbr 15220 – parte3.....	42
Tabela 10 - Desempenho térmico do svv de acordo com nbr 15575, 2013 – parte1. ....	43
Tabela 11 - Índices normativos do cimento Portland CP-III – 40 rs...	46
Tabela 12 – Análise física do cimento Portland CP-III – 40 rs.....	47
Tabela 13 - Elementos da amostra de cimento detectados pelo frx. ....	49
Tabela 14 - – Elementos da amostra de cimento detectados pelo frx. ....	50
Tabela 15 - Composição da amostra de metacaulinita detectados pelo frx (%significativos).....	53

Tabela 16 - Composição de óxidos da amostra de metacaulinita detectados pelo frx (%significativos).....	54
Tabela 17 - Composição granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo da areia quartzosa. ....	58
Tabela 18 - Composição da amostra de areia detectados pelo frx.	59
Tabela 19 - Composição de óxidos da amostra de areia detectados pelo frx. ....	59
Tabela 20 - Composição de óxidos da amostra de areia detectados pelo frx. ....	60
Tabela 21 - Características principais do superplastificante. ....	61
Tabela 22 - Características principais tecido de juta.....	63
Tabela 23 – Propriedades de resistência do tecido de juta de malha aberta.....	63
Tabela 24 - Características principais do painel eps.....	64
Tabela 25 - Materiais componentes da pasta normal e com substituição de metacaulim. ....	67
Tabela 26 - Disponibilidade de corpos de prova para ensaios das placas de face. ....	72
Tabela 27 - Disponibilidade de corpos de prova para ensaios das placas de face. ....	74
Tabela 28 - Desempenho acústico de acordo com nbr 15.575-4/2013 para svve – sistemas de vedação verticais externas.....	85
Tabela 29 - Análise de resistência dos corpos de prova da argamassa. ....	94
Tabela 30 - Ensaio das placas de face. ....	95
Tabela 31 - Massa específica dos componentes do psc.....	97
Tabela 32 – Resultados dos ensaios mecânicos dos corpos de prova das placas de face e do psc. ....	98



Tabela 33 – Resistência a tração do psc.....	100
Tabela 34 – Resistência a compressão do psc.....	101
Tabela 35 - Resistência média ( $r_w$ ) entre métodos construtivos..	101
Tabela 36 – Propriedades adotadas para cálculo da transmitância e capacidade térmica do psc.....	102
Tabela 37 - Propriedades térmicas do psc. ....	102

## Lista de abreviaturas e siglas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ASTM – American Society for Testing and Materials;

$C_t$  - Capacidade térmica;

EPS – Expanded Polystyrene;

Fator a/c – Fator água/cimento;

IPT/EPUSP – Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Escola Politécnica da Universidade de São Paulo;

KN - Quilonewton

KPa – Quilopascal;

LaMAC – Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos;

LEM – Laboratório de Materiais de materiais de construção civil;

MPa – Megapascal;

NBR – Norma Brasileira;

NM – Norma Mercosul;

N – Newton(s);

MPa – Megapascal;

Prof(a). – Professor(a);

PSC – Painel sanduíche cimentício

PPGEC – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil;

$R_i$  - Resistência térmica do material;

$R_t$  - Resistência térmica;

$R_a, R_b, R_n$  - Resistência térmicas de superfície a superfície de cada material da parede;

SVVIE – Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas;

UFAM – Universidade Federal do Amazonas;

U – transmitância térmica

W - Watt(s);

y - Fração volumétrica de uma classe granulométrica específica;

$\rho_i$  – Densidade de massa aparente do material;

$\lambda_i$  – Condutividade térmica do material de uma camada da parede;

$\rho$  – Densidade;

$\Sigma$  - Somatório de uma função qualquer dentro de um intervalo pré-determinado.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	22
<b>1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	22
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	24
1.2.1 Objetivo Geral .....	24
1.2.2 Objetivos Específicos .....	24
<b>1.3 Justificativa</b> .....	24
<b>1.4 Estrutura da dissertação</b> .....	25
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	26
<b>2.1 Técnicas construtivas</b> .....	26
<b>2.2 Painéis sanduíches</b> .....	27
2.2.1 Desempenho dos painéis sanduíches .....	28
<b>2.3 Compósitos cimentícios</b> .....	29
2.3.1 Matrizes cimentícias .....	30
2.3.2 Metacaulim .....	31
2.3.3 Fibras de juta em malha .....	32
2.3.4 EPS – poliestireno expandido .....	35
<b>2.4 Elaboração de um projeto residencial habitacional modular com utilização do painel sanduíche cimentício – PSC</b> .....	36
<b>2.5 Comportamento acústico</b> .....	39
<b>2.6 Desempenho térmico</b> .....	41
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	45
<b>3.1 Materiais designados</b> .....	46
3.1.1 Cimento .....	46
3.1.2 Caulim .....	50
3.1.3 Areia .....	55
3.1.4 Água .....	60
3.1.5 Superplastificante .....	60
3.1.6 Tecido de juta .....	61
3.1.7 EPS .....	63
<b>3.2 Métodos experimentais</b> .....	64
3.2.1 Produção da matriz cimentícia .....	64
3.2.2 Produção das placas faces .....	69

___ 3.2.3	Produção do PSC.....	73
___ 3.2.4	Caracterização do PSC .....	75
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>92</b>
___ 4.1	<b>Compatibilidade de materiais utilizados .....</b>	<b>92</b>
___ 4.2	<b>Argamassa cimentícia e seus componentes .....</b>	<b>93</b>
___ 4.2.1	Aditivo superplastificante e ponto de saturação da argamassa.....	93
___ 4.2.2	Ensaio de resistência da argamassa .....	94
___ 4.2.3	Placas de face .....	95
___ 4.2.4	Componentes dos painéis sanduíches.....	96
___ 4.3	<b>Ensaio mecânico do painel sanduíche cimentício. ....</b>	<b>98</b>
___ 4.3.1	Ensaio de resistência de tração na flexão do painel sanduíche cimentício. ....	99
___ 4.3.2	Ensaio de resistência compressão do painel sanduíche cimentício	100
___ 4.3.3	Ensaio acústico do painel sanduíche cimentício. ....	101
___ 4.3.4	Ensaio térmico do painel sanduíche cimentício.....	102
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>
___ 5.1	<b>Conclusão .....</b>	<b>105</b>
___ 5.2	<b>Sugestões de continuidade .....</b>	<b>106</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>107</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os materiais compósitos adquirem cada vez mais qualidades comprovadas de eficiência voltadas para utilização na construção civil que aliado a busca incessante da sustentabilidade ambiental requerem estudos sobre novos sistemas estruturais para construção de moradias. Desta forma surge a necessidade de criar equipes multidisciplinares em busca de soluções inovadoras e com possibilidade de reaproveitamento e reciclagem de materiais na construção civil. Pode-se observar que engenheiros de diversas áreas, arquitetos, analistas e governantes pesquisam cada vez mais opções para atender as necessidades habitacionais e solucionar os problemas populacionais e do meio ambiente. O desenvolvimento econômico em relação ao meio ambiente valida práticas alternativas e benéficas e condena as usuais e nocivas. Neste século somos desafiados a dedicar mais atenção ao desenvolvimento econômico alternativo para construção de habitações populares no que se refere ao meio ambiente. E esse tipo de desenvolvimento faz uso de prêmios econômicos (principalmente subsídios governamentais ou incentivos fiscais) para incentivar formas benéficas e alternativas de crescimento econômico e utilização de sanções econômicas (especialmente impostos e regulamentações governamentais) para desencorajar formas nocivas e não planejadas de crescimento econômico ligado ao meio ambiente (MILLER, 2007).

As possibilidades de utilização de novos materiais de baixo impacto ambiental que possibilitem a redução da degradação do meio ambiente na região amazônica tornam-se diversificadas quando relacionadas a disponibilidade de utilização das fibras vegetais regionais, como a juta amazônica, em conjunto com o tipo de pozolana regional natural, a argila caulínica e aliado a utilização do núcleo de poliestireno expandido (EPS), em placas maciças, para fabricação de painéis sanduíches cimentícios (PSC) e viabilizam a empregabilidade e valorização dos materiais regionais voltados para construção civil.

Aproximadamente 40% da população mundial em 2030, ou seja, 3 bilhões de pessoas, necessitarão da construção de moradias e serviços de infraestrutura básica.

Segundo o Relatório Global sobre Assentamentos Humanos de 2005, divulgado pelo Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos, será necessário construir 96.150 unidades habitacionais por dia (ou 4.000 por hora) para atender essa crescente demanda. O déficit de moradia crescerá, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), e caso não sejam desenvolvidos projetos para habitações populares com maior brevidade possível, a probabilidade para que a população viva em favelas ou áreas invadidas tende a dobrar nos próximos 25 anos, (FOLHA DE SÃO PAULO, 2017). Hoje, segundo o relatório, são aproximadamente 1 bilhão de pessoas vivendo nessas áreas. Em 2030, serão 3 bilhões, (IBGE, 2017).

O alcance desta meta inovadora estabelecida pelo Ministério das Cidades visa aliar novos materiais a sistemas construtivos e tem como base as diretrizes e programas habitacionais vigentes em nosso país. O programa minha casa minha vida, possui como participantes o ministério das cidades, a caixa econômica federal, os beneficiários, as comissões e entidades gestoras, as empresas de construção civil e órgãos da administração. O programa proporciona a construção de moradias populares para famílias que possuam determinada faixa de renda mensal através de proposta financiamento atrelado a forma de construção: autoconstrução, mutirão ou administração direta (MINISTÉRIO DAS CIDADES - MCIDADES, 2018).

No que concerne aos sistemas construtivos inovadores podemos validar os projetos junto ao programa brasileiro de qualidade e produtividade do habitat – PBQP-h a ao sistema nacional de avaliações técnicas – SINAT, que apresenta em seu escopo a capacidade de sintetizar e elencar procedimentos capazes de assegurar que todos os aspectos relevantes do comportamento em uso de um produto de construção sejam considerados no processo de avaliação. Esse programa é responsável por preencher lacunas da normalização técnica prescritiva, ou seja, avaliar produtos não abrangidos por normas técnicas prescritivas, e cria ainda uma infraestrutura fundamental para o desenvolvimento tecnológico do setor da construção civil.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar o desempenho de um painel sanduíche cimentício (PSC), composto por núcleo de EPS e placas de face de argamassa cimentícia com substituição parcial do cimento por metacaulim e reforçada com tecido de fibras de juta e malva.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um painel sanduíche que utilize placas de face em matriz cimentícia com materiais regionais de baixo impacto ambiental;
- Utilizar como reforço têxtil do painel sanduíche, a malha de fibras de juta e malva regional;
- Realizar ensaios físicos e mecânicos nos painéis sanduíches cimentícios;
- Validar a utilização dos painéis sanduíches cimentícios (PSC) como sistema de vedação vertical interno ou externo (SVVIE).
- Adequar uma planta baixa de habitação popular para utilização dos painéis sanduíches cimentícios de acordo com os critérios de desempenho de edificação para região amazônica.

## 1.3 Justificativa

As buscas por tecnologias construtivas inovadoras ultrapassam décadas desde o surgimento da engenharia, que atua de forma multidisciplinar com outras profissões para aprimorar novos sistemas e técnicas construtivas para construção de edificações eficientes.

Observa-se que recentemente a norma de desempenho NBR 15575:2013, propõe o emprego de novos materiais que possam viabilizar a eficiência energética das edificações, e ainda de acordo com a NBR 15220:2004 para o caso específico da região norte, situada na zona bioclimática 8, conforme disposto nessa norma. Dentre os materiais mais utilizados na atualidade, encontram-se os painéis sanduíches que



possuem uma diversidade de materiais compósitos empregados, como exemplo a madeira, o plástico, o isopor, os concretos armados e as argamassas cimentícias. A norma NBR 15498:2016 que trata sobre a utilização de placas de fibrocimento sem amianto, recentemente atualizada, estabelece critérios de aceitação para confecção das placas cimentícias sem utilização de amianto que foram adotadas nas faces do PSC e corroborou com o anseio ambiental proposto nessa pesquisa.

Diante da necessidade de novos materiais voltados a construção civil procurou-se respostas para a possibilidade de desenvolvimento de painéis sanduíches cimentícios (PSC) como tecnologia construtiva de casas populares, adaptados ao programa minha casa minha vida em Manaus.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

A dissertação foi distribuída em capítulos, que auxiliam a compreensão do tema sugerido da seguinte forma:

- CAPÍTULO 1 – Dispõe da introdução, o objetivo específico e gerais, a justificativa e a estrutura da dissertação;
- CAPÍTULO 2 – Explora a revisão literária e sua correlação ao tema, explorando o estado da arte e os saberes construídos para agregar credibilidade ao trabalho;
- CAPÍTULO 3 – Apresenta de forma cronológica, os caminhos metodológicos apresentados no trabalho, bem como os meios de obtenção e caracterização dos materiais utilizados na pesquisa.
- CAPÍTULO 4 – Descreve os resultados obtidos durante a fase inicial do desenvolvimento da pesquisa, e o processamento de alguns materiais utilizados;
- CAPÍTULO 5 – Apresenta as considerações finais e análise dos resultados obtidos na pesquisa;
- REFERÊNCIAS– Indica o referencial adotado para elaboração da pesquisa.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Os problemas habitacionais atingem cada vez mais a população mundial, e esforços são realizados para atender ao crescimento populacional, no Brasil pretende-se atender a essa demanda por meio de programas assistenciais do governo. Dentre as prioridades dos programas apresentados encontra-se a região norte com maior índice de falta de moradia, mas que necessita de projetos que traduzam a realidade regional e estimulem o crescimento da construção civil e o desenvolvimento urbano na cidade de Manaus (BARROS, 2017).

### 2.1 Técnicas construtivas

O conceito de tecnologia de construção civil é baseado no estado da arte sobre todos os métodos, processos construtivos, equipamentos e materiais de construção (TATUM, 1986). Para isso as construções populares devem abranger aos critérios de qualidade, produtividade e viabilidade econômica, além de explorar recursos de baixo impacto ambiental. A adaptação dos métodos práticos organizados de forma quase industrial na construção civil é chamado de racionalização construtiva, muito empregada na década de 80, mas que se torna atual pois desde outrora as peças pré-fabricadas passaram a integrar e destacar de forma eficiente os canteiros das principais obras do país.

A empregabilidade do sistema pré-fabricado na construção de casas populares torna-se um desafio, pois demanda uma mão de obra mais qualificada, e que uma vez implantado o sistema por determinada construtora existirá uma redução imediata da mão de obra local empregada. No caso do sistema construtivo de vedação vertical interna e externa sugerido na pesquisa deverá ser validado pela comunidade técnica nacional, através do sistema nacional de avaliações técnicas – SINAT aliado ao programa brasileiro de qualidade e produtividade no habitat – PBQP-H (SINAT, 2018).

Dentre as alternativas existentes no mercado, que apresentam soluções tradicionais como tijolos cerâmicos, tijolos cimentícios de vedação, além de soluções de painéis em gesso acartonado, painéis cimentícios, painéis de concreto e painéis de EPS pode-se destacar conforme (VON KRUGER et al., 2010) que os painéis industrializados apresentam maior eficácia em relação aos desempenhos térmicos, acústicos e estruturais da edificação. Ainda segundo sua pesquisa, os painéis sanduíches e cimentícios pré-fabricados apresentam resultados ideais de manutenção da temperatura durante o período diurno e noturno em climas tropicais quando comparados aos demais painéis.

## 2.2 Painéis sanduíches

Os painéis sanduíches representam uma modernidade relacionada ao método de aplicação em sistemas de vedações verticais internas ou externas adotadas em edificações. Para CALLISTER (2002), sua estrutura é constituída de faces de menor espessura, com maior resistência mecânica e um núcleo de maior espessura, com menor resistência, além do núcleo geralmente possuir menor densidade que as placas de face.

Para WAY (2015), os painéis sanduíches compósitos possuem grande potencial de utilização na construção civil, além do design diferenciado que garante-lhes baixo peso e eficiência termo acústica.

Os estudos realizados por (BEZERRA, 2003), demonstram que a utilização do EPS em núcleo estruturante de 40 mm revestido por argamassa cimentícia de 30 mm em dupla face empregado em sistemas verticais de vedação externa apresentam considerável redução da taxa de transferência calorífica quando comparados aos blocos comuns de vedação em argamassa cimentícia.

O painel sanduiche deve apresentar combinação de materiais para o núcleo e faces que possam proporcionar resistência e durabilidade ao compósito. No caso das faces, essas serão analisadas de acordo com a norma NBR 15498 (ABNT, 2016), para determinação de suas características físicas pois possuem semelhança às

placas cimentícias fabricadas na atualidade que segundo a referida norma são classificadas de acordo com a Tabela 1, em classes:

Na classe A, as placas são indicadas para aplicações externas sujeitas a ação direta do sol, chuva calor e umidade. Podem ser classificadas em quatro categorias de acordo com sua resistência na tração na flexão.

As placas da classe B são indicadas para aplicações internas e externas não sujeitas a ação do sol, chuva calor e umidade. É classificada em cinco categorias de acordo com sua resistência na tração a flexão.

**Tabela 1 - Classificação de placas de acordo com resistência a flexão (MPa).**

Categoria	Classes da Placa	
	Classe A	Classe B
1	--	4
2	4	7
3	7	10
4	13	16
5	18	22

Fonte: Adaptado de NBR 15498 (ABNT, 2016).

### 2.2.1 Desempenho dos painéis sanduíches

O desenvolvimento do PSC visa atender os requisitos mínimos exigidos pelas normas vigentes e superar os índices apresentados por fabricantes de materiais similares, como desempenho térmico, acústico e de argamassa matriz, de acordo com a tabela 2.

Tabela 2 - Índices de desempenho dos demais fabricantes.

Parâmetros	Valores
Desempenho acústico	35 Db
Desempenho térmico	$U= 0,47 \text{ W/ (m}^2\cdot\text{k)}$
Desempenho argamassa - compressão	10 MPa
Dimensões do painel sanduíche	1000 x 1000 x 120 mm
Peso do painel sanduíche	50 Kg/m <sup>2</sup>

Fonte: Adaptado do concorrente líder, 2019.

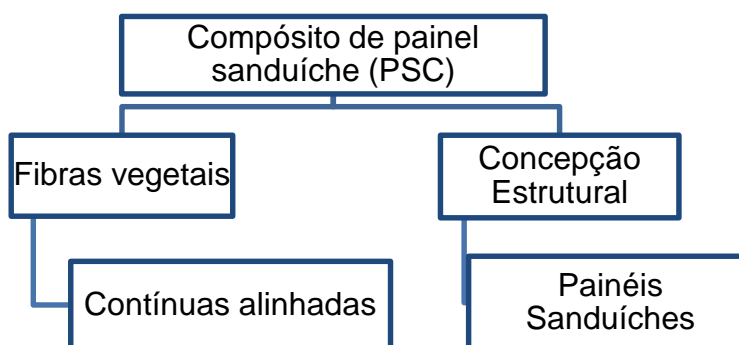
### 2.3 Compósitos cimentícios

São conhecidos como materiais multifásicos fabricados artificialmente onde são empregadas as melhores propriedades de suas fases constituintes, na fase matriz apresentam-se de forma contínua e circunda, e na fase posterior, de forma dispersa.

A tipologia dos compósitos possuem a seguinte classificação: os reforçados por partículas, exemplo do concreto, os reforçados por fibras, que apresentam potencial de reforço e os estruturais, representados por compósitos laminares e pelos painéis “sanduíches”. Entre eles são exibidos uma significativa proporção de propriedades de ambas as fases constituintes de tal maneira que uma melhor combinação de propriedades é realizada. De acordo com este princípio de ação combinada, melhores combinações de propriedades são melhor amoldadas pela judiciosa combinação de 2 ou mais distintos materiais. (CALLISTER, 2012).

A exemplo de painéis sanduíches de alta resistência existem os que são classificados como compósitos estruturais ou de vedação reforçados com fibras vegetais de acordo com Figura 1.

Figura 1 - Classificação PSC estrutural reforçado com fibras segundo tipologia dos compósitos.



Fonte: Adaptado de CALLISTER; RETHWISCH (2012).

Para (CALLISTER, 2012), as tecnologias modernas requerem materiais com combinações desabituais de propriedades que não podem ser atendidas por ligas metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos. Frequentemente, materiais fortes são relativamente densos e o aumento da resistência e da rigidez geralmente resulta num decréscimo da resistência ao impacto.

### 2.3.1 Matrizes cimentícias

Apresentam em sua composição o cimento Portland, um dos principais materiais de construção do mundo, além de aglomerantes minerais e agregados que constituirão pastas, argamassas ou concreto. Uma das possibilidades de redução do impacto ambiental provocado pela fabricação do cimento, além da necessidade da consistência, espalhamento da argamassa, a adesividade entre a placa de face e o núcleo foi obtida pela substituição parcial desse aglomerante hidráulico por material natural compatível aliando durabilidade ao compósito. As pesquisas realizadas por Melo Filho (2012) comprovaram a eficiência e a durabilidade proporcionada pela substituição parcial do cimento por metacaulinita na fabricação de placas cimentícias.

Para COURARD et al (2003), a utilização do metacaulim na argamassa proporciona um melhor fechamento dos poros nas substituições parciais acima de 20% do cimento e sua absorção capilar torna-se equivalente.

### 2.3.2 Metacaulim

É um produto obtido através do processamento do caulim, solo encontrado na superfície terrestre, de onde extrai-se a caulinita, um minério composto por silicatos hidratados e por um argilo mineral oriundo da decomposição do feldspato que devido ao baixo teor de ferro, possui coloração esbranquiçada (LUZ et al, 2005).

Os depósitos de caulim existentes no Amazonas são do tipo sedimentar, encontrados em grandes reservas e com diversas aplicações industriais, e em Manaus encontra-se ainda o caulim intemperizado, recorrente das regiões tropicais, onde o processo de caulinização das rochas deve-se a hidratação de um silicato anidro de alumínio, seguido da remoção de álcalis (LUZ, 2005).

Na produção do metacaulim ocorre a formação do mineral metacaulinita, além dos silicatos de cálcio hidratados que surgem durante o processo de hidratação do cimento Portland e melhoram a resistência e a durabilidade das pastas, argamassas e concretos no estado endurecido. O resultado é um material cimentício com menor quantidade de clínquer e, conseqüentemente, menor consumo de energia e menor emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (LIMA e TOLEDO FILHO, 2008).

Além do uso do metacaulim como adição mineral na matriz cimentícia em substituição ao cimento proporcionar a redução do impacto ambiental, a sua escolha pretende possibilitar pouca agressão a malha têxtil de juta proporcionando maior durabilidade ao material, uma vez que o revés da utilização das fibras ocorre devido as reações alcalinas provenientes do cimento, ao liberar hidróxido de cálcio durante o processo de hidratação e degradando desta forma as fibras vegetais utilizadas (SAVASTANO, 2000).

Os estudos realizados por Lima (2004), através de análises térmicas realizadas em amostras concluiu que a substituição de cimento por metacaulim na proporção de 30% ocasionou a ausência de Ca (OH)<sub>2</sub> em sua totalidade.

De acordo com a norma NBR 12.653 (2015), a metacaulinita deverá ser classificada como de classe N (argilas calcinadas) e ainda atender as seguintes exigências físicas e químicas conforme Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 - Exigências físicas do material pozolânico.

EXIGÊNCIAS FÍSICAS	Classe de Material - N
Material retido na peneira de 45 µm	34,00
Com adição de cimento portland aos 28 dias, em relação ao controle (% , mínima)	75,00
Com adição de cal aos 7 dias (Mpa, mínima)	6,00
Com adição de água requerida (% , mínima)	115,00

Fonte: Adaptado de NBR 12653 (ABNT, 2014).

Tabela 4 - Exigências químicas do material pozolânico.

EXIGÊNCIAS QUÍMICAS	Classe de Material - N
SIO <sub>2</sub> + AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (% , mínima)	70,00
SO <sub>3</sub> (% , máxima)	4,00
Teor de umidade	3,00
Perda ao fogo (% , máxima)	10,00
Álcalis disponíveis, em Na <sub>2</sub> O (% , máxima)	1,50

Fonte: Adaptado de NBR 12653 (ABNT, 2014).

As pesquisas apresentam inúmeras vantagens da adição da metacaulinita em substituição ao cimento Portland, diretamente relacionado a densidade, ao aumento da resistência e durabilidade.

### 2.3.3 Fibras de juta em malha

Dentre os materiais regionais renováveis e biodegradáveis que podem ser utilizados como reforço têxtil de um painel pode-se destacar a fibra vegetal de juta amazônica (*Corchorus capsularis*) que é extraída do caule da referida planta e torna-se cada vez mais utilizado em compósitos cimentícios do tipo painel sanduíche. A



utilização de fibras vegetais foi amplamente estudada por Melo Filho (2012) e Oliveira (2013) que demonstraram o desempenho e a capacidade de utilização desse material como reforço atuante em placas cimentícias.

A fibra escolhida para desenvolvimento do trabalho foi a juta, uma fibra longa, suave e brilhante conforme figura 2, seu comprimento é variável entre 80 cm e 400 cm e sua aparência com fios dourados concedem-na o título de fibra de ouro da Amazônia, além de apresentar em sua composição a lignina, componente da fibra de madeira e a celulose, componente da fibra vegetal, (SEPROR, 2016).

**Figura 2 – Colheita da Juta para obtenção dos fios componentes do tecido.**



Fonte: Paiva (2015).

Estima-se que a utilização de Juta no Brasil seja de 20.000 toneladas e o Amazonas produza cerca de 12.000 toneladas anuais, mantendo-se como maior estado produtor da planta. A produção necessária para atender esta demanda é fornecida por países asiáticos. (SEPROR, 2016)

Em Manaus, a empresa industrial de juta S/A – Jutal atua no beneficiamento deste produto desde meados da década de 70 e hoje (2019) emprega cerca de 500 funcionários durante o período da colheita ou floração, conforme Figura 3, na qual a quantidade de funcionários pode aumentar de acordo com o ciclo de maturação da planta, em torno de quatro meses.

**Figura 3 - Processo produtivo da juta, colheita.**



Fonte: Sepror, 2016.

Na primeira fase do beneficiamento da juta, ocorre a retirada das fibras das hastes, onde essas serão maceradas por processo natural de produção por cerca de 7 dias. A secagem do material, conforme Figura 4, representa etapa importante no processo de fabricação e compreende o período de 3 horas de exposição ao sol numa espécie de varais.

**Figura 4 – Método de secagem da Juta**



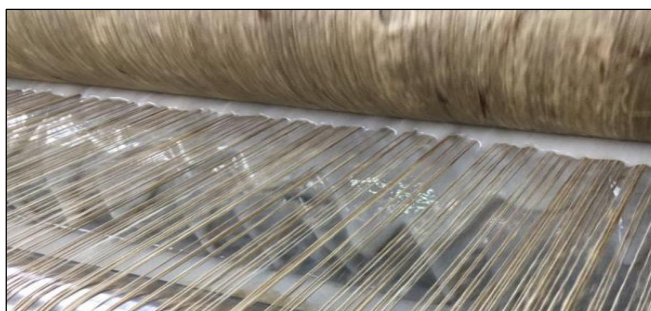
Fonte: Paiva (2015).

A segunda fase do beneficiamento da juta ocorre nas instalações da empresa após o recebimento e estocagem do material, e início do processo industrial. Pode-se destacar que durante o processo de fabricação do tecido de sacaria, é utilizado uma

substituição parcial da juta pela fibra de malva, que apresenta as mesmas qualidades como materiais regionais biodegradáveis e recicláveis, de baixo impacto ambiental.

Durante o beneficiamento dos fios, são produzidos os urdumes e tramas para confecção de malhas abertas ou fechadas e são aplicados óleo vegetal e goma nas fibras visando proporcionar manejo e impermeabilidade aos cordões ou malhas bidirecionais produzidas (JUTAL, 2019), Figura 5.

**Figura 5–Aplicação de goma nos fios da juta.**

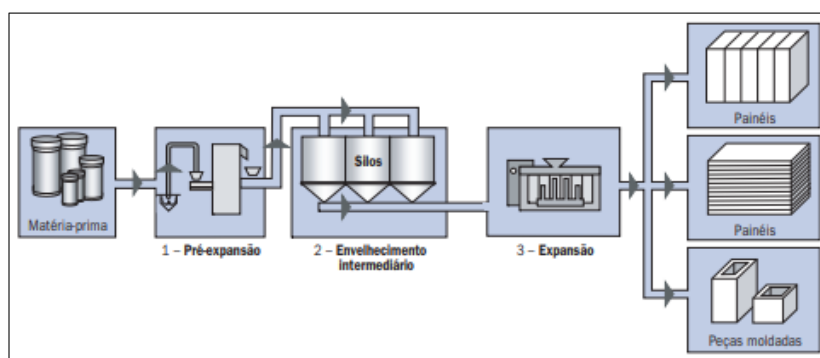


Fonte: JUTAL, 2019.

#### 2.3.4 EPS – poliestireno expandido

No desenvolvimento de painéis de vedação, inclusive para edificações residenciais é utilizado na atualidade o poliestireno expandido (EPS) que é um produto leve entre 10 e 25 kg/m<sup>2</sup> com resistência mecânica média de 1,8 Kgf/cm<sup>2</sup> e possui baixa densidade, ideal para composição do núcleo estruturante, além de apresentar-se como material inerte, possui alto potencial de reaproveitamento e engenharia reversa sem agressão ao meio ambiente, além da facilidade de manuseio na obra. O esquema geral do processo de fabricação é demonstrado conforme a Figura 6.

**Figura 6 -Processo de transformação da matéria prima de poliestireno.**

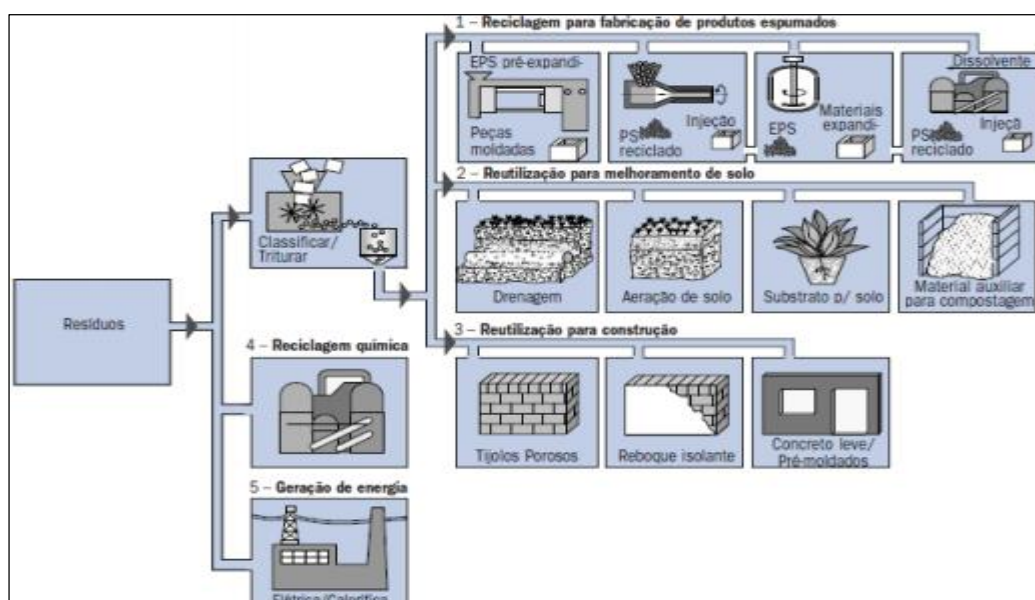


Fonte: GROTE, Z. V.; SILVEIRA, J. L. (2002).

O EPS é um polímero classificado como plástico celular rígido resultante da polimerização do estireno e sua formação compõe-se apenas de átomos de carbono e hidrogênio. Durante as etapas de produção, o EPS é submetido a um processo de transformação física, sem alteração das suas propriedades químicas (OHAMA, 1997).

Observou-se que os meios de reutilização do EPS descartado na forma de resíduo, como apresentado na Figura 7, podem dispor da geração de energia, da reciclagem química e a classificação e trituração como opção de engenharia reversa do material.

Figura 7 - Meios de reutilização do EPS.



Fonte: GROTE, Z. V.; SILVEIRA, J. L. (2002).

## 2.4 Elaboração de um projeto residencial habitacional modular com utilização do painel sanduíche cimentício – PSC.

Pode-se definir projeto como um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo, onde se entende em relação aos projetos que o termo temporário indica o período compreendido entre o início e término definido e o termo exclusivo relaciona-se com a singularidade de cada projeto (PMI 2012).

Um projeto residencial habitacional visa a implantação de condomínios residenciais e apresenta maior alcance populacional e melhor produtividade quando a opção escolhida seja a construção de casas populares. Desta forma deve-se

atender aos requisitos do programa para habitações populares da caixa econômica federal série habitações populares, e ainda a agência financiadora institucional, o governo federal, e órgãos consultivos participantes. (CEF, 2017).

No Brasil, a construção civil ainda apresenta sistemas construtivos tradicionais e que deverão ser substituídos por sistemas inovadores de construção que envolva a sustentabilidade e a eficiência energética requerida pelas normas vigentes. (MCIDADES, 2018b)

É notório que os programas habitacionais aliaram a possibilidade de aquisição da casa própria a famílias que se enquadrem nos requisitos básicos do programa de habitação popular e possibilitou a evolução da construção civil através de implantação de condomínios residenciais populares. A busca por novos materiais tornou-se necessário devido as patologias desenvolvidas nas atuais construções sem elaboração de estudos específicos e viabilidade de propostas para os protótipos sugeridos e os materiais utilizados.

A especificação do tipo de vedação no formato painel cimentício composto por núcleo de EPS, reforçado com malha bidimensional de juta e substituição parcial do cimento por metacaulinita, atenderam as premissas do projeto, conforme portaria 269/2017 do Ministério das Cidades, (MCIDADES, 2017). Onde são exigidos:

- A área mínima de casa deve ser a resultante das dimensões mínimas do plano diretor municipal;
- As dimensões mínimas devem atender ao mobiliário mínimo exigido conforme Tabela 5;
- Os ambientes devem apresentar: dois dormitórios, sala de estar/refeições, cozinha, banheiro e circulação, não podendo ser inferior à 36,00 m<sup>2</sup>, se área de serviço externa, ou 38,00 m<sup>2</sup>, se a área de serviços for interna.

Ao elaborar-se um elemento construtivo voltado para utilização em habitações populares, deve-se elaborar uma planta modular que apresente maiores detalhes como os cortes, vistas e detalhamentos das vedações verticais internas ou externas propostas, bem como atender as áreas mínimas exigidas pelo plano diretor regional da zona bioclimática onde o projeto será inserido (SINAT, 2018).

Tabela 5 - Especificações mínimas para edificações populares.

<b>AMBIENTES DA UHPP</b>	Unidade habitacional de padrão popular, com sala, 1 dormitório para casal, 1 dormitório para duas pessoas, cozinha, área de serviço e banheiro.
<b>CÔMODOS</b>	Deverão ser projetados pelos projetistas atendendo a NBR 15.575 e mobiliário mínimo exigido.
<b>Dormitório casal</b>	Quantidade mínima de móveis: 1 cama (1,40 por 1,90 m), 1 criado mudo (0,50 x 0,50 m) e 1 guarda roupa (1,60 x 0,50 m). Circulação mínima entre mobiliário e/ou paredes de 0,50 m.
<b>Dormitório duas pessoas</b>	Quantidade mínima de móveis: 2 camas (0,80 x 1,90 m), 1 criado mudo (0,50 x 0,50 m) e 1 guarda roupa (1,60 x 0,50 m). Circulação mínima entre camas 0,80 m. Demais circulações mínimas de 0,50 m.
<b>Cozinha</b>	Largura mínima da cozinha: 1,80 m. Quantidade mínima: pia (1,20 x 0,50 m), fogão (0,55 x 0,60 m) e 1 geladeira (0,70 x 0,70 m). Previsão de armário sob a pia e gabinete.
<b>Sala de estar / Refeições</b>	Largura mínima da sala de estar/refeições: 2,40 m. Quantidade mínima de móveis: sofás com número de assentos iguais ao número de leitos, mesa para 4 pessoas, e estante/armário tv.
<b>Banheiro</b>	Largura mínima do banheiro: 1,50 m. Quantidade mínima: 1 lavatório sem coluna, 1 vaso sanitário com caixa de descarga acoplada, 1 box com ponto para chuveiro - (0,90 x 0,95 m) com previsão para instalação de barras de apoio e de bancos articulados, desnível máximo de 20 mm; assegurar a área de transferência ao vaso sanitário e ao box.
<b>Área de serviço</b>	Dimensão mínima para área de serviço: 3,00 m <sup>2</sup> . Quantidade mínima: 1 tanque (0,52 x 0,53 m) e 1 máquina (0,60 x 0,65 m). Garantia de acesso frontal para tanque e máquina de lavar.
<b>Em todos os cômodos</b>	Espaço livre de obstáculos em frente às portas de no mínimo 1,20 m. Deve ser possível inscrever, em todos os cômodos, o módulo de manobras sem deslocamento para rotação de 180° definido pela NBR 9050 (1,20 x 1,50 m), livre de obstáculos.
<b>Ampliação - casas</b>	A unidade habitacional deverá ser projetada de forma a possibilitar a sua futura ampliação sem prejuízos das condições de iluminação e ventilação natural dos cômodos pré-existentes.

Fonte: BRASIL, MCIDADES (2019).

Outras especificidades do projeto para região amazônica devem ser apresentadas de acordo com a zona bioclimática 8, Tabela 6:

**Tabela 6 - Especificações mínimas do programa de habitação popular da caixa econômica para construção de casas.**

PROJETO MCMV	Especificidades
<b>Pé direito</b>	Pé direito mínimo de 2,50 m, admitindo-se 2,30 m no banheiro. Adotar pé-direito maior quando código de obras ou leis municipais assim estabelecerem.
<b>Cobertura - casas térreas</b>	Conforme NBR 15575. Sobre a laje, em telha com estrutura de madeira ou metálica. No caso de opção por beiral, este deve ter no mínimo 0,60 m ou 0,10 m maior que a calçada, o que for maior, com previsão de solução que evite carreamento do solo pelas águas pluviais. Vedado o uso de estrutura metálica quando o empreendimento estiver localizado em regiões litorâneas ou em ambientes agressivos a esse material. No caso de área de serviço externa, a cobertura deverá ser em toda a área, nas mesmas especificações da UH. Em caso de telhas cerâmicas esmaltadas, de concreto ou de fibrocimento, utilizar telhas de cor clara.
<b>Paredes</b>	Bloco cerâmico ou de concreto com espessura mínima de 14 cm, desconsiderando os revestimentos, ou soluções equivalentes que comprovem desempenho mínimo conforme NBR 15575. Em unidades localizadas nas zonas bioclimáticas 3 e 8, pintura das paredes externas predominantemente em cores claras (absortância solar abaixo de 0,4) ou acabamentos externos predominantemente com absortância solar abaixo de 0,4. Cores escuras admitidas em detalhes.

Fonte: MCIDADES (2019).

## 2.5 Comportamento acústico

O conforto acústico é um fator intrínseco determinante ao desenvolvimento do PSC para que inicialmente possua a capacidade mínima de utilização como painel sanduíche de vedação. O isolamento dos sons ou ruídos externos é necessário para desenvolvimento de atividades entre os níveis de conforto necessários de acordo com VALLE (2009) e CARVALHO (2010).

De acordo com a norma 15.575:2013 - Edificações habitacionais – desempenho, na parte 4: Requisitos para o sistema de vedações verticais internas e externas – SVVIE pode-se avaliar o desempenho acústico do PSC, onde os critérios de avaliação do desempenho acústico da referida norma possui relação ainda com as normas ISO 140-4:1998 e ISO 717-1:1996 (Tabela 7).

Para Silva (2005) os materiais com boa absorção acústica refletem uma pequena parcela da grande parte de energia sonora incidente. E apresentam o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) com variação ao valor mínimo de zero quando a superfície for rígida e polida, capaz de refletir a energia incidente plenamente. No caso de possuir aberturas, as paredes absorverão a energia sonora na totalidade e o coeficiente de absorção será igual a um.

**Tabela 7 - Desempenho acústico de acordo com NBR 15.575-4/2013 para SVVE – sistemas de vedação verticais externas.**

<b>Classe de ruído</b>	<b>Localidade da habitação</b>	<b>D<sub>2m,nT,W</sub> dB</b>	<b>R<sub>w</sub> dB</b>	<b>Nível de desempenho</b>
<b>I</b>	Habitação localizada distante de fontes de ruído intendo de quaisquer natureza	≥ 20	≥ 20	M
		≥ 25	≥ 30	I
		≥ 30	≥ 35	S
<b>II</b>	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	≥ 30	M
		≥ 30	≥ 35	I
		≥ 35	≥ 40	S
<b>III</b>	Habitação sujeita a ruído intendo de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	≥ 35	M
		≥ 35	≥ 40	I
		≥ 35	≥ 40	S

Obs.: Serão utilizados os valores de R<sub>w</sub> que garantem os valores de D<sub>2m,nT,W</sub> devido a qualidade e precisão dos ensaios de laboratórios.

Fonte: Adaptado do anexo da NBR 15.575-4/2013.

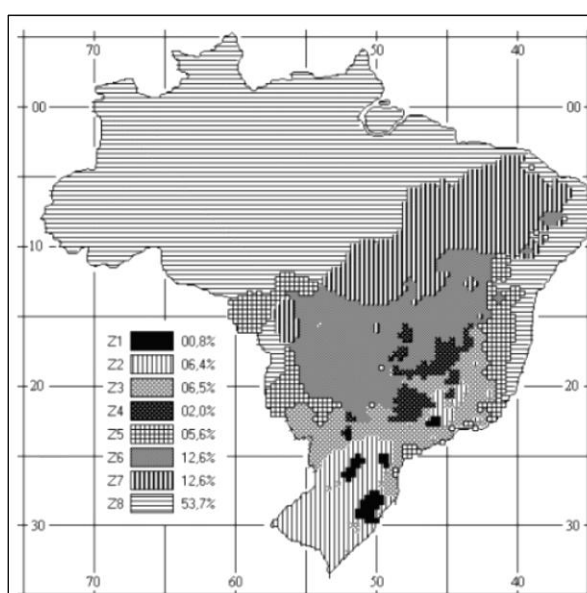


## 2.6 Desempenho térmico

O conforto térmico ocorrerá quando existir as trocas de calor entre o corpo humano e o ambiente ocupado sem maior esforço proporcionando desempenho máximo de atividades. Nesse caso o desempenho térmico em nível qualitativo, é instrumento indispensável para verificação e possíveis ajustes ainda nas etapas de projeto de acordo com FROTA (2006).

Para o desenvolvimento de novos materiais na construção civil, os procedimentos de fabricação dos elementos das edificações visam atender as especificações da norma NBR 15220-3 de desempenho térmico das edificações aliado as diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Essa norma apresenta ainda o zoneamento bioclimático brasileiro conforme Figura 8.

Figura 8 - zoneamento bioclimático brasileiro conforme NBR 15220-3.



Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003).

A NBR 15220:05-3 apresenta recomendações técnicas e construtivas, além da otimização do desempenho térmico das edificações através da adequação climática para a localidade de desenvolvimento do material aliado a programas habitacionais unifamiliares. A cidade de Manaus possui catalogação na referida norma de acordo com as Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Dados da cidade de Manaus, no estado do Amazonas, de acordo com NBR 15220 – parte3.

UF	Zona Bioclimática	Cidade	Latitude	Longitude	Altitude (m)
AM	8	Manaus	3.13 S	60.02 W	72

Fonte: Adaptado do anexo da NBR 15.220-3/2005.



Tabela 9 - Dados dos dias típicos de verão da cidade de Manaus de acordo com NBR 15220 – parte3.

UF	Temperatura Máxima Diária (°C)	Amplitude diária da temperatura	Temperatura de Bulbo Úmido	Radiação Solar Wh/m <sup>2</sup>	Nebulosidade décimos
Manaus	34,9	9,1	26,4	5177	7

Fonte: Adaptado do anexo da NBR 15.220-3/2005.

Como sugestões construtivas para utilização de paredes nas zonas bioclimáticas do país, a NBR 15220:05-3 apresenta critérios específicos de acordo com a Figura 9.

Figura 9 - Dados dos dias típicos de verão da cidade de Manaus de acordo com NBR 15220 – parte3.

<p><b>Zonas 1 a 3, 5 e 8</b></p>  <p>Zonas 1 a 3, 5 e 8</p>	<p><b>Paredes leves (Zonas 1 e 2):</b> <math>U \leq 3,00</math> <math>\phi \leq 4,3</math>  <b>Paredes leves refletoras (Zonas 3, 5 e 8):</b> <math>U \leq 3,00</math> <math>\phi \leq 4,3</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parede de tijolos de 6 ou 8 furos quadrados (espessura = 14 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 8 ou 6 furos circulares (espessura = 15 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 4 furos circulares (espessura = 14,5 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 3 furos circulares (espessura = 18 cm)</li> <li>• Parede de blocos cerâmicos 2 furos circulares (espessura = 19 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 2 furos circulares (espessura = 17,5 cm)</li> <li>• Parede de tijolos de 21 furos circulares (espessura = 17 cm)</li> </ul>
<p><b>Zonas 4, 6 e 7</b></p>  <p>Zonas 4, 6 e 7</p>	<p><b>Paredes pesadas:</b> <math>U \leq 2,20</math> <math>\phi \geq 6,5</math></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares (espessura = 26 cm)</li> <li>• Parede dupla de tijolos de 21 furos circulares (espessura = 30 cm)</li> <li>• Parede dupla de tijolos de 6 furos circulares (espessura = 36 cm)</li> <li>• Parede dupla de tijolos de 8 furos quadrados (espessura = 44 cm)</li> <li>• Parede dupla de tijolos de 8 furos circulares (espessura = 46 cm)</li> </ul>

Fonte: Adaptado do anexo da NBR 15.220-3/2005.

O fator primordial para atendimento a norma NBR 15220:05 é a transmitância térmica (U) que é o resultado inverso da resistência absorvida por uma fonte de calor, e tem como variáveis diretas do cálculo a espessura do material, o sentido do fluxo e inércia dos componentes

Outra norma brasileira de desempenho que estabelece parâmetros de utilização é a NBR 15575:13: Edificações habitacionais – Desempenho, que avalia os sistemas que compõem a uma edificação inerentes aos materiais e métodos construtivos utilizados. Na parte 1 da referida norma são apresentados os critérios de avaliação de desempenho térmico para condições de verão conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Desempenho térmico do SVV de acordo com NBR 15575, 2013 – parte1.

Nível de desempenho	Desempenho térmico na condição de verão	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
<b>M</b>	$T_i, \text{máx} \leq T_e, \text{máx}$	$T_i, \text{máx} \leq T_e, \text{máx}$
<b>I</b>	$T_i, \text{máx} \leq (T_e, \text{máx} - 2^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx} \leq (T_e, \text{máx} - 1^\circ\text{C})$
<b>S</b>	$T_i, \text{máx} \leq (T_e, \text{máx} - 4^\circ\text{C})$	$T_i, \text{máx} \leq (T_e, \text{máx} - 2^\circ\text{C})$ e $T_i, \text{mín} \leq (T_e, \text{máx} + 1^\circ\text{C})$
$T_i, \text{máx} (^\circ\text{C})$	Valor máximo diário do ar no interior do ambiente	
$T_e, \text{máx} (^\circ\text{C})$	Valor máximo diário do ar no exterior do ambiente	
$T_i, \text{mín} (^\circ\text{C})$	Valor mínimo diário do ar no interior do ambiente	
$T_e, \text{mín} (^\circ\text{C})$	Valor mínimo diário do ar no exterior do ambiente	

Fonte: Adaptado do anexo da NBR 15.220-3/2005.

O cumprimento dos parâmetros normativos desta norma prevê a definição de requisitos, critérios e métodos de avaliação, e foi elaborada pelo comitê brasileiro de construção civil que a dividiu em seis partes direcionadas aos tipos de sistemas adotados em uma edificação, e neste trabalho foi desenvolvido com base na parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações.

A NBR 15575-4:13 aborda os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) e sua relação com o desempenho das edificações, onde pode-se

ainda avaliar a tipologia de vedação vertical proposta nessa pesquisa quanto ao seu isolamento térmico, acústico e estanqueidade.

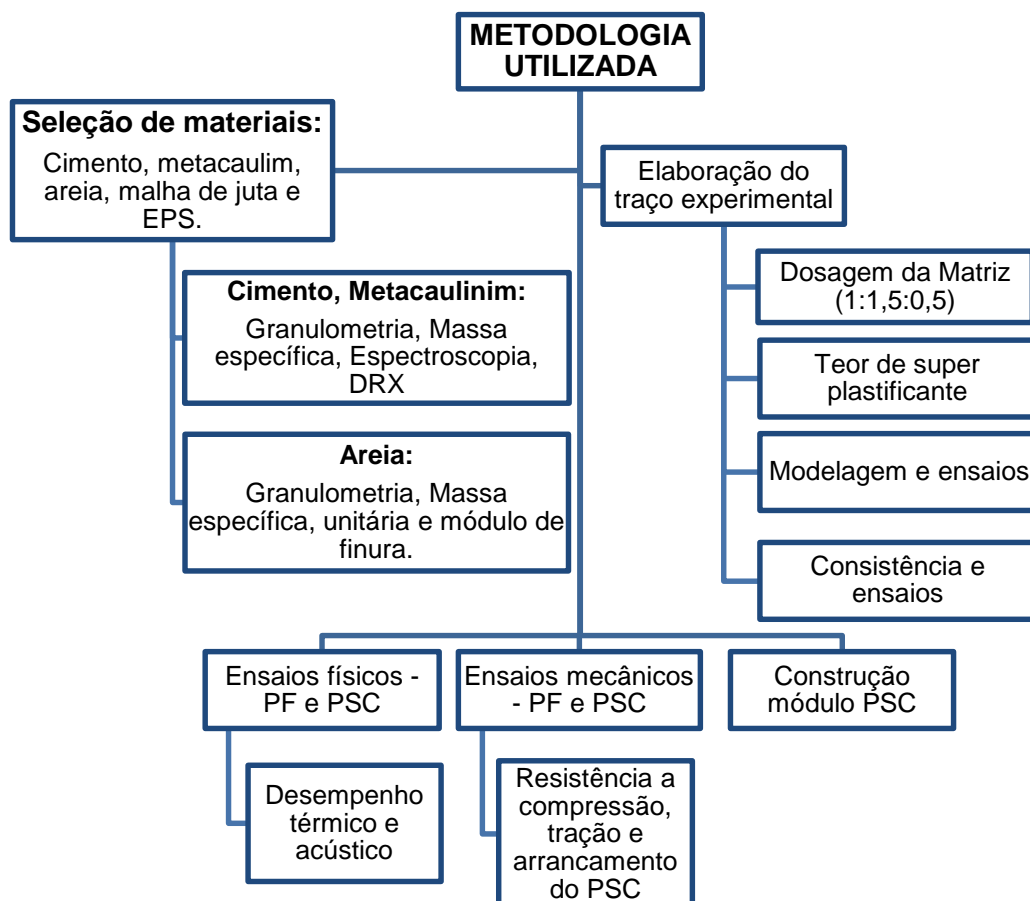
A revisão de literatura reforçou a necessidade de atender as especificidades da zona bioclimática 8, onde localiza-se a cidade de Manaus, bem como corroborar a utilização da fibra regional amazônica de juta e o caulim amazônico. Os materiais designados para composição do painel sanduíche, a partir de suas características e qualidades, serão analisados de acordo com ensaios específicos propostos na metodologia.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi baseada no desenvolvimento de um painel sanduíche composto por núcleo de EPS e placas de face cimentícias resistentes que utilizassem fibras vegetais da região amazônica juntamente com a substituição parcial do cimento por metacaulinita, para isto buscou-se a compatibilidade de materiais apresentados na literatura por Lima, (2004), para desenvolvimento das placas de face, que apresentou resultados satisfatórios de resistência mecânica para compósitos reforçados com substituição de 30% do cimento por metacaulinita, e por Melo Filho (2012), que validou a utilização da metacaulinita nos compósitos desenvolvidos proporcionando a fabricação de um compósito com maior durabilidade da fibra vegetal empregada devido a redução do hidróxido de cálcio na matriz cimentícia.

Na segunda fase do estudo foram designados os materiais e determinados os traços para fabricação do PSC, segundo o planejamento experimental apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Planejamento experimental.



Durante a terceira fase, foram designados as massas específicas dos componentes do painel sanduíche, a pozolana escolhida para substituição, a areia quartzosa, a malha de juta e o EPS que compôs o núcleo do painel.

A quarta fase demonstrou as resistências das placas de face e do PSC através de ensaios de placas de face confeccionadas na dimensão 400 mmx400 mm x 10 mm e do PSC, nas dimensões 1000 mm x 500 mm e 1000 mm x 1000 mm, ambas com espessura 120 mm.

### 3.1 Materiais designados

Os materiais empregados no desenvolvimento do PSC foram cimento Portland, caulim, areia quartzosa de rio, água potável, aditivo superplastificante, tecido de juta bidimensional e EPS.

#### 3.1.1 Cimento

Foi empregado o cimento Portland CP III - 40 RS resistente a sulfatos, fabricado pela empresa CBMC/PE, certificada pela ABCP de acordo com a NBR 5737:1992 - cimentos Portland resistente a sulfatos, e adquirido no comércio da cidade de Manaus.

O tipo de cimento escolhido para desenvolvimento na pesquisa levou em consideração o baixo impacto ambiental ocorrido durante o processo de produção e seus componentes, como as adições de escória de alto forno (E), o material carbonático (F) e suas propriedades de impermeabilização, como indicado na Tabela 11.

**Tabela 11 - Índices normativos do cimento Portland CPIII – 40 RS.**

Tipologia do cimento	Classe de resistência	Adições ( E / F )	Clinker e gesso
CPIII - RS	40 MPa	35-70% / 0-5%	25 – 65%

Fonte: Adaptado NBR-5735:91 e NBR-5737:92.

De acordo com as especificações do fabricante, o cimento Portland CPIII – 40 RS atende os parâmetros estabelecidos pela NBR 16697:2018 Cimento Portland – Requisitos, conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Análise física do cimento Portland CPIII – 40 RS.

ensaios		Média	Desvio	ABNT
Comp. Química	PF (%)	1,61	0,10	≤ 4,5
	RI (%)	0,75	0,14	≤ 1,5
	SO <sub>3</sub> (%)	1,40	0,21	≤ 4,0
	CaO (%)	60,5	5,5	-
Resist. Comp. (Mpa)	3D	21,20	1,63	≥ 12,0
	7D	32,90	2,19	≥ 23,0
	28D	45,10	2,47	≥ 40,0
Finura	g/cm <sup>3</sup>	2,98	0,00	-
	Blaine (m <sup>2</sup> /kg)	4330	165,00	≥ 300
	# 325	1,10	0,53	-
	# 200	0	0	-
Exp	Quente (mm)	0,00	0,00	≤ 5
Pega	início (min)	195,00	8,20	≥ 60
	fim (min)	236,00	6,70	-
Cons.	Normal (%)	31,30	0,50	-

Fonte: CBMC/ABCP 2019.

A massa específica do cimento foi obtida de acordo com a norma NBR 6474 NM23:00 - Determinação da massa específica do cimento Portland por meio do frasco volumétrico de Le Chatelier (Figura 11).

Figura 11 - Ensaio para obtenção da massa específica do cimento.



Os valores relacionados as três leituras realizadas foram determinados pelo valor médio da fórmula:

$\gamma = 500 / (V_2 - V_1)$  em  $\text{g/cm}^3$ , onde:

$\gamma$  = massa específica em  $\text{g/cm}^3$ ;

$V_1$  = Leitura inicial;

$V_2$  = Leitura final.

Ainda em relação a análise química, foram parametrizados os ensaios de FRX, realizados no LAMAC – Laboratório de materiais da Amazônia e compósitos, e DRX, realizados no LABMAT – Laboratório de materiais da UFAM.

Os ensaios de distribuição granulométrica do cimento, bem como da metacaulinita e areia foram realizados no LAMIN - laboratório de Análises Mineraias do CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Mineraias (CPRM, 2018) de Manaus, e o método de análise utilizado foi a difração a Laser, o equipamento utilizado foi o Malvern, 2012, modelo Mastersize 2000, que analisa os tamanhos das partículas através da variação angular na intensidade da luz espalhada por meio de feixe de laser que passa pelas partículas dispersas de uma amostra (Figura 12).



Figura 12 – Equipamento utilizado para elaboração dos ensaios de difração a laser.



Fonte: Malvern Panalitical Company (2019).

O cimento apresentou resultados que atendem as normas vigentes obtidos de acordo com ensaios de FRX da amostra utilizada conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Elementos da amostra de cimento detectados pelo FRX.

COMPOSIÇÃO	%
Ca	71,959%
Si	12,279%
Al	3,286%
Fe	3,091%
S	2,541%
Mg	2,250%
Mn	1,574%
K	1,438%

Ainda de acordo com a norma verificou-se que a amostra analisada apresentou percentual de CaO superior a 60% de acordo com Tabela 14.

Tabela 14 - – Elementos da amostra de cimento detectados pelo FRX.

COMPOSTOS	%
CaO	62,032%
SIO2	19,987%
AL2O3	4,843%
SO3	4,468%
MgO	2,964%
Fe2O3	2,404%
K2O	1,161%

### 3.1.2 Caulim

O Caulim foi extraído da jazida localizada no km 64 da BR-174, entre as cidades de Manaus e Presidente Figueiredo, conforme Figura 13.

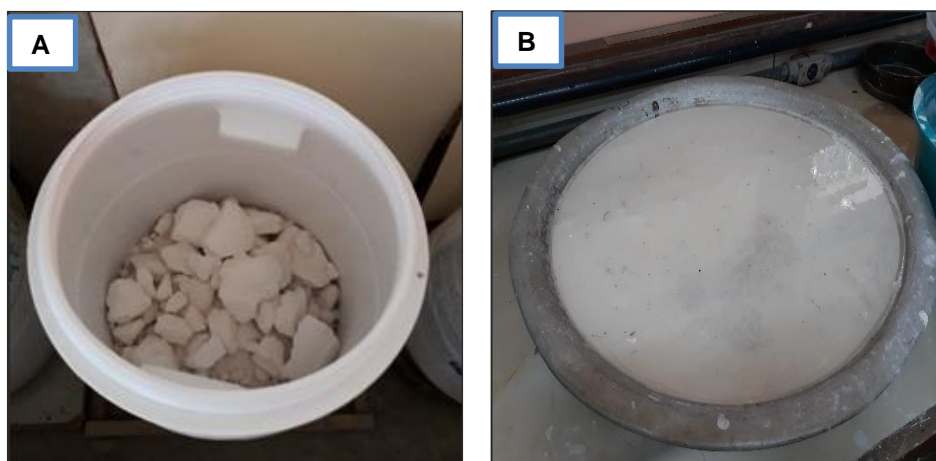
**Figura 13 - Localização do ponto de extração do metacaulinita (-2.41 S; -60.03 W).**



Fonte: Google Maps (2019).

O processo úmido adotado para obtenção da metacaulinita foi iniciado pela secagem do caulim, em ambiente aberto por vinte e quatro horas de acordo com Figura 14a, e posterior desagregação em pequenos pedaços que foram deixados de molho em recipientes visando a sedimentação do material e retirada de impurezas e excesso de água (Figura 14).

**Figura 14- Processo de produção do metacaulinita (A) coleta do caulim e (B) Molho do caulim.**



Após vinte e quatro horas de espera do molho, o caulim foi passado novamente na peneira 100 mesh, onde são retirados o excesso de água e as impurezas da amostra. O caulim foi fracionado e colocado em estufa na temperatura de 120 °C durante período de 24 h de forma a eliminar a umidade do material (Figura 15).

**Figura 15 - Processo de produção da metacaulinita, preparo para secagem do material.**



Após a retirada da estufa, o caulim foi resfriado em temperatura ambiente conforme Figura 16, para atingir temperatura ideal de manuseio.

**Figura 16 - Retirada do caulim da estufa e maceração do caulim**



Após atingir a temperatura ideal para o manuseio, o caulim foi novamente macerado e passado na peneira # 100 mesh, para obter menor diâmetro possível e proporcionar maior resistência da argamassa (Figura 17).

**Figura 17 - Maceração do caulim após retirada da estufa.**



A etapa final do processo de fabricação da metacaulinita ocorreu após a calcinação do material em uma mufla com temperatura média de 700°C pelo período de seis horas (Figura 18a), e retirada para resfriamento pelo período necessário para manuseio da metacaulinita produzida (Figura 18b).

**Figura 18 - Processo de produção da metacaulinita, (a) utilização da mufla pelo período de seis horas e (b) Obtenção da metacaulinita após resfriamento.**



A distribuição granulométrica da metacaulinita será apresentada juntamente com as curvas da areia e cimento posteriormente visando demonstrar a compatibilidade dos materiais. Nos ensaios químicos realizados foram observados os elementos e compostos existentes na metacaulinita fabricada conforme Tabelas 15 e 16.

**Tabela 15 - Composição da amostra de metacaulinita detectados pelo FRX (%significativos).**

COMPOSTOS	%
Si	56,111%
Al	36,338%
Fe	3,537%
Ti	1,825%

A análise dos elementos encontrados na amostra de metacaulinita demonstraram percentual elevado de Silício, acima de 56%, bem como do alumínio, acima de 36 %, e Ferro, acima de 3% que indicam a qualidade da amostra coletada.

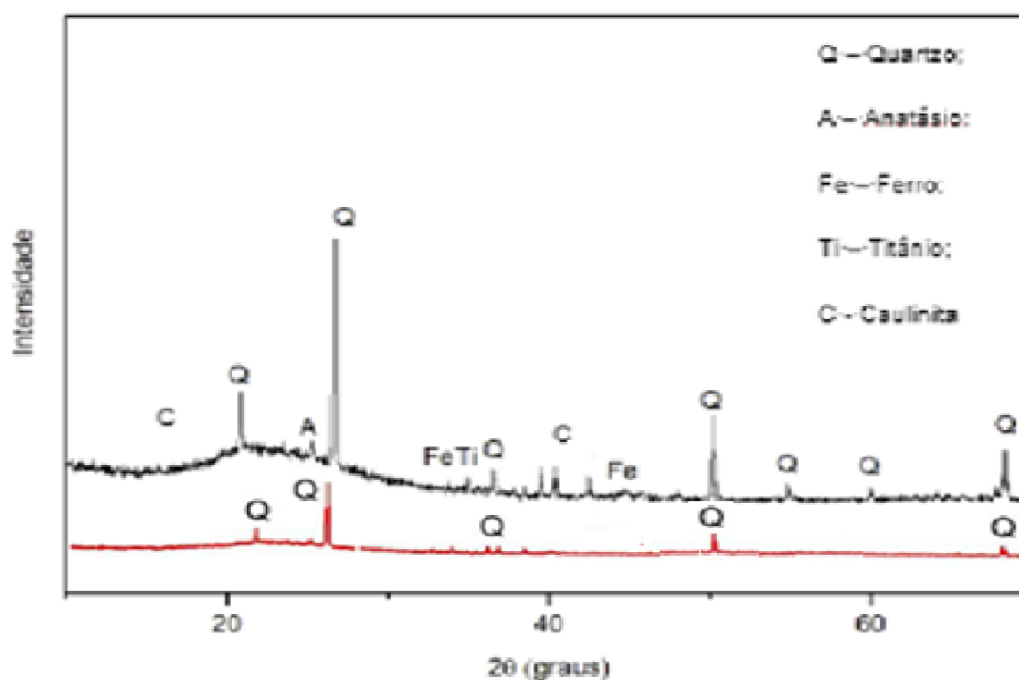
Tabela 16 - Composição de óxidos da amostra de metacaulinita detectados pelo FRX (%significativos).

COMPOSTOS	%
SiO <sub>2</sub>	55,460%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40,836%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,768%

Pode-se observar ainda que os teores encontrados na amostra de metacaulinita para o somatório percentual de SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi de 98,06%, portanto superior 90% e indica que o material produzido foi de alta reatividade pozolânica.

A Figura 19 apresenta a difração de raio-x (DRX) da metacaulinita transformada do caulim inicial, onde podemos observar que a amorficidade final da metacaulinita proporcionou maior reatividade pozolânica quanto a sua trabalhabilidade na argamassa utilizada no PSC.

Figura 19 - Difração de raio-x da metacaulinita.



### 3.1.3 Areia

A areia utilizada como agregado miúdo durante o desenvolvimento da pesquisa foi do tipo fina quartzosa natural lavada obtida na região metropolitana de Manaus, coletada em jazidas localizadas nas margens do rio Manacapuru, no município de Manacapuru (Figura 20), disponíveis no comércio local.

**Figura 20 - Localização do ponto de extração da areia (-3.15 S; -60.90 W)**



Fonte: Google Maps (jul/2019).

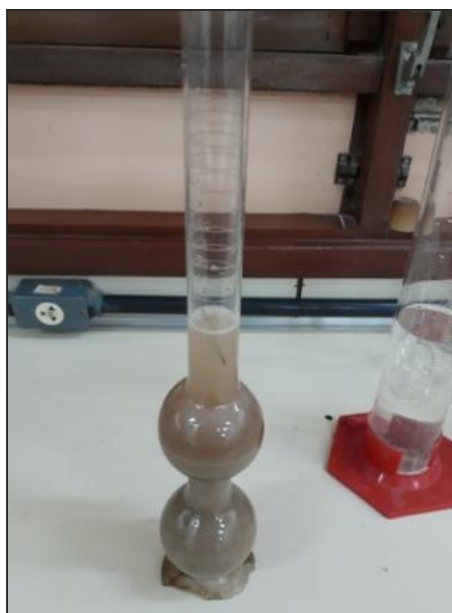
Após o recebimento do material adquirido ensacado no mercado local, o mesmo permaneceu em estufa pelo período de 24h para realização do ensaio inicial

de determinação de impurezas orgânicas em agregado miúdo conforme a norma NM 49.

A determinação da composição granulométrica da areia foi realizada de acordo com a NBR 7217:1987, o módulo de finura e o diâmetro máximo do material foram obtidos através da amostragem de aproximadamente 0,500 Kg de material, seco em estufa pelo período de 24 h.

Ainda de acordo com a norma NBR NM52:2003, a determinação da massa específica real ou absoluta do agregado miúdo por meio do frasco de Chapman foram realizados no laboratório de pavimentação da Universidade Federal do Amazonas - UFAM de acordo com Figura 21.

**Figura 21 - Ensaio para obtenção massa específica real.**



Fonte: Adaptado da NBR 9776:87.

Os valores relacionados as três leituras realizadas foram determinados pelo valor médio da fórmula:

$$\gamma = 500 / (L - 200) \text{ em g/cm}^3, \text{ onde:}$$

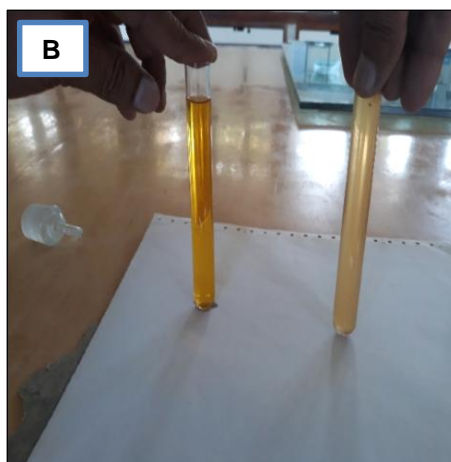
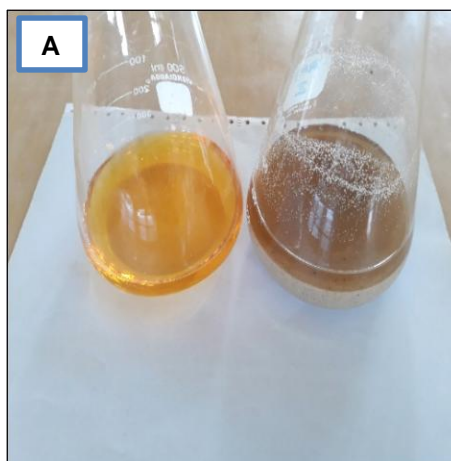
$\gamma$  = massa específica em g/cm<sup>3</sup>;

L = Leitura final.



Os resultados da distribuição granulométrica e ensaios químicos e físicos da areia quartzosa são apresentados a seguir nas Figuras 22a e 22b e Tabelas 17 a 19. A validação inicial para utilização da areia ocorreu após o atendimento a norma NBR NM 49 - DETERMINAÇÃO DE IMPUREZAS ORGÂNICAS HÚMICAS EM AGREGADO MIÚDO.

**Figura 22–Realização de ensaio para determinação de impurezas, (A) deposição da areia em solução de referência, (B) análise visual comparativa a solução de referência.**



O resultado deste ensaio determinou que a deposição das partículas se encontra em quantidade inferior a 200 ppm, além da solução reativa da amostra apresentar coloração mais clara do que a solução de referência e, portanto, validando em parte a utilização do lote de areia adquirida. A análise granulométrica demonstrou os seguintes resultados conforme Tabela 17.

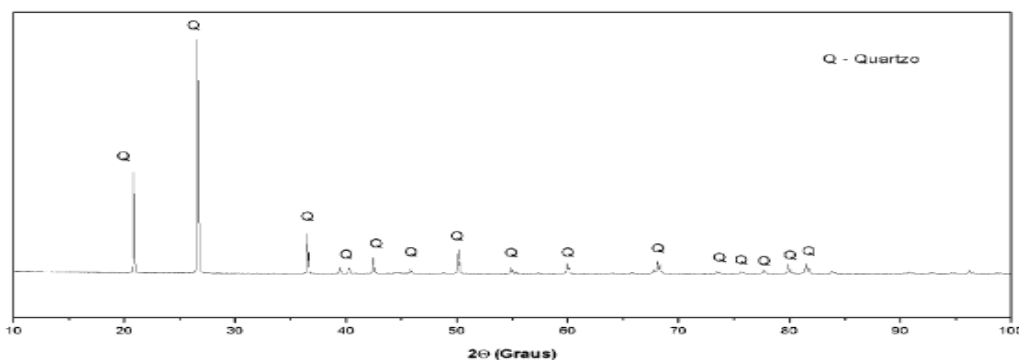
**Tabela 17 - Composição Granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo da areia quartzosa.**

PENEIRAS	% RETIDO	% ACUMULADO
4,80 mm	0,00%	0,00%
2,40 mm	0,00%	0,00%
1,20 mm	4,98%	4,98%
600 µm	19,03%	24,01%
300 µm	26,70%	50,71%
150 µm	36,16%	86,87%
Fundo	13,13%	100,00%
Módulo de finura		1,67 mm
Diâmetro máximo		2,40 mm

De acordo com a norma NM 248/03 foi possível determinar através da análise da composição granulométrica que areia quartzosa utilizada foi classificada como areia fina.

Os ensaios de DRX realizados para a areia apresentaram as características físicas do material analisado de acordo com o difratograma da Figura 23.

**Figura 23 - Difração de raio-x da areia quartzosa**



Fonte: CPRM, 2019.

Os ensaios de FRX, realizados na UFAM, empregaram o método de ensaio de espectrometria de fluorescência de raios-X que visam identificar os elementos existentes na composição do material analisado conforme Tabelas 18 e 19.

**Tabela 18 - Composição da amostra de areia detectados pelo FRX.**

COMPOSTOS	%
Al	0,865%
Si	95,825%
P	1,179%
K	84,900%

**Tabela 19 - Composição de óxidos da amostra de areia detectados pelo FRX.**

COMPOSTOS	%
SiO <sub>2</sub>	97,165%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,082%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,907%
K	84,900%

Ao coletar as informações correspondentes sobre a composição química dos materiais utilizados na confecção do PSC pode-se elaborar uma tabela analítica que apresentou os compostos químicos dos materiais, Tabela 20.

Tabela 20 - Composição de óxidos da amostra de areia detectados pelo FRX.

Compostos	Metacaulinita	Cimento	Areia
SiO <sub>2</sub>	55,40	19,99	97,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40,84	4,84	1,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,77	2,40	0,11
TiO <sub>2</sub>	0,66	0,36	0,02
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75	0,48	0,91
CaO	0,21	62,03	0,24
K <sub>2</sub> O	0,23	1,61	0,33
MgO	-	2,96	-
Outros	0,14	5,33	0,15
SiO <sub>2</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	98,01	-	-

Ainda de acordo com a norma verificou-se que a amostra analisada do cimento apresentou percentual de CaO superior a 60%, e MgO abaixo de 6,5 %.

### 3.1.4 Água

Utilizou-se água potável fornecida pelo laboratório de Materiais (LEM), oriunda da rede de distribuição da Universidade federal do Amazonas (UFAM), que atende a portaria 518/04 do Ministério da Saúde e a temperatura média obtida através de termômetros foi de 26,1°C.

### 3.1.5 Superplastificante

A utilização do superplastificante ADVAcast525 baseado em policarboxilato levou em consideração sua trabalhabilidade em peças pré-fabricadas e sua capacidade de produção de pastas auto adensáveis (Tabela 21).

Tabela 21 - Características principais do superplastificante.

PRODUTO	ADVA cast 525
Tipo	Superplastificante
Aspecto	Líquido
Cor	Amarelo Claro
Validade	1 ano
Atendimento a norma	ASTM C 494
Classe aditivo	Tipo F - superplastificante
Massa específica	1,15 g / cm <sup>3</sup>

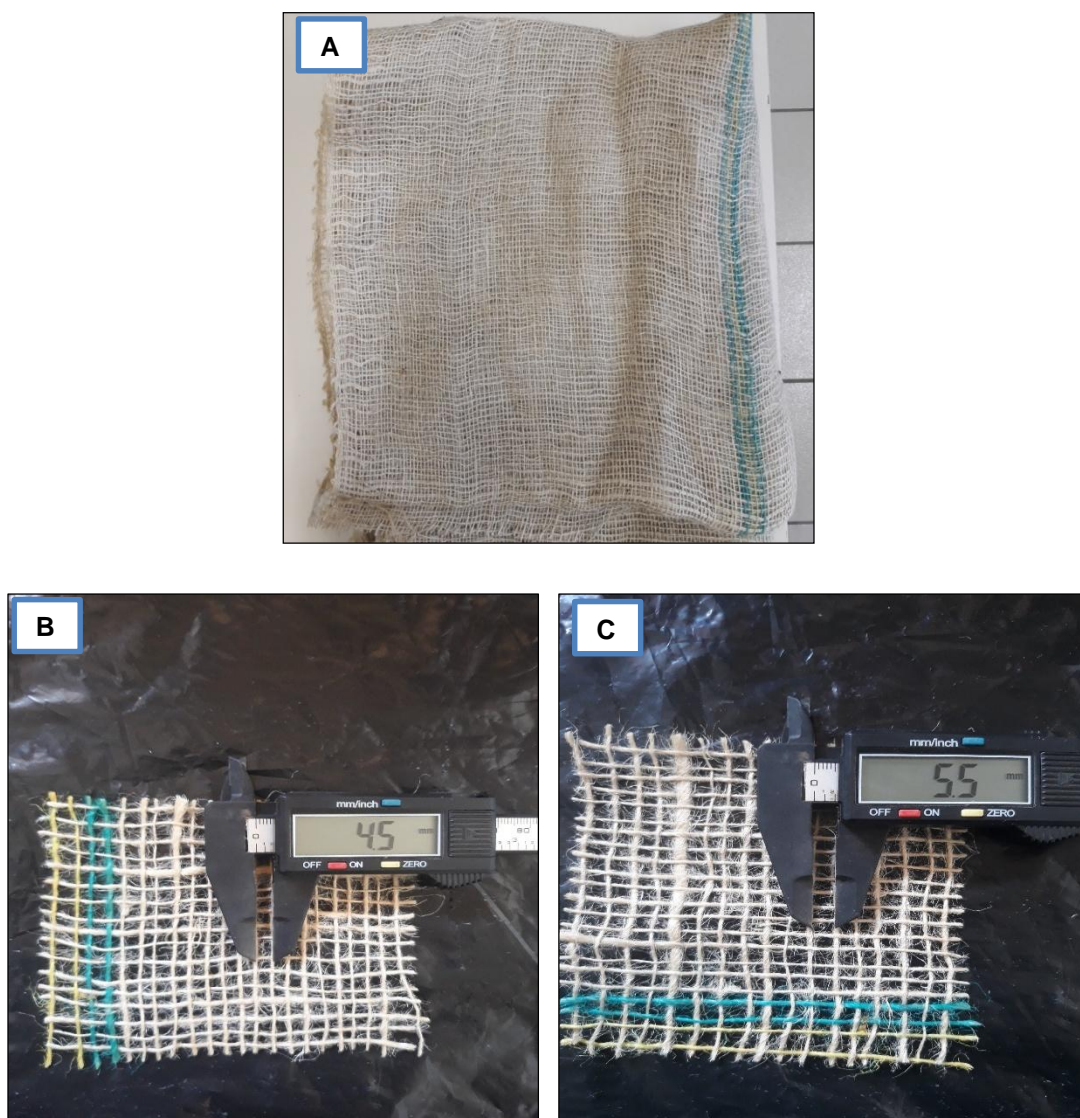
Fonte: Adaptado do fabricante GRACE, 2019.

A dosagem mínima recomendada pelo fabricante é de 0,15% a 0,80% sobre a massa de cimento, e sua determinação para utilização na argamassa foi obtida através de ensaios de Marsh e Kantro.

### 3.1.6 Tecido de juta

Foram utilizados tecidos de juta (*Corchorus capsularis*) amazônica fabricados em forma de malha aberta bidirecional (Figura 24a), adquiridos na empresa industrial de juta S/A. Jutal/AM. A escolha desse tipo de malha levou em consideração a abertura da malha (Figura 24b e 24c) para utilização de agregados miúdos que de acordo com a norma 7211:2009 são aqueles em que os grãos passaram pela peneira 4,8 mm e ficaram retidos na peneira 75 µm.

Figura 24 - Tecido de juta aberta bidirecional, (a) tecido em dimensão de 1000mm x 10000mm, (b) abertura dos urdumes e (c) abertura das tramas.



As malhas bidirecionais utilizadas foram recortadas com auxílio de tesouras de bobinas fabricadas com 10000 mm x 1000 mm, onde pode-se observar em sua composição, a disposição de urdumes (sentido longitudinal) e tramas (sentido transversal) impermeabilizados através de tratamento de óleo vegetal e engomados com cola que proporcionam durabilidade e trabalhabilidade ao material e sua escolha levou em consideração a sua resistência e disponibilidade no mercado local. De acordo com LIMA (2019) que realizou ensaios de tração direta nos tecidos conforme o posicionamento de tramas e urdumes e consoante a norma NBR 14727:2016, a malha aberta de juta possui demonstra trabalhabilidade compatível para utilização em

placas cimentícias. As principais características da malha bidirecional de juta são apresentadas nas Tabelas 22 e 23.

**Tabela 22 - Características principais tecido de juta.**

Características	Tecido de juta em malha aberta
Fibrilas do cordão	80
Gramatura (Kg/m)	0,040 ± 0,01
Tensão de ruptura	4,50 Kgf
Tramas (und/cm)	1,8
Urdumes (und/cm)	2,3

Fonte: Adaptado de JUTAL, 2019.

**Tabela 23 – Propriedades de resistência do tecido de juta de malha aberta.**

Características	Tecido de juta em malha aberta
Tensão tramas $\sigma_t$ (Mpa)	30,2
Tensão urdumes $\sigma_u$ (Mpa)	37,9
Resiliência (J/m <sup>3</sup> )	70,8
Tenacidade (J/m <sup>3</sup> )	196,7

Fonte: LIMA, 2019.

### 3.1.7 EPS

Adotou-se o EPS (poliestireno expandido) em placas, como núcleo do painel sanduíche cimentício, devido as suas qualidades como resistência térmica e a possibilidade de reciclagem do painel que pode proporcionar a engenharia reversa do núcleo do PSC (Tabela24).

Tabela 24 - Características principais do painel EPS.

Características	EPS
Classe	P
Tipologia	Tipo I 15 Kg/m <sup>3</sup>
Espessura	100 mm ± 5 mm
Dimensão	3000 mm x 1000 mm

Fonte: O autor, adaptado do fabricante, 2019.

### 3.2 Métodos experimentais

Neste item serão apresentados os métodos adotados para fabricação da matriz, a produção do painel sanduíche cimentício (PSC) e aplicação do PSC em uma moradia popular de interesse social.

#### 3.2.1 Produção da matriz cimentícia

No desenvolvimento da pesquisa, a matriz cimentícia foi adaptada a partir dos estudos de Melo Filho (2012) que utilizou uma dosagem 1:1:0,4 além de substituição de 50% do cimento por metacaulinita. O traço utilizado naquela ocasião apresentou composição livre de hidróxido de cálcio, de acordo com resultados termogravimétricos apresentados e resistência elevada para fabricação de placas cimentícias compatíveis com as placas de face utilizadas no painel sanduíche.

No entanto, nesta pesquisa a pasta da matriz cimentícia foi composta por cimento Portland CP III resistente a sulfatos, além de areia quartzosa lavada de rio, metacaulinita, aditivo superplastificante e água potável, utilizada juntamente com a malha têxtil de juta para compor a placa de face do painel sanduíche e necessitou de ajustes ao traço para que apresentasse fluidez e trabalhabilidade necessárias além de manter a resistência adequada.

Os percentuais de metacaulinita estabelecidos na execução da argamassa, para manutenção das fibras vegetais foram de 30% em substituição ao cimento e



seguem os parâmetros da pesquisa de (LIMA e TOLEDO FILHO, 2008), que constataram a redução do teor de hidróxido de sódio e ausência de ataque nas fibras vegetais além de constatar que a utilização de metacaulinita na pasta matriz reduziu a porosidade e proporcionou aumento da resistência a compressão.

As proporções dos materiais, o fator de utilização água/cimento ( $A_c$ ) e o percentual do superplastificante ( $S_p$ ) foram estabelecidas através dos ensaios de Marsh e Kantro. No método de Marsh, são encontradas as correspondências ao ponto de saturação do superplastificante através da utilização o cone de *Marsh*, conforme recomendações dos percentuais de utilização estabelecidos pelo fabricante. Inicialmente os materiais são identificados e pesados de acordo com o traço estabelecido conforme Figura 25. Na Figura 26 observa-se a homogeneização do materiais constituintes da matriz.

**Figura 25 - Identificação e pesagem do material utilizado na pasta.**



**Figura 26 – Homogeneização do material na cuba do misturador.**



### 3.2.1.1 Ensaio de cone de Marsh

Para Brasileiro *et al.*, (2015), o ponto de saturação do superplastificante é obtido com auxílio do cone de *Marsh*, através da adição de um litro de argamassa autoadensável passante em peneira para retirada de possíveis impurezas ou materiais graudos e introduzido no cone pré umedecido onde serão medidos o tempo que aquele determinado percentual de utilização adotado do superplastificante alcançará a marca de 500 ml na proveta graduada. Os equipamentos utilizados foram disponibilizados pelo LEM - laboratório de materiais da UFAM – Universidade Federal do Amazonas de acordo com Figura 27.

**Figura 27 - Equipamentos utilizados no ensaio de Marsh.**



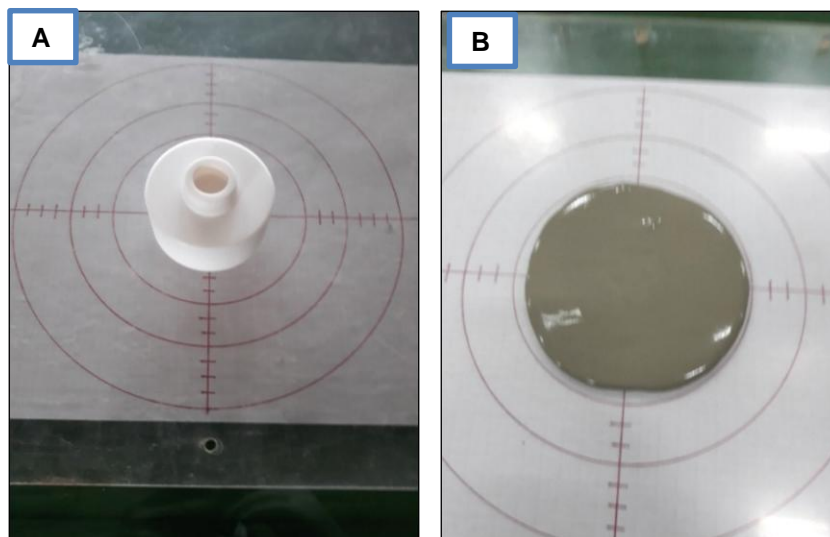
De acordo com Manohar (2014), a dosagem de saturação do superplastificante será determinada como aquele ponto além do qual não há nenhuma diminuição significativa no tempo de fluxo, e o ponto de saturação será adotado como percentual máximo de superplastificante para ser usado na argamassa. As etapas do ensaio do funil Marsh são apresentadas na Figura 28. Na figura 28a, são apresentados os equipamentos para o ensaio. Na figura 28b, é realizada a passagem da argamassa através do funil e na figura 28c, a medição da altura e tempo.



### 3.2.1.2 Ensaio de mini abatimento

Para determinação do espalhamento ideal a ser adotado foram realizados ensaios de mini abatimento idealizados por Kantro através de um molde de tronco cônico em acrílico. Na Figura 29a, onde a pasta é inserida inicialmente para que posteriormente realize-se leituras horizontais e verticais do espalhamento ocorrido sobre uma placa de vidro (Figura 29b) e com auxílio de papel milimetrado conciliar o melhor resultado ao traço determinante para argamassa do PSC.

**Figura 29 - Ensaio de Mini abatimento, (a) disposição do cone sobre papel milimetrado e (b) realização das leituras ortogonais do espalhamento da argamassa.**



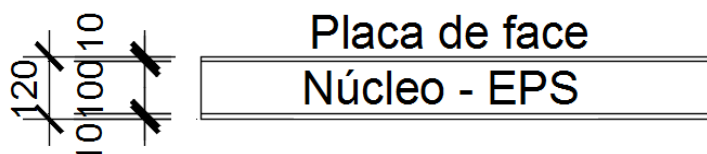
Desta forma, com base nas leituras obtidas do espalhamento da pasta e gráfico de dosagem do superplastificante pode-se determinar que o traço de referência para realização do PSC será 1:1,5:0,50 (cimento: areia: fator a/c), compatível a substituição parcial do cimento por metacaulim em 30% do peso do cimento e adição de 0,40% de aditivo superplastificante.

Os corpos de prova foram ensaiados de acordo com a norma NBR 7215:96 e normas correlatas as placas faces do painel atenderam a norma 15498:16, ambos ensaios foram desenvolvidos no laboratório de materiais da Universidade Federal do Amazonas - UFAM e rompidos na Universidade Estadual do Amazonas – UEA.

### 3.2.2 Produção das placas faces

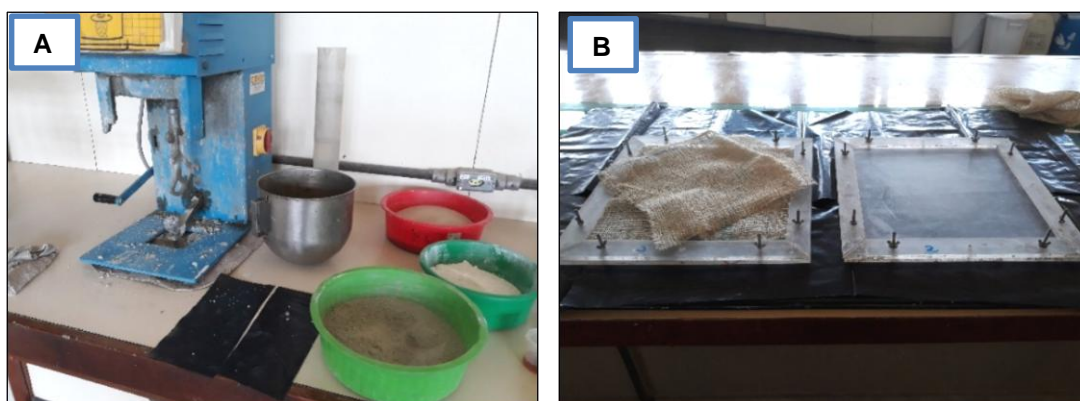
A confecção do painel sanduíche cimentício proposto na pesquisa necessitou de avaliação inicial da resistência mecânica das placas cimentícias utilizadas nas faces do PSC (Figura 30).

Figura 30– Componentes do painel sanduíche cimentício – PSC, medidas em mm.



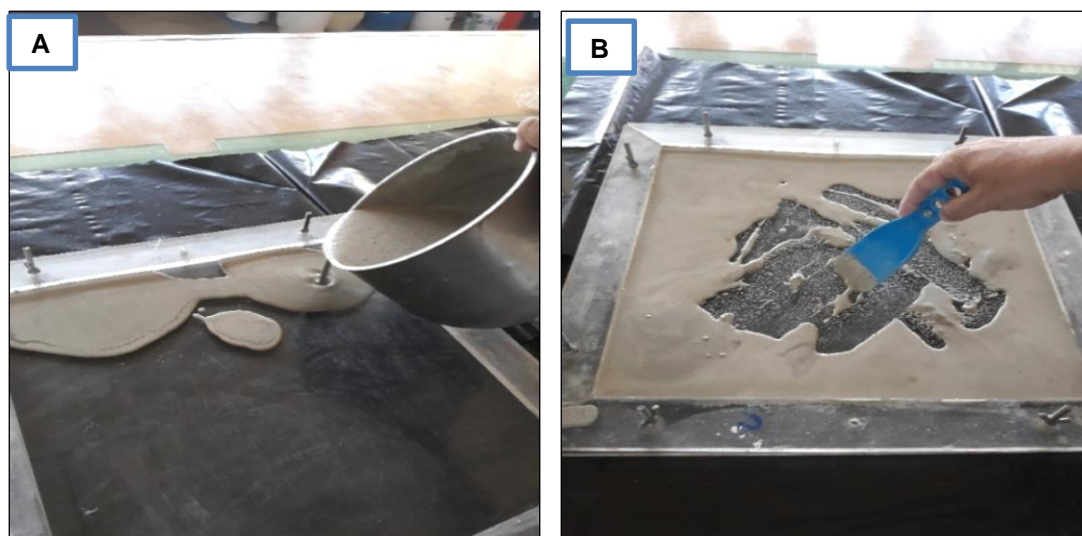
Para confecção das placas de face, as argamassas foram preparadas no LEM – laboratório de materiais da UFAM, onde as placas cimentícias visaram atender a norma NBR 15.498:16 e foram moldadas em formas de acrílico articuladas de acordo com Figura 31. Na figura 31a são apresentados os equipamentos disponibilizados pelo laboratório para confecção da argamassa. Na figura 31b são demonstradas as placas articuladas de acrílico para conformação e confecção das das placas cimentícias para realização dos ensaios de resistência.

Figura 31–Processo de fabricação das placas, (a) Verificação dos equipamentos e dosagem dos materiais e (b)– Preparação das formas acrílicas.



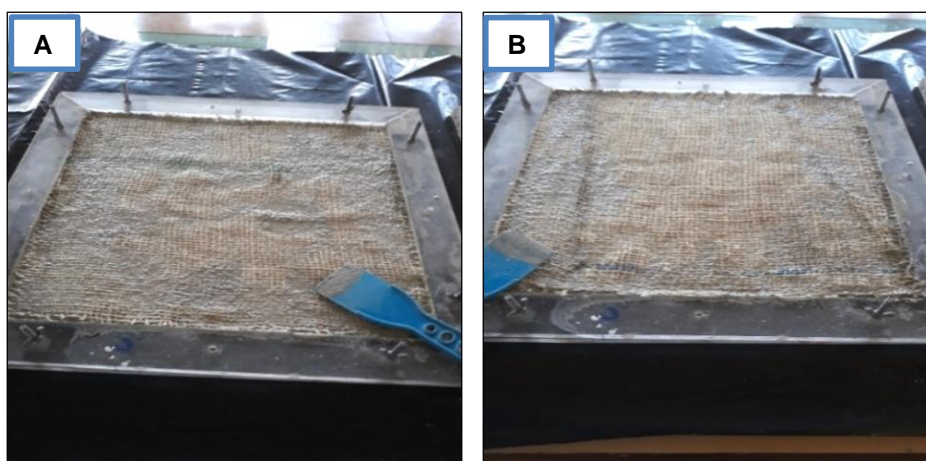
Inicialmente foram utilizadas as formas de acrílico com dimensões de 480 mm x 480 mm x 10 mm e bordas conjugadas com dimensões de 400 mm x 40 mm x 10 mm com travamento auxiliado por meio de parafusos com borboletas para confecção das placas de face utilizadas nos ensaios de resistência com dimensões de 400 mm x 400 mm x 10 mm conforme Figura 32.

**Figura 32 - Processo de fabricação das placas, (a) Espalhamento da placa matriz e (b) – Vedação das bordas laterais.**



Após o espalhamento e vedação das bordas laterais através do lançamento da argamassa cimentícia auxiliado pelo uso da espátula plástica, a camada superficial é preenchida até 1/3 da altura desejada para placa, onde a primeira camada do tecido de juta em malha aberta é aplicada, em seguida o processo é repetido para o lançamento da segunda camada de acordo com Figura 33. Na figura 33a foi realizado o lançamento da primeira camada do tecido de juta após espalhamento de fina camada de argamassa e na Figura 33b foi realizado o lançamento da segunda camada do tecido de juta.

**Figura 33 - Processo de fabricação das placas, (A) – Inserção da 1<sup>o</sup> camada do tecido de juta e (B) – Inserção da 2<sup>o</sup> camada do tecido de juta.**



Na etapa final da conformação da argamassa para confecção da placa face, a argamassa é nivelada com auxílio de régua de alumínio e após 24 horas são retiradas e colocadas em processo de cura por imersão em água para realização dos ensaios de tração na flexão e compressão conforme Figura 34.

**Figura 34 - Conformação da camada final e confecção dos corpos de prova.**

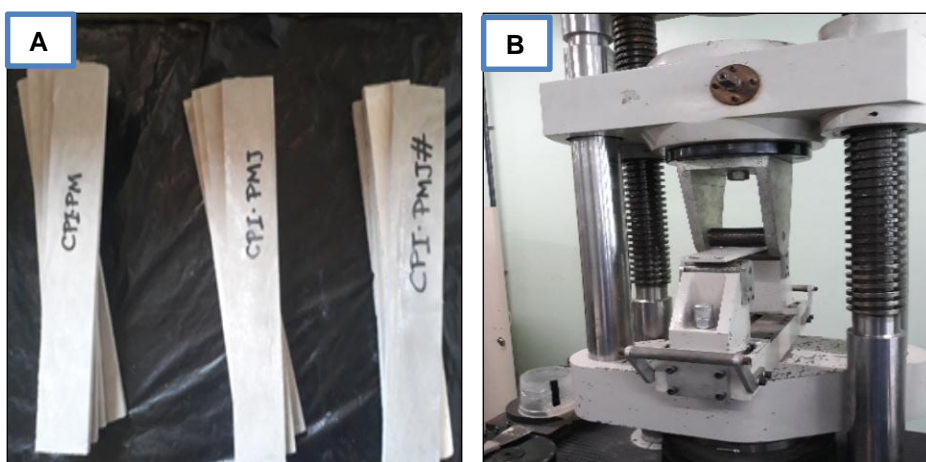


### 3.2.2.1 Ensaios de tração na flexão das placas faces

Para realização dos ensaios de resistência a tração na flexão foram seguidas as recomendações da norma NBR 15.498:2016 – Placas de fibrocimento sem amianto.

Os corpos de prova foram fabricados na quantidade de 6 placas de 400 x 400 mm, onde 2 placas foram composta pela matriz em argamassa de cimento e areia, além de 2 placa compostas pela matriz com substituição de 30% de metacaulinita reforçada com uma camada de malha aberta têxtil de juta e 2 placas compostas pela matriz com substituição de 30% de metacaulinita e reforçada com duas camadas de malha têxtil. As placas cimentícias foram fabricadas por meio de moldes acrílicos no formato quadrado, articulados que proporcionam a dimensão de 400 x 400 x 10 mm, e os corpos de prova para os ensaios de tração na flexão foram retirados no total de 4 amostras por tipo de placa nas dimensões 400 x 100 x 10 mm, de acordo com a Figura 35.

Figura 35 - Ensaio da placa face, (a) identificação das placas e (b) ensaio de tração na flexão em três pontos.



A confecção dos corpos de prova ocorreram no laboratório de materiais de construção – LEM na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Tabela 26, e os ensaios de tração na flexão foram realizados de acordo com a norma 15.498:16, no laboratório de Materiais e estruturas da Universidade Estadual do Amazonas (UEA) com auxílio da máquina universal, marca Contenco, capacidade 100 toneladas e velocidade do ensaio de 1 mm/min.

Tabela 26 - Disponibilidade de corpos de prova para ensaios das placas de face.

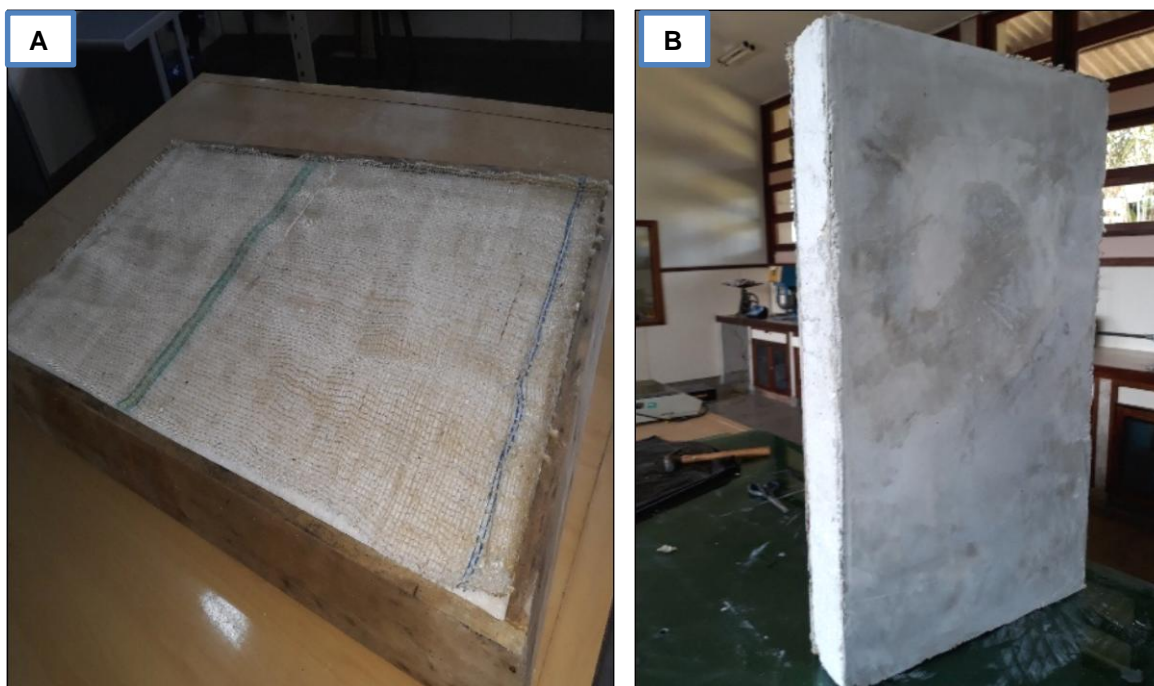
Peças	CORPOS DE PROVA		
	DIMENSÃO (mm)	ADIÇÃO MINERAL	CAMADA TÊXTIL
PFM	400x100x10	Não	Não
PF1M	400x100x10	30 %	Simplex
PF2M	400x100x10	30 %	Dupla



### 3.2.3 Produção do PSC

No processo de fabricação do PSC, a argamassa foi preparada no misturador e lançada sobre a superfície do EPS na posição vertical delimitado pela forma de madeira de terra firme conforme dimensão estabelecida para confecção dos corpos de prova para realização dos ensaios. Para garantir a ancoragem do tecido de juta em ambos os lados foi realizado o transpasse e ligação entre pontos de reforço de ligação no tecido de juta. A adição da metacaulinita na argamassa garantiu a adesividade da placa de face com o núcleo conforme demonstrado no ensaio de arrancamento analisado. Após o lançamento, a argamassa foi distribuída uniformemente sobre a superfície e nivelada com auxílio de régua de alumínio de dimensões 2"x4"x1000 mm de forma a regularizar a superfície do PSC visando eliminar a presença de trincas e possíveis irregularidades na espessura da placa de face de acordo com a Figura 36.

**Figura 36 - Confecção do painel sanduíche cimentício PSC, (a) formas de madeira de terra firme e (b) desforma do painel após 48 horas.**



O desenvolvimento do PSC levou em consideração o atendimento às exigências da norma de desempenho das edificações - NBR 15575:13, para esse tipo de compósito. As especificidades quanto a utilização da placa ensaiada atenderam a tipologia de vedações verticais internas e externas para edificações de interesse social. Foram confeccionados o total de 16 painéis sanduíches cimentícios sendo 12

painéis na dimensão 1000 mm x 500 mm x 122 mm, para ensaios de tração na flexão e 4 painéis sanduiches cimentícios na dimensão 1000 mm x 1000 mm x 12 mm, para ensaios acústicos e térmicos de acordo com tabela 27.

Tabela 27 - Disponibilidade de corpos de prova para ensaios das placas de face.

Peças	CORPOS DE PROVA				
	ITEM	QTDE	DIMENSÃO (mm)	ADIÇÃO MINERAL	CAMADA TÊXTIL
PSC2M	PS2M-1	4	1000x1000x120	30%	Dupla
	PS2M-2				
	PS2M-3				
	PS2M-4				
PSC2M	PS2M-1	4	1000x500x120	30%	Dupla
	PS2M-2				
	PS2M-3				
	PS2M-4				
PSC1M	PSC1M-1	4	1000x500x120	30 %	Simples
	PSC1M-2				
	PSC1M-3				
	PSC1M-4				
PSCR	PSCR-1	4	1000x500x120	não	não
	PSCR-2				
	PSCR-3				
	PSCR-4				

### 3.2.4 Caracterização do PSC

Para designação do painel sanduíche cimentício (PSC) foram retirados corpos de prova das peças com dupla camada de tecido de juta para obtenção da densidade, inchamento em espessura e adesão interna, que são critérios imprescindíveis para utilização do PSC, estes critérios foram realizados de acordo com a norma de desempenho para edificações – NBR 15.575:13 e NBR 15.498:2016 e demais normas integrantes.

### 3.2.5 Densidade aparente

A densidade aparente foi obtida através das recomendações da norma NBR 15498: 16, onde foram retiradas amostras dos painéis na dimensão 50 x 50 mm e por auxílio de equipamentos de precisão foram realizados cálculos de acordo com a seguinte equação:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Para:

$\rho$  = Densidade do CP em g/cm<sup>3</sup>;

M = massa do CP em g;

V = Volume do CP em cm<sup>3</sup>;

### 3.2.6 Inchamento de espessura ou absorção

Foram realizados os ensaios de inchamento de espessura (IE) ou absorção que é um teste produzido pelos fabricantes de painéis sanduíches cimentícios segundo NBR 15498:16, para determinação da umidade e resistência. Nesse ensaio as amostras foram retiradas dos painéis sanduíches remanescentes de outros ensaios na dimensão 500 mm x 500 mm de forma que não apresentem deformações, fissuras

ou avarias que possam comprometer os resultados e são submersos em água por um período de 24 horas sob temperatura controlada em laboratório ( $26^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ), a determinação do IE foi obtido através da fórmula:

$$IE = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \cdot 100$$

Onde:

I = Inchamento em espessura do corpo do CP (%);

$E_1$  = Espessura do CP após o período de imersão (mm);

$E_0$  = Espessura do CP antes da imersão (mm).

### 3.2.7 Adesão interna

Para determinação da adesão interna (AI) do painel sanduíche foram realizados ensaios de tração e arrancamento adaptados da norma NBR 13.528:10, para determinação da resistência a tração da placa de face do núcleo em EPS e verificação visual sobre compatibilidade e aderência entre os materiais.

Os corpos de prova foram retirados dos painéis ensaiados em outras modalidades de acordo com Figura 37, na dimensão 60 x 60 mm e acoplados em peças projetadas para realização do ensaio na máquina universal para ensaios mecânicos, marca TTMMFG.CO, modelo RAT30 e a velocidade de carga do ensaio foi de 3 mm/m. A quantidade das amostras utilizadas foram de 12 amostras e após coleta de dados das amostras os resultados da AI foram determinadas pela equação:

$$AI = \frac{P}{S}$$

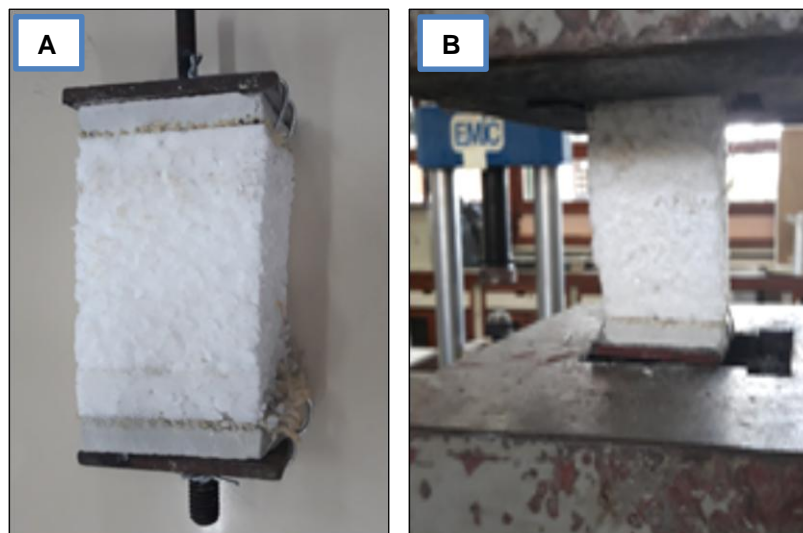
Onde:

AI = Adesão interma (MPa);

P = carga de ruptura (N);

S = área da superfície do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ ).

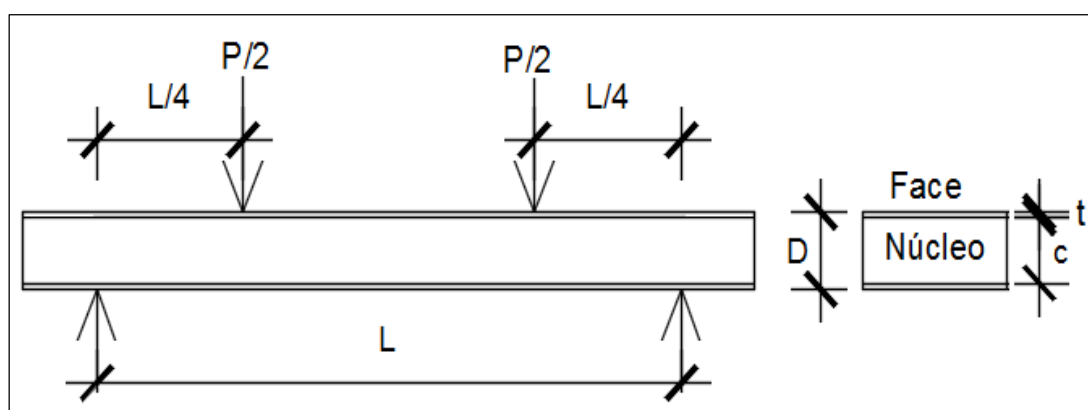
Figura 37 – Ensaio de adesão realizados na máquina universal do laboratório LEM/UFAM, (a) acoplagem do corpo de prova no porta amostra e (b) Fixação e ensaio do corpo de prova.



### 3.2.8 Ensaio de tração na flexão

Para a realização dos ensaios estáticos de tração na flexão, a série de painéis sanduíches cimentícios fabricados foram ensaiados de forma adaptada a norma ASTM C393:00, em 4 pontos, visando a caracterização do comportamento do painel em serviço conforme Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Configuração padrão de ensaio de tração na flexão adotado pela norma ASTM C393.



Para este ensaio a norma determina que as tensões de corte e de flexão serão determinadas pela equação:

$$\tau_{4pb} = \frac{P}{(d+c).b}$$

$$\sigma_{4pb} = \frac{PL}{4t(d+c).b}$$

Onde:

$\tau$  = Resistência ao cisalhamento do núcleo (MPa);

$\sigma$  = Resistência da face em (MPa);

P = carga máxima (N);

L = distância entre os apoios (mm);

t = espessura de uma face (mm);

d = espessura do sanduíche (mm);

c = espessura do núcleo (mm);

b = largura do sanduíche (mm).

**Figura 39 – Ensaio do painel sanduíche a flexão adaptado da norma ASTM C393.**



No ensaio de flexão em 4 pontos realizado, os painéis possuíam 1000 mm de comprimento, 500 mm de largura e 120 mm de espessura, onde o núcleo de EPS

possuía 100 mm e as placas de face, ambas possuíam 10 mm. O vão ensaiado foi de 900 mm, a distância do apoio superior para as extremidades foi de 225 mm, a superfície de contato dos apoios com a placa foi de 5 x 500 mm. A carga foi aplicada sob a constante de 1,25 N/min e foram distribuídas em dois pontos da superfície do painel sanduíche conforme a norma ASTM C393:M16 e levaram em consideração os tipos de PSC estudados no projeto.

A determinação da rigidez a flexão do PSC foi obtida através da equação:

$$EI = \frac{P.L^3}{D.48b}$$

Onde:

EI = Rigidez a flexão (N.mm<sup>2</sup>/mm);

P = Força limite de proporcionalidade (N/mm);

L = distância entre apoios (mm);

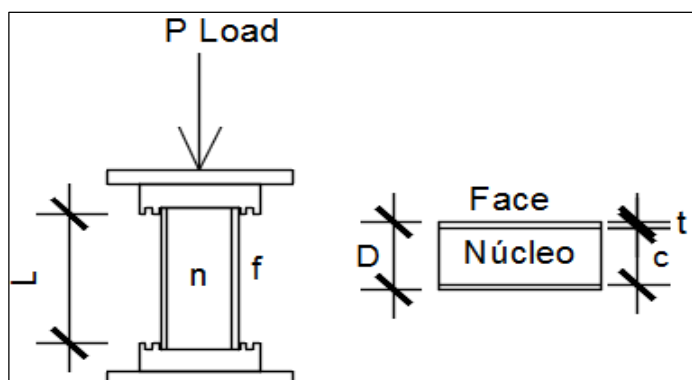
D = deformação no limite de proporcionalidade (mm);

b = largura do CP (mm)

### 3.2.9 Ensaio de resistência a compressão do painel sanduíche

Os ensaios de resistência a compressão dos painéis sanduíches cimentícios foram realizados de acordo com a norma ASTM C364:M16, em painéis de corpo de prova com dimensões 500 mm x 250 mm. Este ensaio visou estabelecer critérios de resistência de forças perpendiculares ao plano de serviço, de acordo com as Figuras 40 e 41.

Figura 40 – Configuração padrão de ensaio de compressão adotado pela norma ASTM C364.



A resistência ao cisalhamento de borda foi determinada pela equação:

$$\sigma = \frac{P}{Um}$$

Onde:

$\sigma$  = Resistência ao cisalhamento de borda do painel sanduíche (MPa);

P = carga máxima (N);

Um = Área de ambas as faces (mm<sup>2</sup>);

**Figura 41 – Configuração padrão de ensaio de compressão adotado pela norma ASTM C364.**



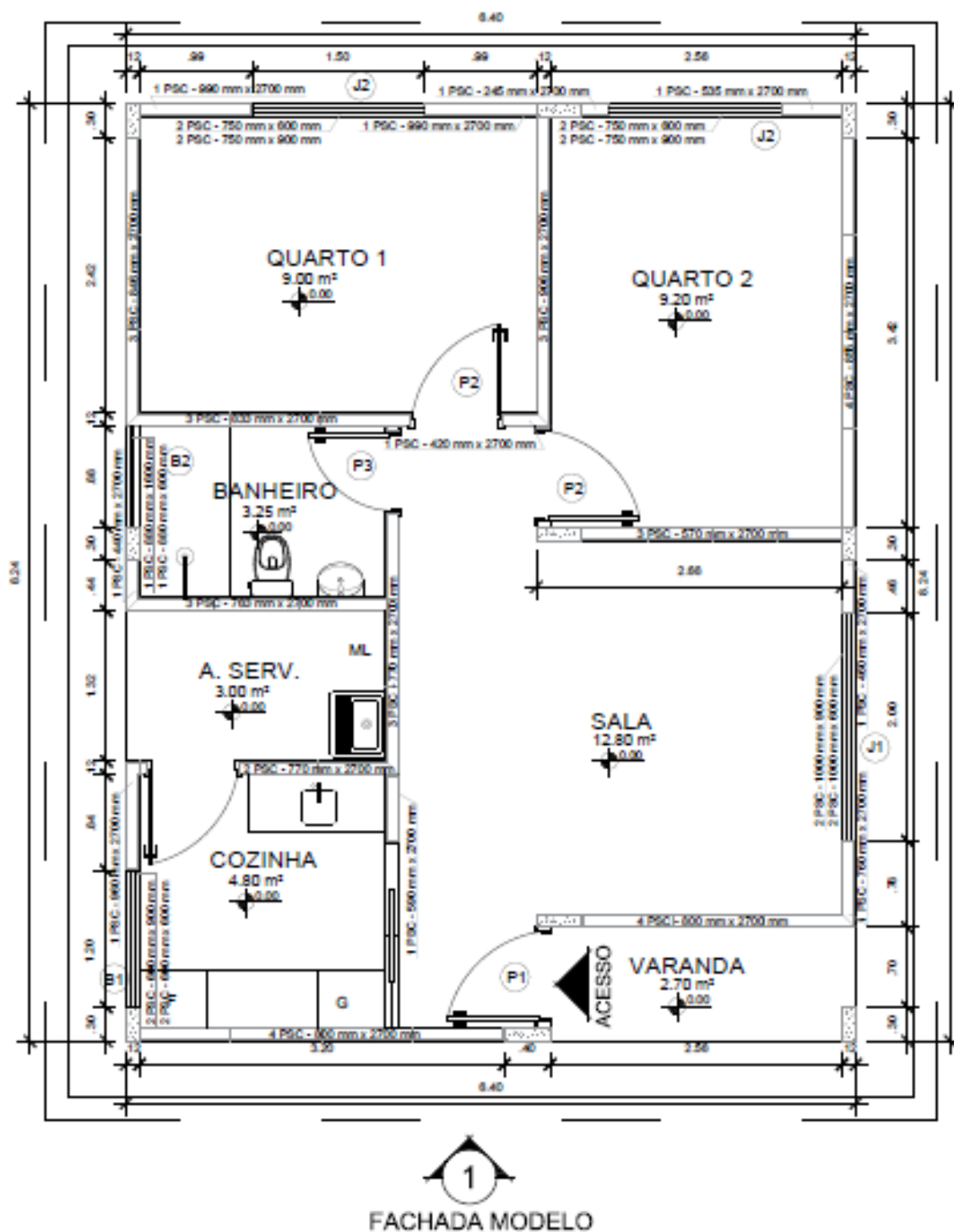
Os ensaios foram realizados na Universidade Federal do Amazonas – UFAM e a velocidade de carga foi de aproximadamente 1,00 N/min e distribuídas no topo da superfície do painel sanduíche conforme a norma ASTM C364:M16.

### 3.2.10 Adequação de utilização do painel sanduíche cimentício em casas populares.

Para compatibilizar a utilização e produção do PSC foi criada e adaptada uma planta baixa para habitação popular de acordo com as especificidades do painel sanduíche e que levou em consideração as maiores dimensões possíveis de utilização de 1000 mm de largura e 3000 mm de comprimento ou altura conforme maior percentual de rendimento analisado de acordo com a figura 42.



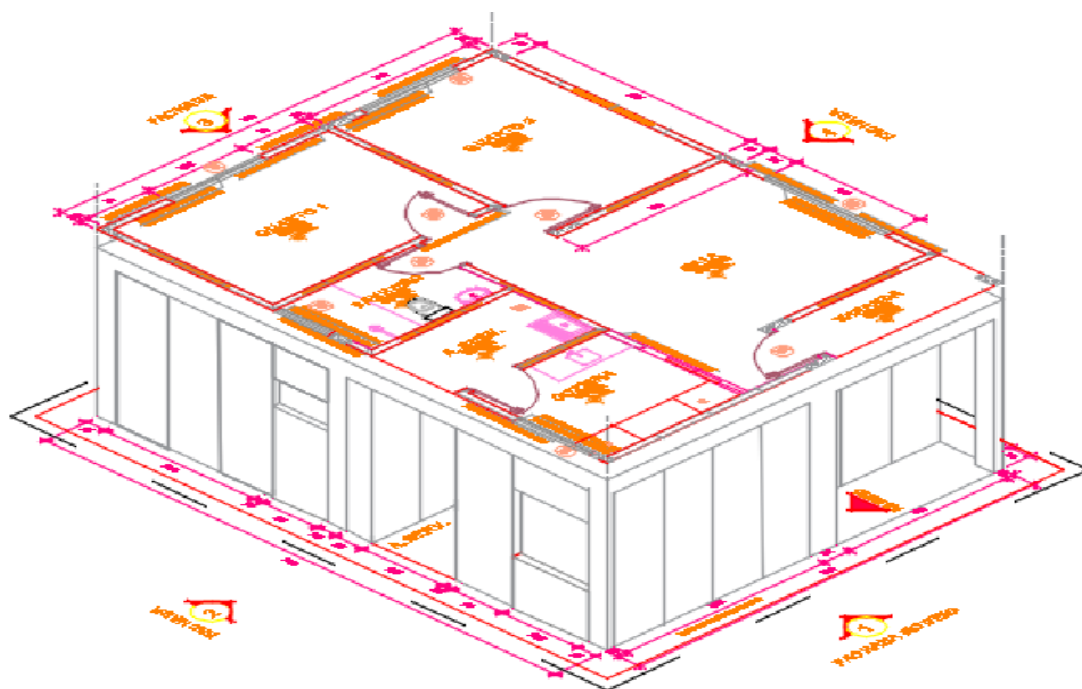
Figura 42 - Planta baixa sugerida para elaboração de uma casa popular.



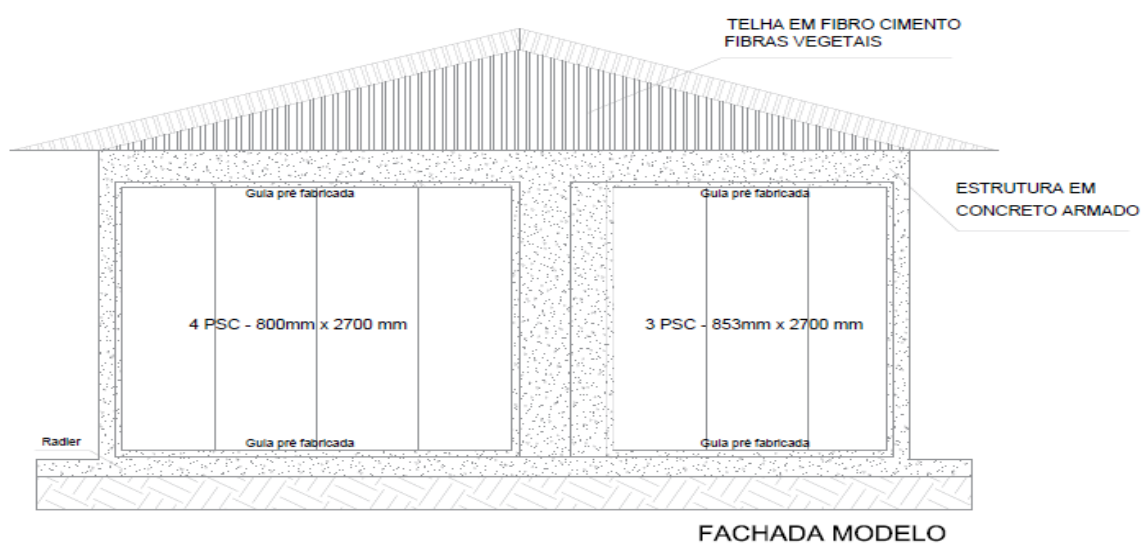
Através das imagens de elevação da fachada e imagens volumétricas geradas pode-se analisar as necessidades estruturais e de componentes de ligação que conseguissem aliar resistência estrutural e ainda atender as exigências dos programas de habitação popular de interesse social juntamente aos critérios de

eficiência térmica e acústica estabelecidos pela norma NBR 15.575:2013. A perspectiva da fachada principal e fachada oeste da Figura 43 e Fachada principal de acordo com a Figura43 apresentaram as modulações necessárias para adaptação do PSC para construção de uma casa popular.

**Figura 43 – Fachada de uma casa para habitação popular com adaptação do PSC.**



**Figura 44 – Elevação frontal da casa para habitação popular.**

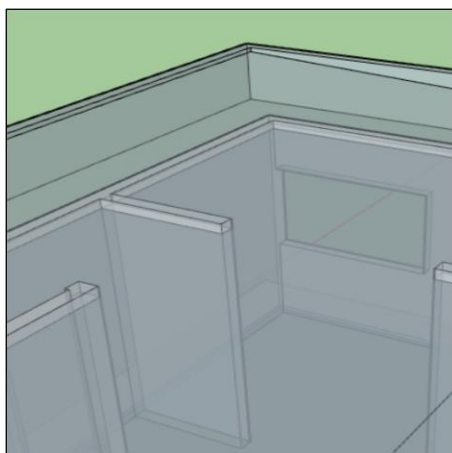


A sugestão inicial para criação dos encaixes foi a utilização de guias pré fabricadas que auxiliassem a distribuição da carga para a fundação, proposta

inicialmente na forma de radier, usualmente utilizada em habitações populares unifamiliares.

Através da utilização do programa autocad® 2020 foi possível elucidar as necessidades inerentes a disposição do PSC utilizado em uma habitação popular unifamiliar, e com a utilização do software Revit 2019 foi possível compatibilizar as peças pré fabricadas para construção dos módulos de ensaio conforme figura 45.

**Figura 45 - Visualização 3D das paredes da unidade de habitação popular popular.**



As peças pré fabricadas foram desenvolvidas para encaixe e travamento dos painéis PSC e foram confeccionadas através de formas metálicas em chapa de 1/8" no formato de guias capazes de evitar o deslocamento dos painéis e transmitir as cargas dos demais elementos estruturais ao solo de acordo com Figura 46.

**Figura 46 – Formas metálicas para confecção de guias pré-moldadas para moradias populares.**



As guias pré-fabricadas foram utilizadas para fechamentos horizontais inferiores e superiores, e para travamentos verticais serão estudados na continuidade

desta pesquisa a utilização de pilares em concreto armado que auxiliem o travamento da estrutura para edificações de maior porte conforme figura 47.

**Figura 47 – Conformação dos painéis nos encaixes pré fabricados.**



Adotou-se o traço 1:2:3 de concreto juntamente com armadura auxiliar em aço CA-50 de 3/8", porta estribo no sentido longitudinal, e 6.3 mm utilizado como estribo. A argamassa e a armadura foram conformadas em forma de aço em chapa 1/8" dobrada de acordo com a espessura do PSC. A desforma do material foi realizada após 24 horas para aplicação como guia do módulo de ensaio do painel sanduíche.

### 3.2.11 Comportamento acústico

A classificação do desempenho do PSC como sistema de vedação vertical interna ou externo - SVVIE desenvolvido para uma habitação popular atendeu a NBR 15575-4:2013 de acordo com o nível de desempenho apresentado na tabela 28.

Tabela 28 - Desempenho acústico de acordo com NBR 15.575-4/2013 para SVVE – sistemas de vedação verticais externas.

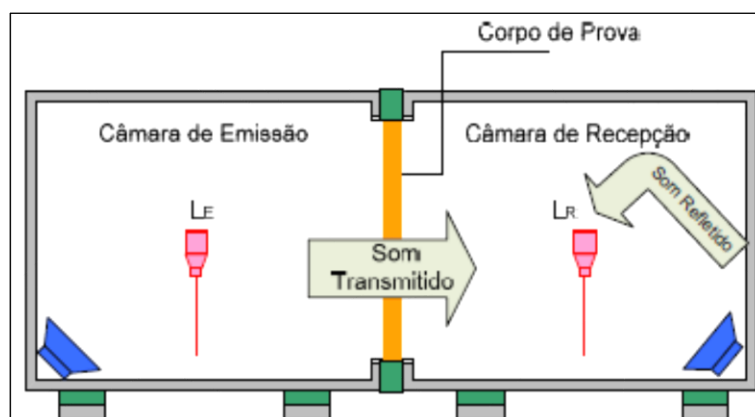
Classe de ruído	Localidade da habitação	D <sub>2m,nT,W</sub> dB	R <sub>w</sub> dB	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intendo de quaisquer natureza	≥ 20	≥ 20	M
		≥ 25	≥ 30	I
		≥ 30	≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25	≥ 30	M
		≥ 30	≥ 35	I
		≥ 35	≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intendo de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 30	≥ 35	M
		≥ 35	≥ 40	I
		≥ 35	≥ 40	S

Obs.: Serão utilizados os valores de R<sub>w</sub> que garantem os valores de D<sub>2m,nT,W</sub> devido a qualidade e precisão dos ensaios de laboratórios.

Fonte: Adaptado do anexo da NBR 15.575-4/2013.

Para a medição sonora e obtenção do R<sub>w</sub> em laboratório utilizou-se uma caixa acústica de acordo com recomendações do IPT conforme Figura 48.

Figura 48 - Modelo de ensaio acústico em laboratório.



Fonte: Vittorino, 2013.

A obtenção do valor de R foi determinado pela equação:

$$R = L_e - L_r + 10 \cdot \log \frac{S}{A}$$

Onde:

$R$  = Resistência sonora;

$L_e$  = Nível sonoro da câmara de emissão;

$L_r$  = Nível sonoro da câmara de recepção;

$S$  = Área do corpo de prova;

$A$  = Área equivalente de absorção sonora (em função da reverberação).

O modelo de ensaio acústico foi realizado de acordo com equipamento de medição sonora laboratorial compatível ao modelo requerido pelo IPT conforme Figura 49.

Figura 49 – Equipamento de ensaio acústico, (a) disposição dos acessórios e posicionamento do painel sanduíche na caixa, (b) vedação da caixa para início de ensaio acústico.



### 3.2.12 Desempenho térmico

Quanto ao desempenho térmico os painéis foram analisados segundo as normas NBR 15220:05 e NBR 15575:13, para determinação da transmitância e a capacidade térmica das paredes externas. Para transmitância térmica do material foram empregadas as seguintes equações:

$$U = \frac{1}{Rt} ;$$

$$Rt = \frac{Aa+Ab+\dots+An}{\frac{Aa}{Ra} + \frac{Ab}{Rb} + \dots + \frac{An}{Rn}} ;$$

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

Onde:

U – transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>.K);

R e Rt – resistências térmicas do material e da parede (m<sup>2</sup>.K/W);

R<sub>a</sub>, R<sub>b</sub>, R<sub>n</sub> – resistências térmicas de superfície a superfície da parede (m<sup>2</sup>.K/W);

A<sub>a</sub>, A<sub>b</sub>, A<sub>n</sub> – áreas dos materiais componentes do sistema de vedação (m<sup>2</sup>);

λ – condutividade térmica do material correspondente a camada do material (W/m.K);

e – espessura da camada do material (m).

Para análise da capacidade térmica que corresponde a energia necessária para variação de temperatura do componente de vedação foram utilizadas equações que correlacionam a transmitância, a densidade e o calor específico dos materiais utilizados no painel sanduíche conforme equação:

$$C_t = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot C_i \cdot \rho_i = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot R_i \cdot C_i \cdot \rho_i$$

Onde:

C<sub>t</sub> – capacidade térmica (KJ/m<sup>2</sup>.K);

R<sub>i</sub> – resistência térmica do material (m<sup>2</sup>.K/W);

C<sub>i</sub> – calor específico do material (KJ/Kg.K);

P<sub>i</sub> - densidade de massa aparente do material (Kg/m<sup>3</sup>).

Com base nos estudos de Kruger et al (2009) foi desenvolvido a célula térmica para medição do fluxo de calor em escala pequena de 1 m<sup>3</sup> composto por 4 painéis

de vedação de dimensão 1,00 x 1,00 m, totalizando 1,00 m<sup>2</sup> por painel que simulassem um compartimento de uma edificação e que conseguissem comparar com a célula similar estudada por Gonçalves (2018) em blocos vazados de concreto para utilização em edificações.

A construção da célula térmica utilizando o PSC seguiram os procedimentos realizados por Kruger (2009) e Gonçalves (2018) para comparar e analisar os dados obtidos entre os sistemas de vedações verticais de painel sanduíche cimentício e blocos vazados de concreto. A célula do painel sanduíche foi composta por base de concreto, sistema de vedação vertical composto pelos painéis sanduíches, peças pré-fabricadas de encaixe horizontal, compensado em madeira, EPS, telhas de fibrocimento e vedação horizontal de juntas com cantoneiras flexíveis conforme Figura 50.

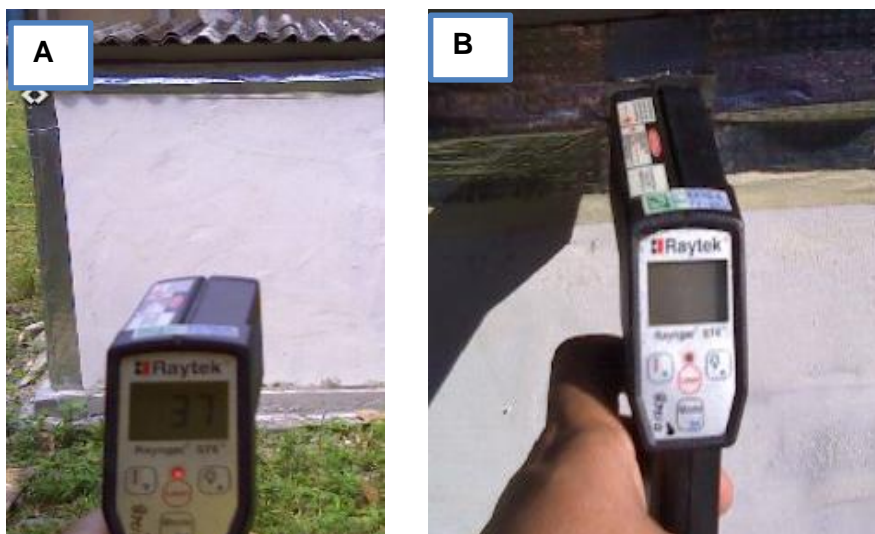
**Figura 50 - Construção da célula térmica para realização dos ensaios térmicos.**



Para obtenção das temperaturas foram utilizados os seguintes equipamentos: câmera termográfica Flir, modelo T-62101, termômetro digital Raytek modelo Raynger ST6 e termopares Minipa Tipo K modelo MTK-04, conforme Figura 51. Na figura 51a foram realizadas leituras das temperaturas externas através do obtensor digital bem como a leitura da temperatura interna obtida através da inserção do leitor a laser através de orifícios localizados na parte superior do módulo nas quatro faces do painel sanduíche cimentício.

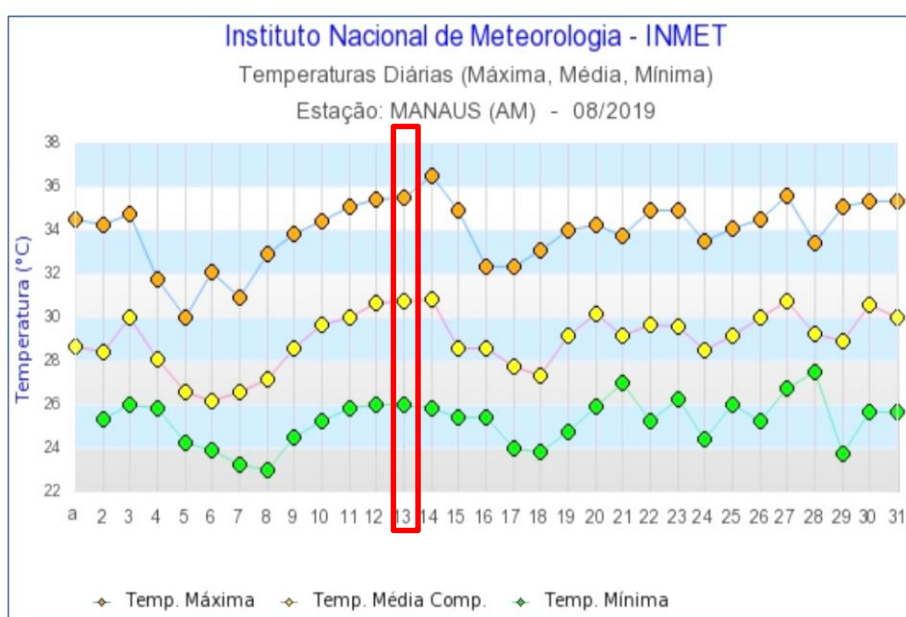


Figura 51 – Realização de leituras das unidades térmicas, (a) leitura da temperatura externa,, (b) leitura da temperatura interna.



As análises críticas do desempenho dos painéis sanduíches cimentícios foram verificadas através de leituras que proporcionassem uma interpretação gráfica obtida em situação desfavorável. Desta forma verificou-se que os dados selecionados corresponderiam a climatologia ocorrida no dia 13 de agosto de 2019 em pleno verão amazônico de acordo com Figura 52.

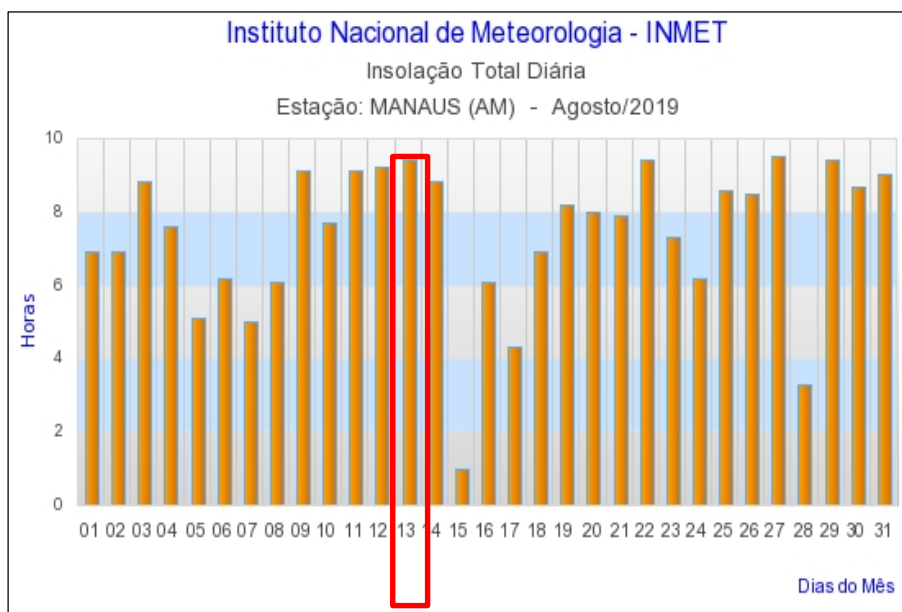
Figura 52 – Temperaturas máxima, média e mínima da cidade de Manaus no o mês de agosto de 2019.



Fonte: INMET, 2019.

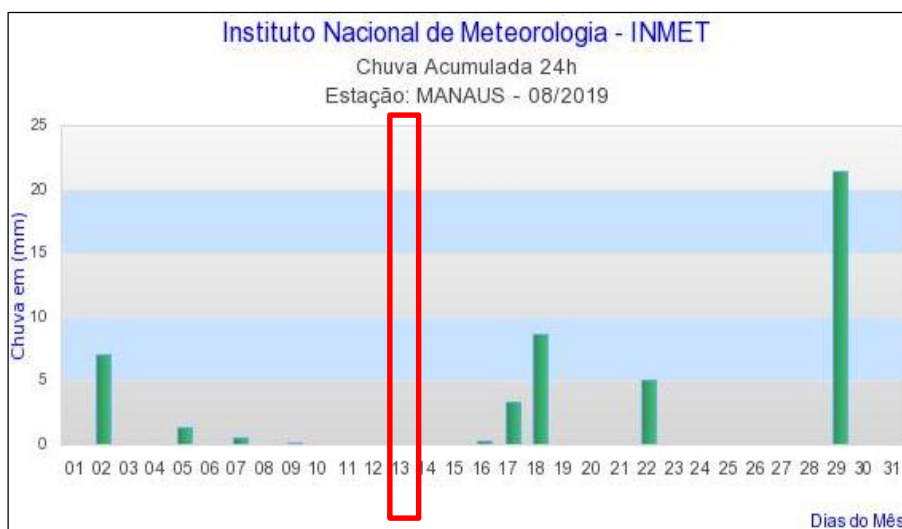
A escolha do dia 13 de agosto representa ainda um dos dias de maior período de insolação do mês conforme Figura 53, além de ausência de precipitação de chuva nas 72 h anteriores para realização do ensaio de acordo com dados do INMET (Figura 54).

Figura 53 – Insolação total diária do mês de agosto de 2019.



Fonte: INMET, 2019.

Figura 54 – Total de chuva acumulada na cidade de Manaus no mês de agosto de 2019.



Fonte: INMET, 2019.

Ao analisar o comportamento do módulo de ensaio cúbico durante os dias de ausência de chuvas e maior amplitude de insolação pode-se verificar o

comportamento do ambiente em relação ao atraso térmico. Os resultados e análises dos ensaios serão apresentados no próximo capítulo

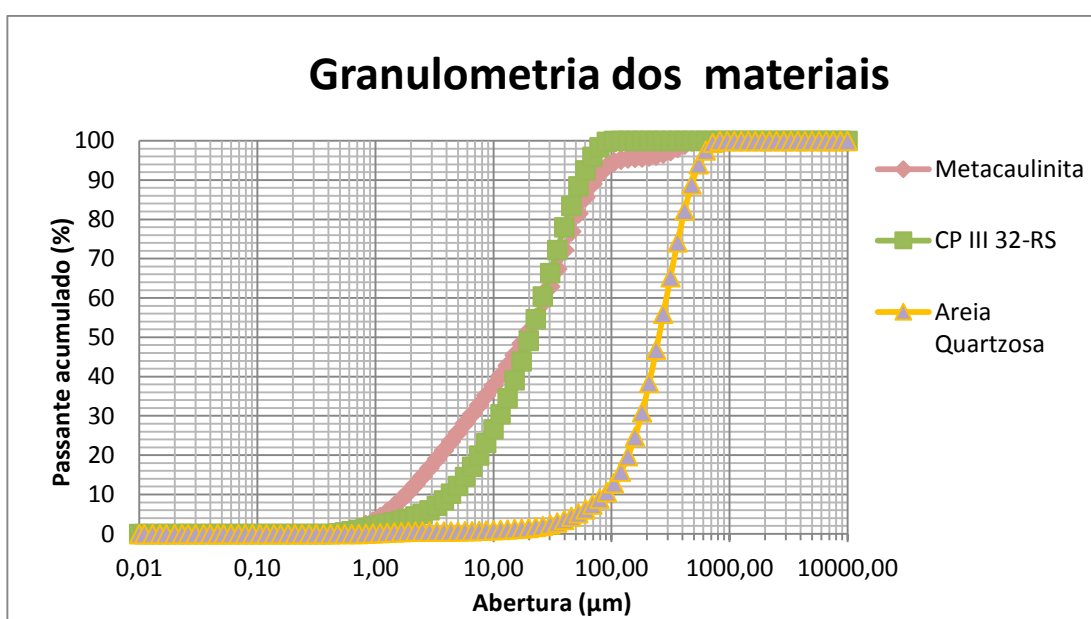
## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados inicialmente os resultados dos ensaios realizados utilizando os materiais escolhidos para fabricação do PSC e que foram analisados e comparados de acordo com suas respectivas características químicas, através dos ensaios de DRX e FRX, as características físicas, como distribuição granulométrica e fabricação da argamassa, e características mecânicas, através dos ensaios de resistência mecânica, conforto acústico e térmico aplicados ao painel sanduíche cimentício proposto.

### 4.1 Compatibilidade de materiais utilizados

Diante da necessidade de obtenção de materiais que proporcionassem maior reatividade pozolânica, buscou-se compatibilizar a granulometria dos materiais adotados para elaboração da argamassa cimentícia, onde em relação a pozolanicidade, foi verificada através da análise da granulometria a laser dos materiais utilizados que o cimento e a metacaulinita apresentaram uma escala granulométrica compatível conforme Figura 55, e proporcionaram alta resistência observada nos ensaios físicos devido a maior eficiência no preenchimento de vazios da argamassa.

Figura 55 - Distribuição granulométrica a laser dos materiais.

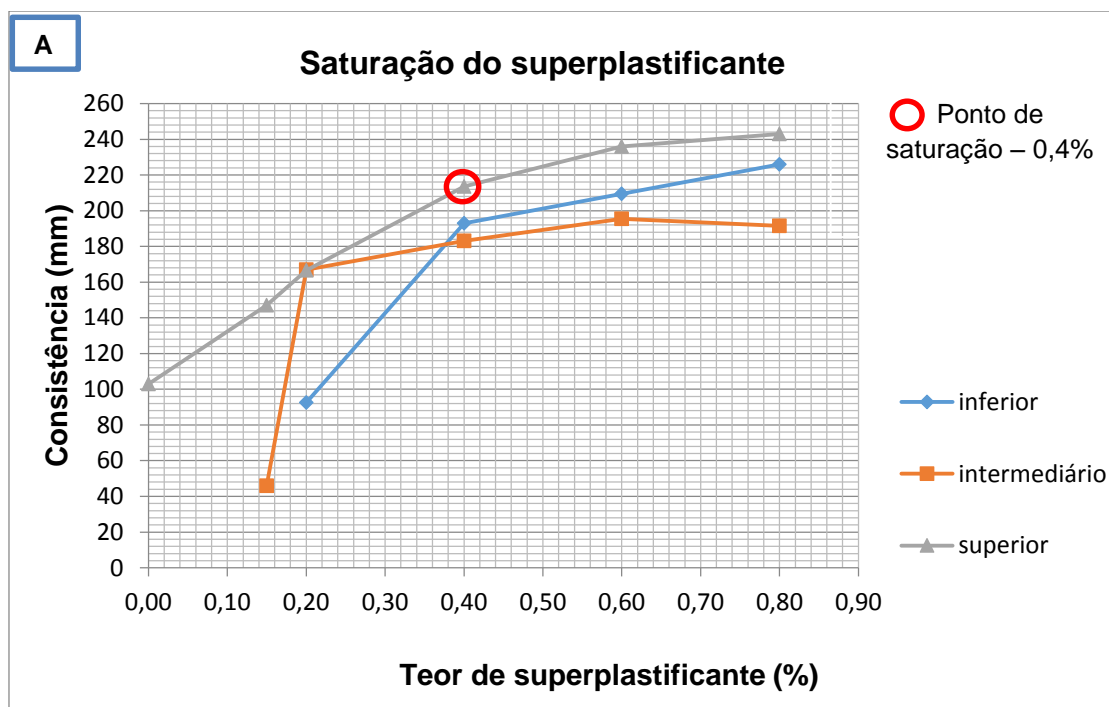


## 4.2 Argamassa cimentícia e seus componentes

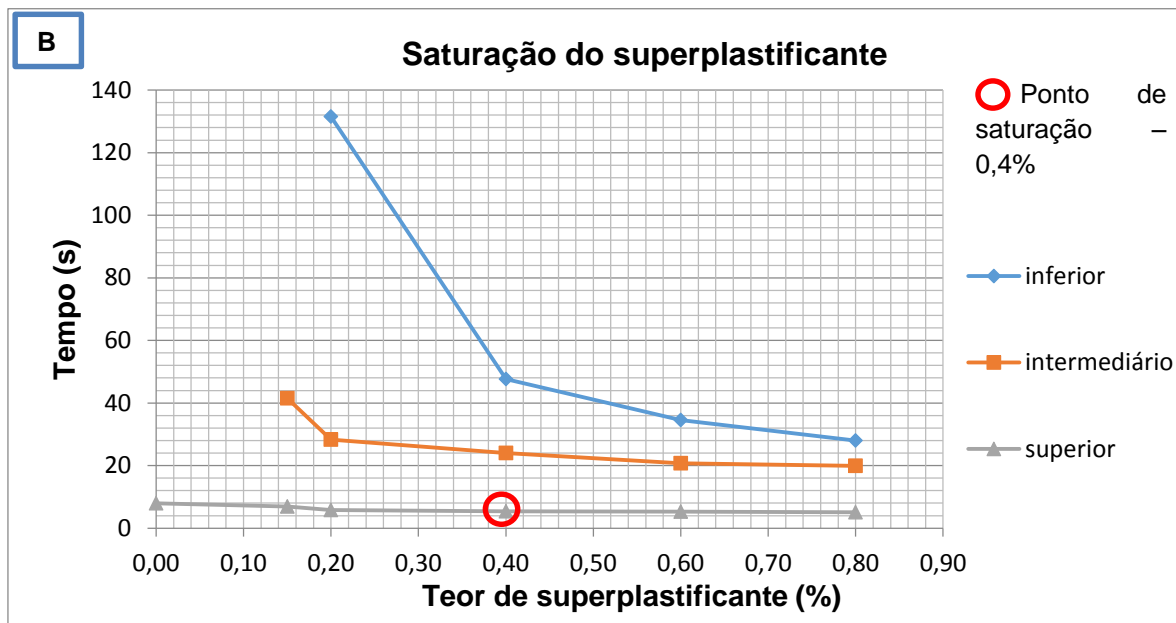
### 4.2.1 Aditivo superplastificante e ponto de saturação da argamassa

De acordo com o resultado inicial para determinação do ponto de saturação para utilização do superplastificante foram realizadas análises quanto aos limites inferior, intermediário e superior da relação água/cimento da argamassa de acordo com Figura 56.

**Figura 56 – Curvas para obtenção do ponto de saturação: (A) tempo x teor de superplastificante; (B) Consistência x teor de superplastificante superplastificante (a/c =0,3;0,4;0,5).**



Foram levados em consideração os dados relativos ao espalhamento da argamassa cimentícia bem como o tempo requerido de acordo com o gráfico obtido do ensaio de saturação do superplastificante (Figura 56b).



De acordo com o ponto de saturação determinado pelo gráfico e necessidade de fluidez da argamassa no momento de lançamento inicial optou-se pela utilização do traço 1:1,5:0,50 com utilização do teor de superplastificante de 0,4% .

#### 4.2.2 Ensaios de resistência da argamassa

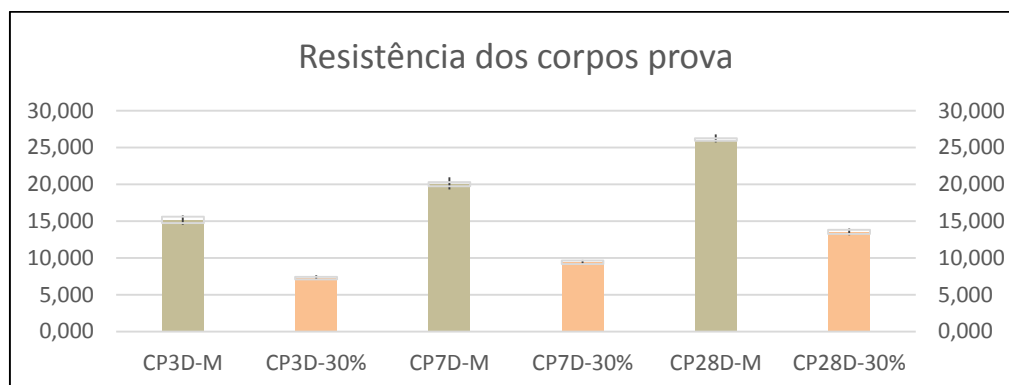
Nos ensaios de resistência realizados segundo a norma 7215/96 relacionados ao rompimento de corpos de prova cilíndricos, os resultados foram analisados entre a matriz cimentícia sem adição mineral – CPM, e a matriz com substituição de 30% de metacaulinita – CP30%, conforme Tabela 29.

**Tabela 29 - Análise de resistência dos corpos de prova da argamassa.**

Dias	ID	$\sigma_m$	Dias	Desvio	CV
3 dias	CPM	15,16	3D	0,60	3,93%
	CP30%	7,30	3D	0,27	3,75%
7 dias	CPM	20,08	7D	0,70	3,46%
	CP30%	9,41	7D	0,32	3,38%
28 dias	CPM	26,15	28D	0,45	1,74%
	CP30%	13,56	28D	0,42	3,09%

Através da análise do gráfico de barras baseado nos resultados obtidos da Tabela 29 pode-se observar que a variação da resistência dos corpos de prova sem substituição do cimento foi proporcional ao corpo de prova com substituição do cimento em 30%, portanto validando a utilização da metacaulinita na argamassa cimentícia conforme Figura 57.

**Figura 57 - Análise de resistência dos corpos de prova da argamassa.**



#### 4.2.3 Placas de face

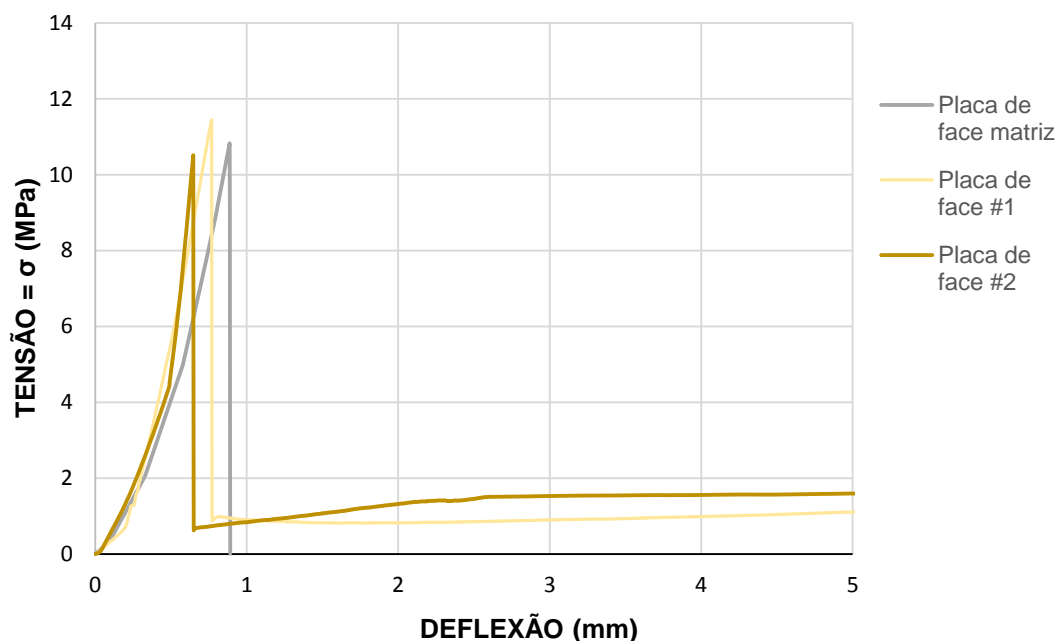
Os resultados dos ensaios de resistência a tração das placas faces são apresentados a seguir na Tabela 30 representam a média das quatro amostras ensaiadas por placa de face.

**Tabela 30 - Ensaio das placas de face.**

IDENTIFICAÇÃO	RESISTÊNCIA (Mpa)		
	3D	7D	28D
PFM	36,73	40,11	45,35
	(5,9)	(3,5)	(5,7)
PF1M	34,91	39,37	43,70
	(6,3)	(5,5)	(4,9)
PF2M	31,21	36,71	39,44
	(4,8)	(5,2)	(4,8)

A tipologia das placas de face ensaiadas foram da matriz de referência (PFM), de 1 camada de tecido aberto de juta (PF1M) e 2 camadas de tecido aberto de juta (PF2M). Os resultados dos ensaios das placas de face do PSC demonstraram que o emprego de uma camada de malha aberta de juta e substituição parcial de 30% do cimento por metacaulinita atingiram maiores tensões quando comparadas a matriz sem utilização de malha e substituição parcial do cimento conforme Figura 58, e ainda foi observado que a utilização de duas camadas do tecido de juta ocasionou menor absorção de resistência porém maior tenacidade após surgimento das primeiras fissuras.

Figura 58 – Análise dos ensaios mecânicos nas placas de face – 28 dias.



Os resultados obtidos nos ensaios das placas de face demonstraram que caso as placas fossem utilizadas separadamente do painel sanduíche poderiam ser classificadas como placas tipo III, com resistências de tração na flexão superiores a 10 MPa aos 28 dias.

#### 4.2.4 Componentes dos painéis sanduíches.

De acordo com a NBR 9778:2005, a massa específica dos componentes do painel sanduíche cimentício – PSC são apresentados na tabela 31.



Tabela 31 - massa específica dos componentes do PSC.

COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS	
	e (mm)	$\sigma$ ( Kg/m <sup>3</sup> )
Placa de face	11,00	2050,00
	(4,11)	(3,73)
EPS	100,00	13,00
	(3,12)	(3,97)
PSC	122,00	352,50
	(4,05)	(2,97)

Outro elemento constituinte do sistema construtivo proposto são as guias pré fabricadas confeccionadas como peças de encaixe para o PSC e que demonstraram aderência e estanqueidade quando empregadas como marcação das paredes além de possuir a capacidade de transmitir a carga dos PSC para a base concebida na forma de radier conforme Figura 59.

Figura 59 – Encaixes das guias pré-fabricadas e cantoneiras metálicas do módulo volumétrico de ensaio.



A vedação lateral entre a guia e o painel sanduíche cimentício foi realizada através da aplicação de argamassa de cimento e areia no traço 1:3 compatível ao material utilizado no PSC.

### 4.3 Ensaio mecânicos do painel sanduíche cimentício.

Os ensaios realizados no PSC buscaram validar a resistência de compressão e de tração na flexão do painel sanduíche cimentício de acordo com a ASTM C393 (2000), além do desempenho acústico e térmico conforme a NBR 15.575-1 (2013) e NBR 15.575-4:2013 (Tabela 32). Além da designação dos componentes do PSC foram ensaiados de acordo com a norma vigente 15.498:2016.

**Tabela 32 – Resultados dos ensaios mecânicos dos corpos de prova das placas de face e do PSC.**

TIPO	Ensaio PSC		
	Densidade (NBR 15498)	Inchamento espessura (NBR 15498)	Adesão Interna (NBR 15498)
	g/cm <sup>3</sup>	%	KPa
PF – 2M	2,12 (2,91)	9,67 (3,12)	N.A.
NÚCLEO	0,015 (3,14)	207,86 (4,15)	
PSC – MATRIZ	0,4545 (5,51)	10,81 (4,57)	48,14 (6,71)
PSC – 2M	0,4235 (3,76)	10,71 (3,97)	72,12 (3,54)

Durante os ensaios de adesão interna foram observados o comportamento dos painéis e a aderência das faces após aplicação de cargas na superfície conforme Figura 60.

Figura 60 – Análise visual das superfícies dos corpos de prova do ensaio de arrancamento.

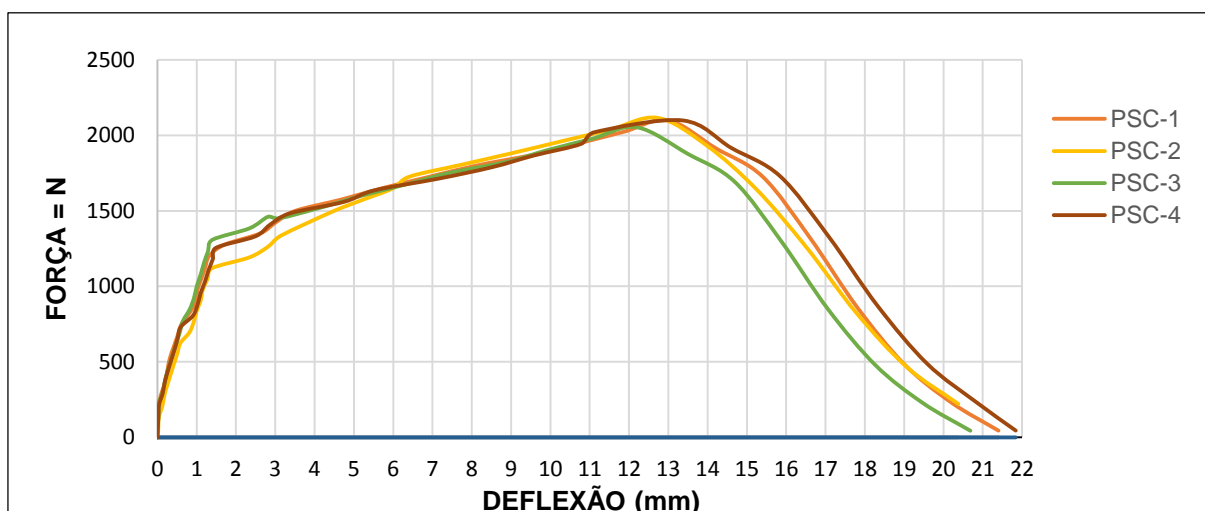


Através de análise visual verificou-se que a adesão ocorrida nos painéis sanduíches da matriz referência, sem a adição da metacaulinita foi menor que a adesão entre núcleo e placa de face do painel sanduíche com substituição parcial de 30% do cimento por metacaulinita, fato este comprovado através da carga resistida pelos corpos de prova durante realização dos ensaios.

#### 4.3.1 Ensaios de resistência de tração na flexão do painel sanduíche cimentício.

Os ensaios foram realizados no PSC de acordo com a ASTM C393:M16 e apresentaram o comportamento do painel sanduíche submetido a carregamento disposto em ensaio de tração na flexão, de 4 pontos de acordo com a figura 61.

Figura 61 – Gráficos de força x deflexão do PSC.



Os resultados obtidos demonstraram sua capacidade de resistência principalmente devido a utilização das placas de face em material cimentício, que embora inicialmente demonstraram-se como um material frágil, quando utilizado na forma de painéis sanduíches apresentaram comportamentos dúcteis resistente a carga superior a 2 KN conforme tabela 33. Observou-se ainda que a utilização de duas camadas do tecido de juta garantiram resistência superior quando comparado a utilização do painel sanduíche sem a utilização do tecido de juta, principalmente após a incidência das fissuras iniciais.

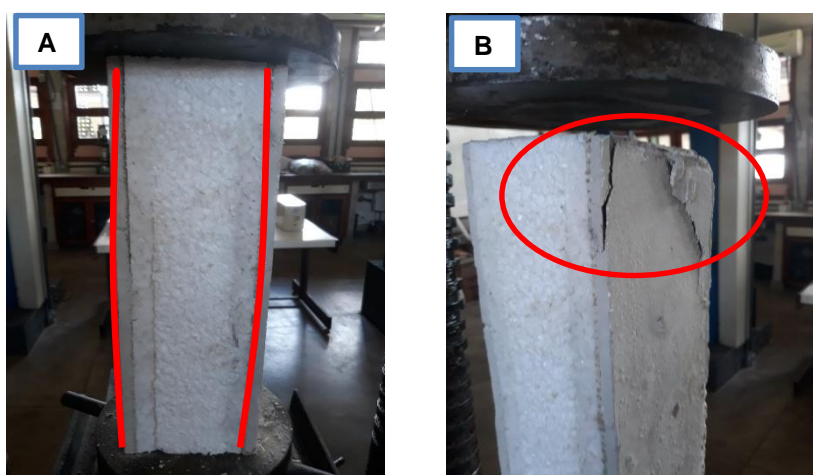
Tabela 33 – Resistência a tração do PSC.

Tipo de vedação vertical	Dimensão painéis ensaiados	P <sub>máx</sub> (N)	CV (%)	Rigidez a flexão EI - (N.mm <sup>2</sup> /mm)
Painel sanduíche cimentício PSC	1000 x 500 x 122	2053,25	1,60	4,77.10 <sup>6</sup>

#### 4.3.2 Ensaio de resistência compressão do painel sanduíche cimentício

Os ensaios de resistência a compressão do painel sanduíche cimentício foram realizados de acordo com a norma ASTM C364:M16 e simularam o funcionamento do PSC para cargas no sentido longitudinal (Figura 62).

Figura 62 – Ensaio de compressão de borda dos painéis, (A) Instabilização das lâminas, (B) esmagamento do topo do PSC.



Durante a realização do ensaio de compressão de borda do PSC foi observado que a ruptura do painel ocorreu devido o surgimento de pequenas fissuras, da instabilização de ambas as lâminas (Figura 61A) e esmagamento do topo (Figura 61B) da maioria dos painéis ensaiados como demonstrado na Tabela 34.

Tabela 34 – Resistência a compressão do PSC.

Tipo de vedação vertical	Dimensão painéis ensaiados	P <sub>máx</sub> (N)	CV (%)	$\sigma_{máx}$ (MPa)
Painel sanduíche cimentício PSC	500 x 250 x 121	1825,70	9,70	10,77

#### 4.3.3 Ensaio acústico do painel sanduíche cimentício.

Os resultados obtidos do ensaio acústico do painel sanduíche cimentício - PSC foram comparados com o sistema de blocos de vedação de concreto e EPS, e estão apresentados na Tabela 35.

Tabela 35 - Resistência média (R<sub>w</sub>) entre métodos construtivos.

Tipo de vedação vertical	Espessura do painel/bloco	Revestimento	Massa aparente	R <sub>w</sub> (dBa)
Painel sanduíche cimentício PSC	122 mm	Placa de face cimentícia 11 mm	45 kg/m <sup>2</sup>	45
Blocos de vedação de concreto e EPS	190 mm	Sem revestimento	219 kg/m <sup>2</sup>	44

O painel sanduíche desenvolvido na pesquisa apresentou resultados superiores aos valores da norma NBR 15.575-4:2013 e ainda valores superiores comparados aos painéis sanduíches existentes no mercado.

#### 4.3.4 Ensaio térmico do painel sanduíche cimentício

De acordo com as normas 15220-2 :2005, 15.575-1:2013 e 15.575-4:2013, as propriedades de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (Ct) foram obtidas através da análise dos ensaios de campo realizados após a construção do módulo volumétrico de ensaio do painel sanduíche cimentício. Os dados auxiliares utilizados para cálculos das propriedades térmicas de possuíam as seguintes características conforme Tabela 36:

**Tabela 36 – Propriedades adotadas para cálculo da transmitância e capacidade térmica do PSC.**

COMPONENTES	Propriedades			
	e (m)	$\lambda$ (W/(m.k))	C (KJ/(Kg.K))	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
FACE CIMENTÍCA / ARGAMASSA	0,011	1,15	1,00	2050,00
EPS	0,10	0,04	1,42	15,00

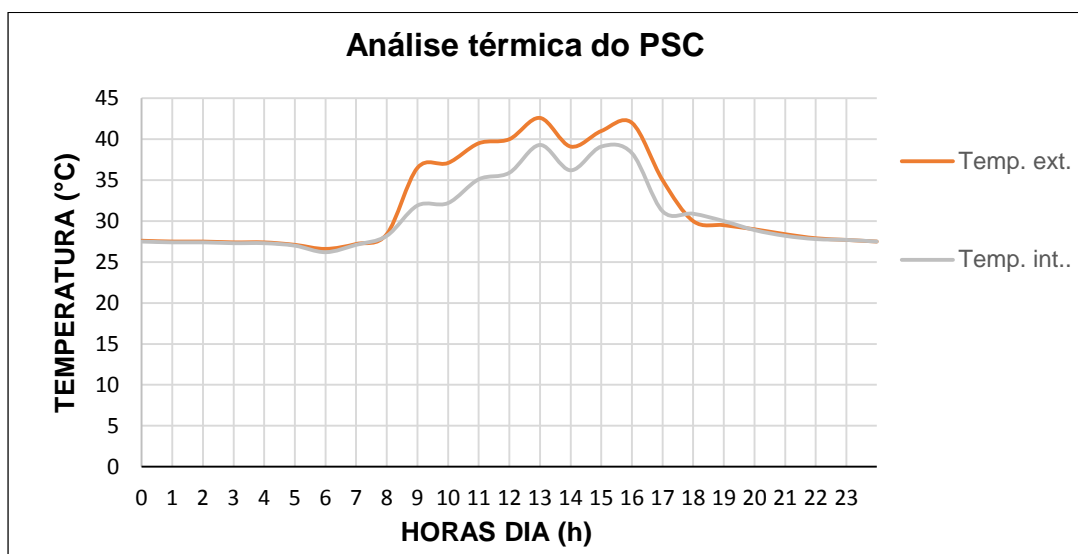
Os parâmetros para utilização dos dados obtidos foram relacionados de acordo com a pesquisa de LAMBERTS (2018). As propriedades térmicas de transmitância e capacidade térmica foram apresentados na tabela 37.

**Tabela 37 - Propriedades térmicas do PSC.**

COMPONENTES	Ensaiado		NBR 15220-2	
	U (W/m <sup>2</sup> .K)	Ct( KJ/m <sup>2</sup> .K)	U (W/m <sup>2</sup> .K) Zona 8 A <sup>a</sup> ≤ 0,6	Ct( KJ/m <sup>2</sup> .K) Zonas 8
PSC-2M	0,37	47,23	U ≤ 3,7	≥45

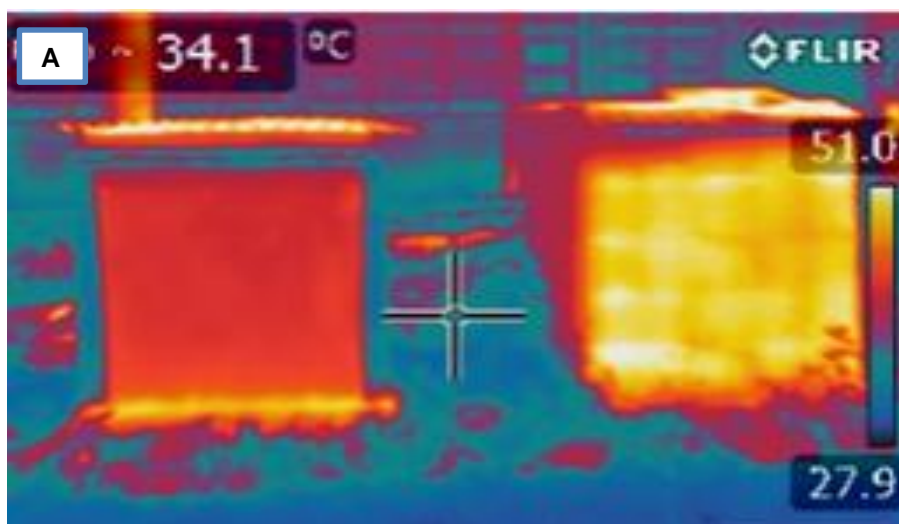
Os resultados apresentados no ensaio de campo validaram o desenvolvimento do PSC de acordo com a NBR 15575-4:2013 para utilização em edifícios habitacionais de até 5 pavimentos, para zona bioclimática 8 de acordo com a Figura 63, onde localiza-se a cidade de Manaus.

Figura 63 – Análise térmica da variação de temperatura térmica externa x interna de acordo com a sensação térmica.

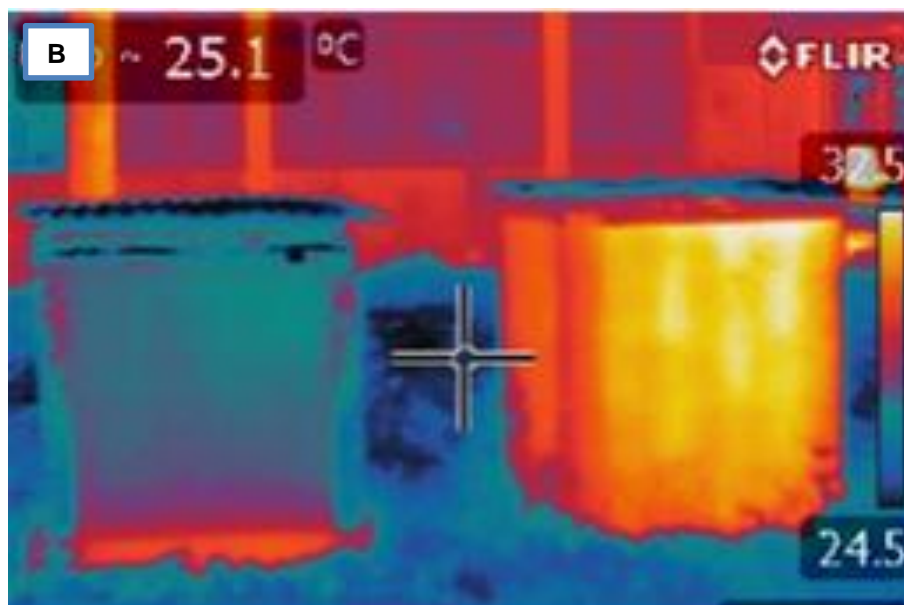


A análise realizada após elaboração do gráfico de variação térmica validou a utilização do PSC como SVVIE de nível superior, onde S corresponde as variações de temperatura:  $T_{i, \text{máx}} \leq (T_{e, \text{máx}} - 2^{\circ}\text{C})$  e  $T_{i, \text{mín}} \leq (T_{e, \text{máx}} + 1^{\circ}\text{C})$ , Figura 64.

Figura 64 – Ensaio de desempenho térmico, (A) Análise térmica as 13:00 h, (B) Análise térmica as 19:00h.



Durante a realização do ensaio diurno conforme Figura 64 (a) observou-se que o atraso térmico proporcionado pelo PSC foi de eficiência superior em relação ao sistema de blocos convencionais. Na figura 64b foram realizadas leituras no período noturno para verificação de variação da temperatura e absorção do calor absorvido durante o dia.



De acordo com as imagens térmicas captadas, verificou-se que as 19 h de um dia com alta intensidade solar, o bloco cimentício ainda manteve a temperatura equivalente ao período diurno que indica um atraso térmico elevado. Quando comparado o atraso térmico proporcionado pelo PSC observou-se que o mesmo demonstrou eficiência no cumprimento do desempenho térmico conforme estabelecido pela norma NBR 15575:2013 – Desempenho de edificações.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusão

O desenvolvimento da pesquisa demonstrou a viabilidade de fabricação do PSC e sua aplicação na construção civil como sistema vertical de vedação – SVVIE através do atendimento as normas vigentes específicas para a este tipo de material, NBR-15.575 – Norma de desempenho das edificações, além de suas normas constituintes e ainda o cumprimento das exigências de mercado.

As análises iniciais, físicas, químicas e mecânicas dos ensaios realizados nos materiais empregados foram de fundamental importância para determinação da resistência do PSC, esses resultados proporcionaram o aprimoramento do painel sanduíche cimentício validados de acordo com as informações acrescidas e obtidas dos ensaios de capacidade térmica e resistência física propostas na fase final da pesquisa.

Comprovadamente o conjunto de materiais utilizados demonstraram eficiência quanto a redução do impacto ambiental, desde a utilização do cimento Portland CP-III que proporciona menor impacto ambiental decorrente do seu processo de fabricação, e de recursos naturais que visaram atingir durabilidade superior do produto comprovado através dos ensaios realizados possibilitando a aplicação desse sistema alternativo construtivo para construção de casas populares no estado do Amazonas, na cidade de Manaus.

As especificidades regionais bem como a restrição a zona bioclimática na qual a cidade pertence compatibilizou a utilização de materiais regionais como a juta amazônica, utilizada em tecidos e que demonstraram alta resistência como armadura têxtil, a metacaulinita oriunda do caulim amazônico, processado de forma artesanal através do método úmido e que apresentou amorficidade necessária para substituir o cimento comprovado durante os ensaios laboratoriais e corroborando para redução do ataque químico as fibras vegetais e manutenção da integridade do PSC.

Aliado ao desenvolvimento do PSC sugeriu-se a adaptação de uma planta baixa residencial e geração de imagens volumétricas que buscaram atender as exigências dos programas habitacionais regionais em relação ao dimensionamento

dos ambientes, acessibilidade e área total construída da edificação. Pode-se ressaltar a importância da previsibilidade inicial ainda na fase projetual da edificação para que projeções estruturais favorecessem a utilização dos encaixes metálicos e cimentícios para fixação dos painéis.

Os resultados da pesquisa demonstraram o potencial de utilização do PSC na construção civil, classificando como material leve de vedação vertical para edificações habitacionais relacionado aos programas habitacionais, em Manaus. Embora que o PSC tenha apresentado um comportamento de material isolante, a margem de trabalhabilidade do material possibilita que o núcleo ou demais componentes possam ser adaptados para tornar o material ainda mais compatível as condições amazônicas. A classificação do PSC foi de nível superior quanto a requisitos de resistência, conforto térmico e acústico e sua utilização impactaria em maior conforto para construção de casas populares na região amazônica.

## **5.2 Sugestões de continuidade**

Na possibilidade de aprimorar os estudos realizados inicialmente quanto a utilização do PSC como sistema vertical vedação pode-se sugerir o (a):

1. Avaliação de resistência ao impacto;
2. Verificação da resistência relacionada a carbonatação dos materiais componentes;
3. Desenvolvimento das peças estruturais de fixação dos painéis pré-fabricados;
4. Comparação de resultados obtidos em laboratório com resultados de campo através da construção da planta modelo em tamanho real;
5. Elaboração orçamentária da construção do projeto modelo;
6. Adequação dos componentes do PSC para melhoria do peso próprio e isolamento térmico.
7. Adaptação do PSC para demais zonas bioclimáticas.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 5735: cimento Portland comum**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5737: cimento Portland de alto forno**. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação**. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1996. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 1987. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7221: Agregados – Índice de desempenho de agregado miúdo contendo impurezas orgânicas – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2012. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809: Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2006. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 7973: Poliestireno expandido para isolamento térmica – Determinação de absorção de água**. Rio de Janeiro, 2007. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9775: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2011. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778: argamassa e concreto endurecido – Determinação de absorção de água, índices de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9939: Agregado graúdo – Determinação do teor de umidade total – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2011. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR 11579: Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio de peneira 75 µm (n. 200).** Rio de Janeiro, 2012. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e em câmaras frigoríficas.** Rio de Janeiro, 2007. 11p.

\_\_\_\_\_. **NBR 12653: Materiais pozolânicos - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2015. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Resistência a tração.** Rio de Janeiro, 2010. 11p.

\_\_\_\_\_. **NBR 14727: Materiais têxteis — Determinação da resistência à tração e alongamento de tecidos planos (grab test) em dinamômetro tipo CRT.** Rio de Janeiro, 2016. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades.** Rio de Janeiro, 2005. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.** Rio de Janeiro, 2005. 34p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Parte 3 Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005. 23p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15498: Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2016. 17p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575 parte 1: Desempenho de edificações habitacionais: Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2013. 71p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575 parte 2: Desempenho de edificações habitacionais: Requisitos para sistemas estruturais.** Rio de Janeiro, 2013. 31p.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575 parte 4: Desempenho de edificações habitacionais: Requisitos para os sistemas de vedação vertical interna e externa - SVVIE.** Rio de Janeiro, 2013. 63p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23: Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica.** Rio de Janeiro, 2001. 5p.

\_\_\_\_\_. **NBR 16697: Cimento Portland— Requisitos.** Rio de Janeiro, 2018. 12p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 30: Agregado miúdo — Determinação da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2001. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 43: Cimento Portland — Determinação da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro, 2002. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45: Agregados — Determinação da massa unitária e índices de vazios.** Rio de Janeiro, 2006. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 46: Agregados — Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 49: Agregado fino — Determinação das impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001. 3p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52: Agregado miúdo — Determinação da massa específica e massa aparente.** Rio de Janeiro, 2003. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 65: Cimento Portland — Determinação do tempo de pega.** Rio de Janeiro, 2003. 4p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1998. 8p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248: Agregados — Determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003. 6p.

\_\_\_\_\_. **NBR NM ISSO 3310-1: Peneiras de Ensaio – Requisitos técnicos e verificação – Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico.** Rio de Janeiro, 2010. 20p.

**ASTM C364 / C364M-16: Standard Test Method for Edgewise Compressive Strength of Sandwich Constructions,** ASTM International. West Conshohocken, PA, 2016

**ASTM C393 / C393M-16, Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure,** ASTM International. West Conshohocken, PA, 2016.

ASTM D7249 / D7249M-18, **Standard Test Method for Facesheet Properties of Sandwich Constructions by Long Beam Flexure**, ASTM International. West Conshohocken, PA, 2018.

BARROS, M. S. **A gestão de projetos desenvolvida por uma empresa de arquitetura para atendimento ao “programa minha casa minha vida”: estudo de caso**. Dissertação MBA em gestão de projetos – Fundação Centro de Análise de Pesquisa e Inovação Tecnológica Faculdade Fucapi (instituto de ensino superior fucapi). MANAUS, 2017.

BEZERRA, L. A. C. **Análise de desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica – Universidade federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, 2003.

BRASIL. Ministério das cidades, [2018]. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/index.php/minha-casa-minha-vida>> Acesso em: 6 jun. 2018.

BRASIL. Ministério da saúde, [2004]. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br/index.php/portaria518>> Acesso em: 19 dez. 2018.

BRASILEIRO, Francisca Lilian Cruz; MONTEIRO, Livia Maria de souza; MOREIRA, Kelvya Maria de Vasconcelos. **Study Content of Superplasticizer Self-Compacting Mortar With Addition of Rhyolite**. 2015.

CALLISTER, William D.; Rethwisch, David G. **Ciência e engenharia dos materiais**. 7ed. Rio de Janeiro: GenLtc, 2012.

CARVALHO, R. P. **Acústica arquitetônica**. 2ed. Brasília. Ed. Theasauros, 2010, 169p.

CEF - Caixa Econômica Federal. **Cartilha do Programa Minha Casa, Minha vida**. Disponível em <<http://www.planejamento.gov.br/assuntos/investimento-e-pac/publicacoes-nacionais/cartilha-minha-casa-minha-vida.pdf/>> Acesso em: 20 jun. 2017.

COURARD, L.; DARIMONT, A. SCHOUTERDEN, M.; FERAUCHE, F.; WILLEM, X.; DEGEIMBRE, R. **Durability of mortars modified with metakaolin**. **Cement and concrete Research**, n. 33, 4 f., 2003.

FIDELIS, M. E. A. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta**. Tese de doutorado em engenharia civil. UFRJ. Rio de Janeiro, 2014.

FOLHA DE SÃO PAULO. São Paulo: Grupo Folha, [1921-?]. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/mundo/ft1309200521>> Acesso em: 6 jul. 2017.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S. R. **Manual do conforto térmico**. 7 ed. PROL editora gráfica Ltda, 2006.

GONÇALVES, P. J. S. **Emprego de EPS reciclado em blocos vazados de concreto para otimização do conforto térmico das edificações**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade federal do Amazonas – UFAM. Manaus, 2018, 147p.

GRACE, G. C. P. **ADVACAST525 – Superplastificante para pré-fabricados**. Disponível em: <[https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva\\_cast525](https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/grace/adva_cast525)>, acessado em: 20/09/2018.

GROTE, Z. V; SILVEIRA, J. L. **Análise energética e exergética de um processo de reciclagem de poliestireno expandido (isopor)**. 2 fotos. Mackenzie, 2002.



\_\_\_\_\_. IBGE, Manaus, censo 2016, **Informações sobre déficit habitacional**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php/codmun=180160>>. Acesso em: 21 jun. 2017.

JUTAL – Empresa industrial de juta S/A. **Grupo CIEX - Jutal**. Disponível em: <<http://www.ciex.com.br/index.php?jutal/>>. Acesso em: 05 jun. 2019.

KRÜGER, E. L. et al. **Thermal analysis of wood–cement panels: Heat flux and indoor temperature measurements in test cells**. Construction and Building Materials, Elsevier, ISSN: 0950-0618 n. 23, p. 2299-2305, 2009.

LAMBERTS, Roberto; **Desempenho térmico de edificações para paredes e coberturas**, Ed. Florianópolis. UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

LIMA, J. A. Q. **Forma colaborante para elementos estruturais usuais de concreto armado - produzida com matriz cimentícia, reforçada com armadura têxtil de tecido de juta, impregnada com resina de epóxi**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Manaus, 2019, 133p.

LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. **Use of metakaolin to improve the durability of sisal fiber-cement based composites** – Ambiente Construído. Porto Alegre, v.8, n.4, p7-19, out/dez 2008.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. Tese de doutorado em engenharia civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro, 2004, 263p.

LUZ, A. B., CAMPOS, A.R., CARVALHO, E.A. e BERTOLINO, L.C., **Caulim**. In **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. Ed. Luz, A. B. e LINS, F.A.F. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, 231p, 2005.

MALVERN, Instruments Ltd. **Malvern Mastersizer 2000 particle size analyzer**. Reino Unido: Disponível em: <<http://www.malvern.com/labeng/products/mastersizer/ms2000/mastersizer2000.htm>> 2012.

MANOHAR, Akshay R. **Marsh cone test**. *Nmamit-nitte*, p. 14, 2014.

MELO FILHO, J. A. **Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

MELO FILHO, J. A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal**. Tese de doutorado em engenharia civil. Universidade federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2012.

MILLER, G. Tyler. **Environmental science**. 11<sup>o</sup>ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 17p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto, 2d**. São Paulo. Editora Pini, 1997.

OHAMA, Y. **Recent progress in concrete-polymer composites**. Advanced cement based materials. V.5, Elsevier Science Ltd. 1997. 31p.

OLIVEIRA, I. R. C. **Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e malva**. 2013. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Universidade federal do Amazonas – UFAM, Manaus, 2013.

PAIVA, A. M. **Agricultura camponesa: no contexto da produção de juta e malva na várzea do estado do Amazonas**. 2015.

PAIVA A. M. **Agricultura camponesa e desenvolvimento rural/local: um estudo da organização da produção de juta e malva na várzea do município de Manacapuru.** *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, v. 1, 2015.

PMI - Project Management Institute. **Guide professional.** 5 ed. Pennsylvania/USA: Project Management Institute, 2012.

SAVASTANO Jr. H. **Sistema de cobertura para construção de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais.** 2000. Tese (livre docência) – escola politécnica, universidade de são Paulo, são Paulo, 2000.

SEPROR. Secretaria de produção rural do Amazonas. **Culturas Industriais.** Manaus AM. 2016.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar.** 5 ed. Belo Horizonte. Ltda, 2005. 339 p.

SINAT. **Sistema Nacional de inovação técnica - Ministério das cidades.** Programa brasileiro da qualidade e produtividade do habitat. Brasília, 2018.

TATUM, C. B. **Process of innovation in construction firm.** Journal of construction engineering and management – ASCE. Nova York, 1986. 178p.

VALLE, S. **Manual Prático de Acústica** – 3ª edição, revisada e ampliada. Ed. Música e tecnologia – 2009, 204p.

VITTORINO, F. **Requisitos de conforto acústico, desempenho acústico e as experiências de ensaios de laboratório e campo.** IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, CT 171519, 2013.

Von KRUGER, Paulo Gustavo; SOUZA, Henor Artur de; FREITAS, Arlene Maria Sarmanho. (2010) **Avaliação comparativa de desempenho global de painéis de vedação para edificações em estruturas metálicas**. In: 3RD INTERNATIONAL SEMINAR - THE USE OF STEEL STRUCTURES IN CIVIL CONSTRUCTION, Belo Horizonte. Anais eletrônicos. SME-CICOM.

WAY, Daniel. **Proof of concept for a three dimensional molded Core wood strand sandwich panel**. 2015. Wood Science – MD, Oregon State University, 2015.