

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



ARMIRYS DEL CARMEN MÉNDEZ GARCÍA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO COM
PAINÉIS SANDUÍCHES PARA HABITAÇÕES DE BAIXA RENDA**

MANAUS

2019

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

ARMIRYS DEL CARMEN MÉNDEZ GARCÍA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO COM
PAINÉIS SANDUÍCHES PARA HABITAÇÕES DE BAIXA RENDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, área de Concentração: Materiais e componentes de Construção

Orientador: Dr. João de Almeida Melo Filho.

MANAUS
2019

Ficha Catalográfica

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

G216p García, Armirys del Carmen Méndez
Desenvolvimento de um sistema construtivo com painéis
sanduíche para habitações de baixa renda / Armirys del Carmen
Méndez García . 2019
110 f.: il. color; 31 cm.

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

1. Painel Sanduíche. 2. Ferrocimento. 3. Habitação baixa renda.
4. Isolamento térmico. 5. Sistema construtivo. I. Melo Filho, João de
Almeida. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



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



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO N.º. 023/2019

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

DATA DO EXAME: 02/12/2019

DISCENTE: Armirys Del Carmen Méndez García

ORIENTADOR: Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho

BANCA EXAMINADORA: (Nome Completo)

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

Profa. Dra. Caren Michels (Membro Externo)

Profa. Dra. Luciane Farias Ribas (Membro Externo)

TITULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO: DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO COM PAINÉIS SANDUICHE PARA HABITAÇÕES DE BAIXA RENDA

LOCAL: Sala do Bloco de Pós-graduação Prof. Vilar Fiuza da Câmara

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 53 minutos arguido oralmente pelos 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 Com correções

Manaus, 02 de dezembro 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. Luciane Farias Ribas (Membro Externo)

Luciane Farias Ribas

Armirys Del Carmen Méndez García (Discente)

Armirys

A Deus todo Poderoso e a Jesus Cristo, fonte das minhas forças e socorro; ao meu amado esposo Freddy pelo seu apoio incondicional; às minhas amadas e pacientes filhas: Swamy e Dasha; Também às minhas motivadoras guerreiras: minha mãe Mirian e minha irmã Miriharmy. Amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade da vida, por escutar minhas orações, por me abençoar, cuidar de mim e da minha família, por me iluminar e pela sua sabedoria durante toda esta pesquisa.

Ao meu companheiro de vida, esposo, amigo incondicional e grande motivador Freddy José Willians Rodríguez, obrigada por acreditar, confiar e me apoiar sempre, por sonhar junto comigo e empurrar nosso barquinho na mesma direção; sempre da mão do Senhor Jesus. Amo você.

As minhas princesas e maior tesouro Swamy e Dasha, obrigada filhas por serem pacientes, acreditarem e confiarem em mim. Graças a meu Deus pela vida de vocês, pois têm sido uns dos meus maiores motivos para não desistir nesta árdua caminhada.

A minha mãe Mirian Gertrudis García pela vida, confiança, incentivo, ajuda e por ter saído sem olhar para atrás da Venezuela (louvado seja Deus pela tua vida mãezona), sem você não teria sido possível, obrigada pela ajuda com Dasha e Swamy e por todo o que você fez com tanto amor. Obrigada eternamente Mamá.

Ao meu pai Armando Rafael Méndez Perdomo pela vida e por também ser de grande exemplo para mim em constância, dedicação e trabalho disciplinado.

A minha irmã Miriharmy Cecilia Méndez García, por todo o seu apoio e incentivo, por ser de grande exemplo e sempre me apoiar durante toda a minha vida e também nessa caminhada. Louvado seja Deus pela tua vida, você é a melhor irmã, te amo infinitamente e incondicionalmente.

A minha querida amiga e irmã Ruth Salgado e toda sua família pelo apoio e ajuda justo quando mais eu precisei. Deus lhes retribuía grandemente; amo vocês.

Ao meu irmão Brasileiro, Basílio Ferreira de Carvalho Neto, por todo o seu apoio nos momentos de incertezas, quando tudo parecia tão difícil e as portas não se abriam, por ser um grande encorajador e falar sempre com palavras positivas. Por me brindar

apoio incondicional em todo o processo do começo até o fim. Igualmente a sua esposa e irmã Mayara de Melo Carvalho por todo seu carinho e apoio; minha eterna gratidão, amo vocês.

À professora Heloisa Cardoso, pela sua valiosíssima ajuda durante todo o difícil processo de revalidação de diploma de Engenharia Civil na UFAM e ao prezado professor Raimundo Vasconcelos quem me ajudou durante o meu processo de inscrição para concurso de mestrado. Deus lhes abençoe sempre.

Às professoras Luciane Farias Ribas e Caren Michels, pela participação na banca de qualificação, na qual deram generosas contribuições para este trabalho.

Ao meu professor orientador, João de Almeida Melo Filho que estava sempre prestes a me ajudar, pelo carinho, disponibilidade, paciência, amizade (por me acolher como uma filha venezuelana), assim como o auxílio na elaboração deste trabalho. No meu coração você e sua família sempre terão um lugar muito especial. Deus seja eternamente louvado pelas suas vidas.

Aos meus amigos Amarilso Raulino e sua esposa Erika, por toda sua valiosa ajuda durante a elaboração desta pesquisa, apoio, motivação, disponibilidade, e tudo de bom que vocês com todo carinho passaram para mim. Deus lhes abençoe sempre, minha eterna gratidão a vocês.

À professora Maria Gercilia Mota Soares, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), por todo seu apoio, carinho, instrução e ensinamentos, ministrados com grande generosidade e muita sabedoria durante a elaboração da pesquisa. Minha eterna gratidão, querida, prezada e lembrada GG.

Aos técnicos do laboratório de Materiais de Construção da UFAM, Nilson Braz Videll e Jorge Euvaldo Oliveira Santiago, com os que compartilhei inúmeros momentos que guardo no meu coração, vocês foram para mim de grande apoio nesta caminhada e de valioso aporte na culminação deste trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pelos ensinamentos e por estarem disponíveis para ajudar.

Aos colegas e amigos que fiz durante todo este período de UFAM, pelo carinho e ajuda, serão sempre lembrados, Diana, José Fadul, Eugenio, Luane, Michell, Maria Clara, Virlane, Ewerton, Samuel, Luana, Adma, Erick, Henriqueta, Marcos, Elma, Hudson, Frank, Eduarda, Bruna, Franklin, Paulo. Em especial a Daniela e Ana Paula, muito obrigada pela parceria, apoio e disposição, minha eterna gratidão a vocês. Ao Sr. Alcides, por sempre estar disposto a ajudar de forma desinteressada e excepcional e pelos conhecimentos compartilhados. A todos em geral que Deus lhes abençoe sempre, desejo a vocês o maior dos sucessos nas suas vidas profissionais e pessoais.

À minha amiga e grande parceira Patricia Paola Chourio Pirela por ser um pedacinho da minha Venezuela na UFAM. Obrigada pelos sorrisos, pelo apoio, pelas palavras de ânimo e pela ajuda incondicional que sempre recebi de você durante esta caminhada. Não tenho palavras para demonstrar a minha gratidão amiga, você é show, um presente de Deus na minha vida, Deus te abençoe sempre.

Ao auxílio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM.

Os meus irmãos, e amigos do Grupo de Amizade, Dona Lúcia, Mariazinha, Oleine, Bia, Francinelly, Maria (Maroca), Geysa, Graça, Meire, Ivannia, Tio Wilson, Junior, Joãozinho, Mailer, Deivis, Seu José, por todas as suas orações e apoio durante esta grande corrida. Muito especialmente aos meus Líderes de Grupo (Joelma Mesquita e Percy Fidelis), assim como também, a irmã Karlinha, irmã Ester e o irmão Celso, irmã Mercedes e irmão Leonardo (Vzla); pelas orações, aconselhamento e apoio, por serem meu auxílio, socorro enviado do céu nós momentos mais difíceis da minha vida. Que Deus derrame eternamente bênçãos sobre vocês a cada vez que respirem.

Aos meus irmãos, David Monteiro e Noêmia Mesquita, obrigada pela ajuda, força e consideração, vocês têm sido, amigos, parceiros, conselheiros e de muita ajuda nesta pesquisa. Deus lhes retribua generosamente a sua disposição e ajuda desinteressada, guardo como um tesouro no meu coração, Amo vocês.

⁽⁴⁾ “se procurar a sabedoria como se procura a prata e buscá-la como quem busca um tesouro escondido,

⁽⁵⁾ então você entenderá o que é temer ao Senhor e achará o conhecimento de Deus.

⁽⁶⁾ Pois o Senhor é quem dá sabedoria; de sua boca procedem o conhecimento e o discernimento”.

Provérbios 2:4-6

RESUMO

A habitação social de baixa renda sofre atualmente no Brasil um grande déficit medido em função da demanda populacional em crescimento, sendo que, através das políticas públicas habitacionais não se consegue dar solução eficiente em termos de qualidade, tempo de execução e facilidades construtivas em consonância com o meio ambiente e os níveis necessários para o correto desempenho da qualidade de vida. Neste contexto, novos sistemas construtivos surgem como soluções no mercado comercial, como é o caso dos painéis sanduíches pré-moldados aplicados a moradias de baixo custo. Estes sistemas consideram o planejamento, dimensionamento e detalhamento dos mesmos, sendo um dos motivos de inclusão dentro desta pesquisa. Baseado nessa problemática, este trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar painéis sanduíches constituídos por um núcleo de EPS e faces de ferrocimento. Para atingir esse objetivo, inicialmente foi verificado a utilização de dois tipos de reforço (malhas metálicas) nas faces de ferrocimento. Com a melhor configuração do reforço, produziu-se o painel sanduíche, este último foi caracterizado por ensaio mecânico (flexão) e ensaio físico (térmico). Ainda foi projetada uma habitação de baixo custo em consonância com as características bioclimáticas da cidade de Manaus, na qual serão implementados os painéis sanduíches como sistema de vedação e divisória.

Palavras-chave: Painel Sanduíche, ferrocimento, habitação baixa renda, isolamento térmico.

ABSTRACT

Brazil is currently suffering a large deficit in social housing, which can be measured based on the population growth, and on the to public housing policies through which it is not possible to provide efficient solutions in terms of quality, execution time and construction methods in line with environmentally friendly approaches and the necessary levels required to achieve a good quality of life. In the light of this, new construction systems have been emerging in the market as solutions, such as precast sandwich panels applied to low-cost housing. This system considers planning, dimensioning and detailing, and for that reason it was included in this research. Based on the problem previously stated, the objective of this work is to develop and characterize sandwich panels made of an expanded polystyrene (EPS) core and ferrocement facings. To accomplish this objective, two types of reinforcement (metallic meshes) for the ferrocement facings were evaluated. With the best reinforcement arrangement, the sandwich panel was produced, and it was characterized by means of mechanical testing (bending) and physical testing (thermal). Moreover, a low-cost housing was designed in line with the bioclimatic characteristics of Manaus, a city in which sandwich panels will be implemented for external and internal walls.

Key words: sandwich panel, ferrocement, low-cost housing, thermal insulation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	CONTEXTO	20
1.2	MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO PROJETO	21
1.3	OBJETIVO	23
1.3.1	OBJETIVO GERAL	23
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
1.4	ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	23
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	CLIMA	25
2.1.1	CLIMA DE MANAUS, ESTUDO DE CASO	26
2.2	CONSTRUÇÕES HABITACIONAIS	30
2.3	SISTEMAS CONSTRUTIVOS NO BRASIL	31
2.4	CONSTRUÇÃO DE MORADIAS NO BRASIL	32
2.5	DÉFICIT DE MORADIA	33
2.6	SISTEMAS CONSTRUTIVOS COM PAINÉIS	36
2.6.1	SISTEMA DE PAINÉIS AUTOPORTANTES	36
2.6.2	SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING (LSF)	37
2.6.3	SISTEMA PVC E CONCRETO	38
2.6.4	PAINÉIS DE FERROCIMENTO	40
2.7	SISTEMAS DE PAINÉIS SANDUÍCHES	43
2.7.1	PAINÉIS SANDUÍCHE	43
2.7.2	PAINÉIS SANDUÍCHE DE EPS E ARGAMASSA	48
2.8	SOLICITAÇÕES DOS PAINÉIS SANDUÍCHES	50
2.8.1	CONFORTO AMBIENTAL	50
2.8.1.1	<i>Conforto Térmico</i>	51
2.8.2	RESISTÊNCIA À FLEXÃO	54
3	MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS	56
3.1	MATERIAIS	57
3.1.1	CIMENTO	57

3.1.2	AREIA.....	58
3.1.3	ÁGUA.....	62
3.1.4	EPS.....	62
3.1.5	TELAS METÁLICAS.....	62
3.2	MÉTODOS EXPERIMENTAIS	63
3.2.1	PRODUÇÃO DA ARGAMASSA.....	63
3.2.1.1	<i>Seleção do traço experimental.....</i>	63
3.2.1.2	<i>Ensaio de consistência.....</i>	64
3.2.2	PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS DE FERROCIMENTO.....	64
3.2.3	PRODUÇÃO DO PAINEL SANDUÍCHE.....	65
3.2.4	CARATERIZAÇÃO MECÂNICA DAS PLACAS DE FERROCIMENTO (FACE).....	70
3.2.5	ANÁLISES ESTATÍSTICA.....	70
3.2.6	CARATERIZAÇÃO MECÂNICA DOS PAINÉIS SANDUÍCHES.....	71
3.2.7	CARATERIZAÇÃO FÍSICA EM PAINÉIS SANDUÍCHES.....	73
3.2.7.1	<i>Ensaio térmico.....</i>	73
3.2.7.2	<i>Transmitância térmica.....</i>	75
3.2.8	PLANEJAMENTO DO PROTÓTIPO HABITACIONAL.....	76
3.2.8.1	<i>Construção do modelo virtual.....</i>	76
3.2.8.2	<i>Desenho esquemático atual.....</i>	76
4	RESULTADOS.....	77
4.1	CONSISTÊNCIA DA ARGAMASSA.....	77
4.2	FLEXÃO DOS COMPÓSITOS.....	77
4.2.1	INFLUÊNCIA DO TIPO DE MALHA NO COMPÓSITO (FACE).....	77
4.2.1.1	<i>– Mesmo número de camadas.....</i>	77
4.2.1.2	<i>– Mesma massa de aço.....</i>	79
4.2.1.3	<i>– Mesmo tipo de malha em diferentes camadas.....</i>	81
4.2.1.4	<i>– Análises estatístico.....</i>	83
4.2.2	INFLUÊNCIA DO TIPO E NÚMERO DE MALHA NO PAINEL SANDUÍCHE.....	84
4.3	ENSAIO TÉRMICO.....	86
4.3.1	CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	86
4.3.2	TRANSMITÂNCIA TÉRMICA.....	87
4.4	PROTÓTIPO HABITACIONAL.....	89

5 CONCLUSÕES	96
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA	98
APÊNDICE A – CURVAS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO.....	108
APÊNDICE B – ANÁLISES ESTATÍSTICA COMPÓSITOS (PF)	111

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação climática do Brasil proposta por Nimer, 1979.....	25
Figura 2. Carta Bioclimática Psicrométrica da cidade de Manaus, gerados pelo software AnalysisBio, 2016	26
Figura 3. Sala de aula analisada. A-Fachadas Norte. B- Fachada Sul.....	27
Figura 4. Temperatura sala 207 (faces Norte e Sul) x Temperatura externa.	29
Figura 5. Umidade relativa do ar (%) – sala 207 (interno) x externo.....	29
Figura 6. Impactos do Minha Casa, Minha Vida. Baseado em impactos diretos e indiretos.	35
Figura 7. Imagens dos painéis autoportantes. A- Fabricação de painéis, B - Painéis prontos.	37
Figura 8. Sistema Light Steel Framing. A, sendo instalado, B – Sistema pronto, resultado final.....	38
Figura 9. Sistema construtivo PVC e Concreto – Instalação em obra tipo habitação. ...	39
Figura 10. Sistema construtivo PVC e concreto.....	40
Figura 11. Malha Hexagonal (Malha de Galinheiro)	41
Figura 12. Painel tipo sanduíche. A- Constituintes tipos e B- Painel constituído.....	45
Figura 13. A- Seção transversal de um painel sanduíche. B- Painel tipo sanduíche de argamassa e núcleo de EPS. C- Relação de peso e rigidez na flexão com a espessura do painel sanduíche. D- Relação faces com espessura do painel sanduíche.	46
Figura 14. Acabamento final de núcleo úmido, modelo básico.	47
Figura 15. A- Recomendações do Conforto térmico / B- Recomendações para Conforto acústico.	51
Figura 16. <i>SFD & BMD distribution</i>	55
Figura 17. Fluxograma do programa experimental.	56
Figura 18. Curva Granulométrica do cimento Portland CPI.	58
Figura 19. A- Peneiramento da areia no tamisador elétrico. B- Equipe elétrica para fazer granulometria (Granulômetro).....	59
Figura 20. Curva granulométrica da areia implementada.....	61
Figura 21. Curva granulométrica da areia para cálculo de coeficiente de não uniformidade.....	62
Figura 22. Malhas: A- Malha hexagonal e B- Malha inoxidável.	63

Figura 23. Ensaio de consistência. A- Argamassa e equipes utilizados. B - Cone preenchido de argamassa, C- Medição do espalhamento.	64
Figura 24. Produção das placas faces de ferrocimento. A- Distribuição de camadas de reforço. B- Mistura da argamassa. C- Forma de acrílico. D- Incorporação do reforço de malha metálica. E- Cura das placas.	65
Figura 25. Modelo construtivo de painel sanduíche. A – Forma implementada com aplicação do desmoldante. B- Núcleo do painel sanduíche com malha metálica hexagonal.....	67
Figura 26. Processo construtivo do painel sanduíche. A- Colocação da primeira cama de argamassa.....	68
Figura 27. Conector Metálico do painel sanduíche	68
Figura 28. Distribuição em planta de conectores rígidos do painel sanduíche.....	69
Figura 29. Vista em 3D de conectores rígidos do painel sanduíche.....	69
Figura 30. Ensaio de flexão em 4 pontos para compósito (face).....	70
Figura 31. Ensaio de flexão em painel sanduíche. Separação de apoios e pontos de aplicação de carga.....	72
Figura 32. Ensaio de flexão em painel sanduíche. A- Flexômetro. B- Chapa de ferro com perfurações e roletes. C- Ensaio adequado com todos os elementos.....	73
Figura 33. Aparelho medidor de fluxo de calor.....	74
Figura 34. Ensaio de condutividade térmica. A- Configuração do ensaio de medição. B- Amostra de Painel Sanduíche PS3	74
Figura 35. Curva tensão x Deflexão central compósito (face) - Mesmo número de camadas	78
Figura 36. Curva tensão vs Deflexão central compósito (face) - Mesma massa de aço.....	80
Figura 37. Curva tensão vs Deflexão central compósito (face) - Mesma Malha diferentes camadas	81
Figura 38. Abertura das fissuras em sequências segundo a deflexão central compósito (face).....	83
Figura 39. Curva tensão x Deflexão central painel sanduíche	84
Figura 40. Processo de abertura de fissuras no painel sanduíche.....	86
Figura 41. Perfil de painel sanduíche. Vista explodida	91
Figura 42. Acoplamento de perfis de fixação com painel sanduíche. Perfis enfiados no painel	92
Figura 43. Vista inferior do protótipo, dimensionamento	93

Figura 44. Volumetria com distribuição dos painéis. A- Estrutura metálica. B- Paredes com painel sanduíche acoplados. C- Telhado da casa. D- Distribuição de mobiliário. .	93
Figura 45. Vista explodida do modelo habitacional.	94

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Materiais construtivos do bloco de sala de aula.	28
Tabela 2. Déficit Habitacional por situação do domicílio e segundo regiões geográficas da zona norte assim como distribuição total e urbana – 2015.	34
Tabela 3. Propriedades físicas da malha hexagonal.	42
Tabela 4. Propriedades físicas da Malha de Aço.	43
Tabela 5. Propriedades da argamassa em seu estado fresco e endurecido.	49
Tabela 6. Característica exigíveis para o EPS.	50
Tabela 7. Expressões da norma segundo o tipo de solicitação.	54
Tabela 8. Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX).	58
Tabela 9. Ensaio físicos – químicos de caracterização das areias.	58
Tabela 10. Resultados dos ensaios de caracterização da areia.	60
Tabela 11. Classificação Duff-Abrams.	60
Tabela 12. Traço característicos de compósitos de ferrocimento.	63
Tabela 13. Compósitos de Ferrocimento.	64
Tabela 14. Tipos de painéis sanduíches.	66
Tabela 15. Espalhamento médio para traço de argamassa	77
Tabela 16. Valores médios das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos - Mesmo número de camadas.	78
Tabela 17. Valores médios das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos - Mesma massa de aço.	80
Tabela 18. Valores médios das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos – Mesmo tipo de malha diferentes camadas.	82
Tabela 19. Valores das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos painel sanduíche.	85
Tabela 20. Comparativo de condutividade térmica em materiais diversos.	87
Tabela 21. Comparativo de transmitância térmica (U) em diversas paredes.	88
Tabela 22. Perfis implementados no protótipo construtivo.	90
Tabela 23. Área útil das unidades habitacionais (m ²).	91

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CP	Cimento Portland
DMC	Dimensão Máxima Caraterística
EPS	Esferas de Poliestireno Expandido
FERROCEMENT	Ferrocimento
FGV	Fundação Getúlio Vargas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Normalização)
MCMV	Minha Casa Minha Vida
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
ONU	Organização das Nações Unidas
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SHEAR CONECTOR	Conector metálico
UFAM	Universidade Federal do Amazonas
UEA	Universidade Estadual do Amazonas
3D	Denotação de terceira dimensão

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto

A moradia se tornou um direito fundamental no ano 1948 do século XX. A Organização das Nações Unidas afirma que, o merecimento à moradia seja considerado um direito humano universal que coloca de manifesto que todo ser humano e membro dos países integrantes da ONU tem direito a aquisição de moradia (HÉLBER, 2014).

No Pacto Internacional dos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais, originário do ano 1996, foi reconhecido pelos países membro e dos quais o Brasil é signatário, a seguinte declaração: “reconhecem o direito de toda pessoa em nível de vida adequado para si próprio e sua família, inclusive à alimentação, vestimenta e moradia adequadas, assim como uma melhoria contínua de suas condições de vida”. Através dessa declaração deu-se origem ao conhecido direito à cidade e outros direitos fundamentais do ser humano como: salubridade, saúde, educação, lazer, emprego e cultura. Visto desde outra perspectiva como o maior fenômeno de inclusão social.

O problema da habitação tem preocupado tanto os órgãos governamentais quanto pesquisadores e cientistas. Devido ao acréscimo populacional não está em consonância com o desenvolvimento das grandes povoações, levando o acesso das habitações dignas ao sonho difícil de atingir (MERCATOR FORTALEZA, 2014).

Mercator Fortaleza (2014) afirma que um dos motivos da desigualdade habitacional no Brasil se deve a baixa renda da qual dispõem, impedindo os setores menos privilegiados de adquirirem as moradias no comércio imobiliário. Contrapondo a ideia de desenvolvimento social e espacial e forçando as novas famílias a viverem em espaços inadequados tais como: mangues, morros e limites de rios; assim como realizar construções inapropriadas para moradia como são os barracos, favelas, encontradas geralmente no perímetro da cidade. Por tanto, é importante alternativas que favoreçam a justa posse da cidade com a implantação de novas diretrizes habitacionais que possam suprir a crescente necessidade dos mais carentes e vulneráveis. Manaus não está longe dessa realidade, sendo a capital do Estado do Amazonas, geograficamente localizada entre os rios o Negro e Solimões, e conseqüentemente semelhante ao resto do Brasil; encontra-se num panorama que favorece as desigualdades sociais e ambientais vividas desde 1980 até nossos dias atuais (SALES, 2013).

Para que o desenvolvimento do Brasil nos âmbitos sociais, energéticos, econômicos e ambientais, será indispensável reduzir o saldo negativo em relação à moradia na classe econômica baixa, segundo o pensamento criterioso de Carvalho e Sposto (2012), sendo este um dos grandes fatores a serem vencidos na sociedade atual. Reduzir o déficit habitacional é só um dos principais aspectos, na lista de prioridades está: à qualidade, sistemas de manutenções, garantia de durabilidade da moradia no tempo; assim como condições ambientais conforme a Norma de Desempenho NBR 15.575: 2010.

Desde a perspectiva Choguill (2007) os mecanismos de fornecimento de solução habitacional devem ser adequados ao entorno social de implantação, disponibilizar acessibilidade financeira, assim como uma associação técnica harmoniosa com o meio ambiente. Segundo o autor, os critérios mais importantes a considerar são: considerações dos tipos de materiais a utilizar em relação a qualidade, ao valor e de facilidade de aquisição no mercado. Funcionamento que garanta a preservação da vida e a saúde. Custeio flexível no tempo, assim como, a salvaguarda da terra pelo reconhecimento coletivo do terreno.

Na procura de soluções viáveis e como uma alternativa construtiva para construção de moradias, estão sendo implementados os compósitos estruturais, constituídos de materiais heterogêneos ou compósitos, caracterizados pelo conjunto de aportes que cada um desses materiais consegue fornecer e onde o desenho arquitetônico dos elementos constituintes são de vital importância, segundo CALLISTER (1998).

1.2 Motivação e Justificativa do projeto

Na economia, a distribuição de renda ou distribuição de riqueza é o mecanismo pelo qual se divide os conjuntos de bens produzidos na sociedade, pelos habitantes, baseados na consideração das diferentes classes existentes na população de uma nação ou estado, segundo Sandroni (1999). E uma boa parte dos cidadãos brasileiros tem dividendos minguados para suprir às suas prioridades básicas fundamentais, com destaque a moradia.

No Brasil a demanda por moradia é ascendente, e no Amazonas, não é diferente as estimativas da Fundação João Pinheiro (2018) estabelece que em 2015, o déficit habitacional estimado do Brasil correspondeu a 6,355 milhões de domicílios, dos quais a região Nordeste, tem 1,971 milhões de moradias estimadas como déficit, o que

corresponde a 31% do total. No estado de Amazonas esta cifra atinge 151.658 habitações, correspondente a 8% da região nordestina, segundo a mesma Fundação.

Em relação às parcelas urbanas do Município de Manaus o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, (2007), explica que concentram 99% da população residente, representando, apenas 4% da extensão territorial municipal; resultando numa alta concentração demográfica, fazendo da problemática explanada um grande desafio para a conquista de moradia digna para a população Manauara.

Com os sentidos colocados na procura de possíveis soluções, este trabalho propõe implementar uma tecnologia construtiva que está sendo desenvolvida e empregada parcialmente na indústria da construção civil no cenário mundial atual. A ênfase norteia a implementação de um sistema construtivo leve, simples, aplicado a uma habitação de baixa renda (unidades térreas expansíveis de um só pavimento), na forma de painéis pré-moldados tipo sanduíche, compostos de argamassa reforçada e núcleo de Poliestireno expandido (EPS), conectores metálicos (*shear conector*) e conectores do tipo bloco; que concretizam um sistema de simples implantação e adequação em obra.

Este sistema considerará as condições climáticas da cidade de Manaus, materiais disponíveis no setor construtivo da região, inclusão de tecnologias sustentáveis – construção em seco; mão de obra não qualificada, respeito às individualidades da população alvo. O protótipo construtivo apresentado terá a definição dos elementos estruturais e arquitetônicos básicos exigidos pelas normas de Desempenho ABNT NBR 15.575: 2013 e ISO 6241:1984, e este será comparado com sistemas convencionais em relação a resistência, desempenho térmico, e produtividade. Os resultados obtidos no trabalho poderão contribuir com as gestões municipais, em busca de soluções para o déficit habitacional da cidade de Manaus.

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema construtivo com painéis sanduíche para habitações de baixa renda.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Avaliar o desempenho de dois tipos de malhas metálicas em compósitos de ferrocimento;
2. Caracterizar mecanicamente compósitos de ferrocimento;
3. Produzir e caracterizar mecanicamente painéis sanduíches;
4. Avaliar o isolamento térmico dos painéis;
5. Modelar uma habitação prática - construtiva com painéis sanduíches.

1.4 Organização da dissertação

No capítulo 1, será apresentada uma introdução, o objetivo geral e os objetivos específicos, as metodologias implementadas durante a pesquisa na área de atuação da problemática brasileira de habitação de baixa renda e as afetações específicas da cidade de Manaus.

O capítulo 2 fará descrição dos tipos de clima do Brasil, mais especificamente da cidade de Manaus, assim como os tipos de habitação predominantes nesta região do mundo, os sistemas construtivos dos quais dispõe para cobrir a grande demanda de baixa renda. Explicará as técnicas de sistemas construtivos com painéis de poliestireno expandido (EPS) e argamassa, materiais constituintes, sistemas de acoplamento e componentes, dimensionamento característico, assim como exigências de normativas aplicadas a estes tipos de sistemas construtivos; além de todas as solicitações frequentemente requeridas a este tipo de sistema.

Em relação ao capítulo 3, este constará da metodologia experimental em relação à caracterização e produção dos materiais constituintes, dos compósitos das faces e painéis sanduíches; protótipos construídos em laboratório. Assim mesmo todos os ensaios necessários para colocar em evidência a resistência das faces e do próprio painel sanduíche a flexão, e também o ensaio térmico.

No capítulo 4, será exposto todos os resultados obtidos e discussões dos ensaios realizados nos compósitos das faces do painel sanduíche, assim como do painel sanduíche construído e que foram apresentados no capítulo 3. Também será apresentado um protótipo habitacional em 3D como uma possível aplicação do painel sanduíche desenvolvido para uso como moradia de baixa renda.

Por fim o capítulo 5, baseado no apresentado no capítulo 4, se expor-á conclusões e considerações finais e possíveis sugestões sobre trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Clima

O estudo do clima tem que ser interpretado como um conjunto e não como elementos ou fatores isolados. Segundo Zavattini (2004) é critério do autor que seja considerado para o estudo do clima, os fatores dinâmicos e estáticos destes elementos numa determinada região. Assim como também o conceito do ritmo climático.

O ritmo climático e os fatores dinâmicos são umas das principais considerações que inclui Nimer (1979), na sua classificação climática, a qual é amplamente implementada por climatologistas por fornecer diferenças significativas em relação às classificações convencionais, com destaque a não implementação de parâmetro classificatórios climáticos convencionais como Köppen e Gaussem (1928), mas sim inclusões parciais dos mesmos (FERREIRA *et al.*, 2014).

O sistema implementado por Nimer (1979) se destaca pela consideração de três sistemas. Um primer sistema relacionado com a gênese climática, os modelos de circulação atmosférica, estabelecendo os três climas zonais: Equatorial, Tropical e Temperado. Um segundo sistema baseado no critério de Köppen, que setoriza as regiões térmicas em: mesotérmico mediano o brando, subquente e quente; alicerçado nas médias dos valores extremos mensais. O terceiro e último sistema baseado no critério de Gaussem, fornece a classificação dos padrões de umidade e seca mensais; super úmido, úmido, semiúmido e semiárido. Na Figura 1, pode ser observado o alcance da classificação climática de (NIMER, 1979) no território brasileiro e as suas divisões segundo as regiões.

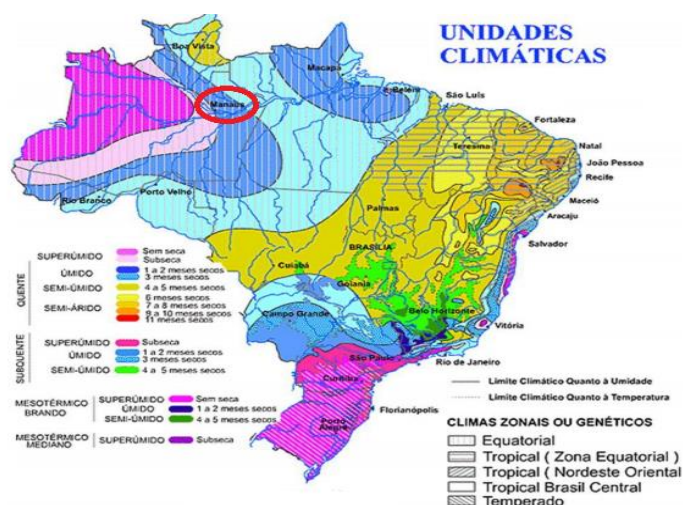


Figura 1. Classificação climática do Brasil proposta por Nimer, 1979.

Fonte: adaptado de IBGE. Diretoria de Geociências, anuário estatístico do Brasil, 1997.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro e as normativas para construções de moradias unifamiliares de baixa renda, assim como a carta bioclimática a partir da sugerida por Givoni (1992), são alguns dos parâmetros considerados na NBR 15.220-3: 2003. Esta norma estabelece que a cidade de Manaus, pertence à Zona Bioclimática 8; dando sugestões construtivas em quanto a sombra, ventilações, sistemas de vedações e coberturas de telhados. Todos estes fatores considerados pela normativa brasileira dão alcance a uma série de análises do clima na hora de construir. Considerar estratégias bioclimáticas é uma potente ferramenta que tem a mira no conforto e na eficiência energética de qualquer tipo de edificações (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 2014).

Como respaldo a esta teoria, Mascaró (1983) já tinha afirmado que os projetos devem ser realizados pelas condições, mas habituais do clima e não pelas extremas de menor prevalência, porém sem serem desconsideradas. Na Figura 2, apresenta-se a Carta Bioclimática Psicrométrica da cidade de Manaus – Estado Amazonas, na qual é demonstrado por traços retos de cores os posicionamentos climáticos da cidade de Manaus de conformidade com cada mês do ano.

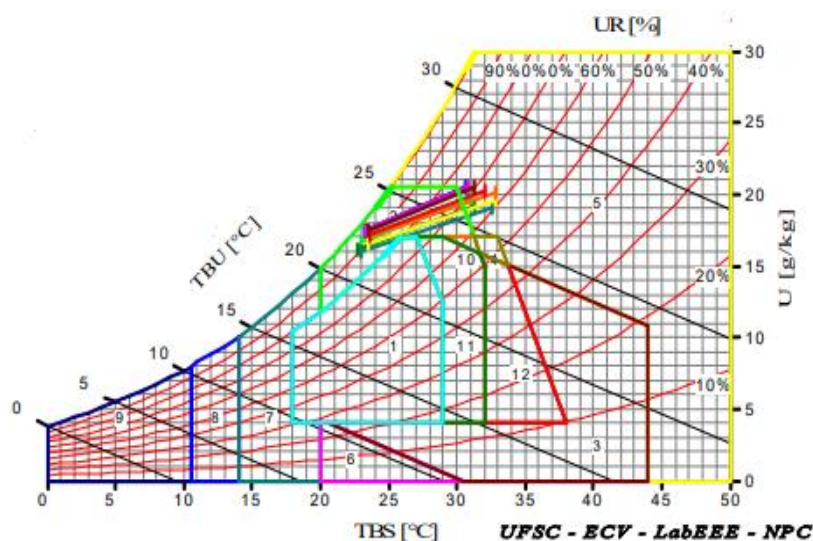


Figura 2. Carta Bioclimática Psicrométrica da cidade de Manaus, gerados pelo software AnalysisBio, 2016. Fonte: Estratégias passivas para habitações na cidade de Manaus Julho, 2017.

2.1.1 Clima de Manaus, Estudo de Caso

Com o seguinte estudo de caso, pretende-se apresentar os fatores climáticos a serem vencidos na hora de escolher ou desenhar qualquer tipo de material para ser implementados em sistemas construtivos para moradias, centros de estudos ou áreas comerciais. As coordenadas geográficas de Manaus correspondem à latitude Sul 3,13° e

60,02° latitude oeste; sendo esta cidade muito próxima à linha do equador e rodeada pelo rio Negro e o rio Solimões. Por tanto esta cidade entra na classificação de clima equatorial, quente e úmido o qual é predominante na região norte, assim como de uma grande região do litoral brasileiro segundo (NEVES, 2006).

De acordo com Neves (2006) sabe-se que o clima equatorial tem presente temperaturas medianamente elevadas e de alta frequência. A umidade é outro fator relevante dado a que se mantem com valores em crescimento constante. Não menos importante é o período de chuvas durante uma fração do ano, assim como a alta radiação solar a qual é propagada como consequência da alta nebulosidade.

Tomando como referência a Neves (2006) em relação ao estudo de uma sala de aula, localizada na Faculdade de Tecnologia – sala 207 - do Campus da Universidade Federal do Amazonas na cidade de Manaus. O estudo consistiu em avaliar o conforto térmico alicerçado na implementação de ventilação natural como mecanismo de resfriamento aplicado em climas equatoriais (altas temperaturas e umidade); e o uso de estratégias de harmonização com o meio ambiente assim como a diminuição dos custos por energia e impacto ambiental.

A sala possuía para o momento do estudo 14 luminárias de lâmpadas fluorescentes, as quais ficam ligadas ainda durante o dia. Este fator é considerado segundo Neves (2006) crítico pelo fato de que estas luminárias convertem 50% de sua potência elétrica em calor radiante, o qual é transferido por convecção e condução; isto faz deste sistema um potencial motor para o acréscimo da temperatura interior da edificação. A capacidade de cadeira e mesa disponíveis para alunos era de 60 mais uma adicional para o Professor. Na Figura 3-A se observam a fachada norte e Figura 3-B sul da sala 207, assim como a distribuição dos espaços e os sistemas implementados como fonte de ventilação natural.

A**B**

Figura 3. Sala de aula analisada. A-Fachadas Norte. B- Fachada Sul.

Os materiais construtivos considerados na construção da sala 207 são apresentados detalhando o tipo de componente ao qual pertencem segundo a Tabela 1.

Tabela 1. Materiais construtivos do bloco de sala de aula.

Componente do edifício	Material
Cobertura independente	Telha de fibrocimento
Estrutura da cobertura	Metálica, Pintada de verde
Estrutura das salas de aula	Concreto aparente
Vedação das salas de aula	Tijolo cerâmico vazado (esp. 20cm)
Revestimento externo da vedação	Pastilha cerâmica
Revestimento interno da vedação	Fórmica bege até altura de 1,80m
Revestimento do piso	Cerâmica
Forro	Laje de concreto pintada de branco
Esquadrias	Madeira e vidro comum

Fonte: Neves, 2006.

Os parâmetros de maior importância avaliados durante o estudo realizado por Neves (2006) foram a temperatura e a umidade relativa do ar, os quais são a consequência da implementação de diversos tipos de materiais - tal e como é apresentado na tabela 1 - assim como também aberturas de ventilação, a radiação solar e acessos para ingresso do ar pela cobertura da estrutura. Em relação às temperaturas registradas durante o estudo as máximas encontradas foram na hora da tarde, nas 14h; sendo este por tanto o período mais quente do dia. As temperaturas mínimas aconteceram antes da saída do sol, e temperatura média semanal foi de 26,1° C, assim como apresentado na Figura 4.

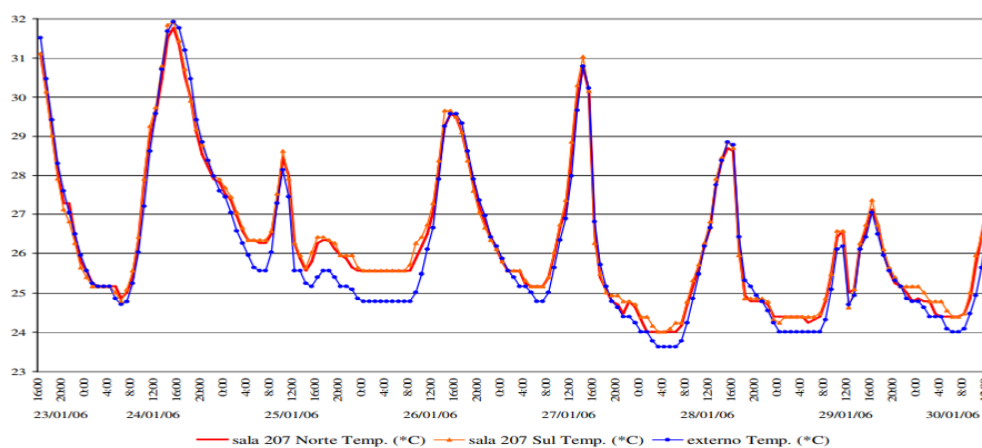


Figura 4. Temperatura sala 207 (faces Norte e Sul) x Temperatura externa.

Fonte: Neves, 2006.

Na avaliação da umidade, manteve-se em auge com um valor ponta de 90%, o que a critério do autor é muito alto, mas comum para o período em que foram realizadas as medições. Na Figura 5 são apresentadas as variações da umidade externa em relação à umidade interna, em tempos de chuvas no regional e enchente nos rios. A diferença mais significativa entre a umidade interna e externa é de 13%, sendo responsável do acréscimo à umidade externa, devido que esta foi medida em áreas próximas à vegetação e por tanto participe do processo de evapotranspiração o qual favorece notavelmente o aumento na umidade relativa do ar. O valor médio registrado da umidade interna ficou em 77,3.

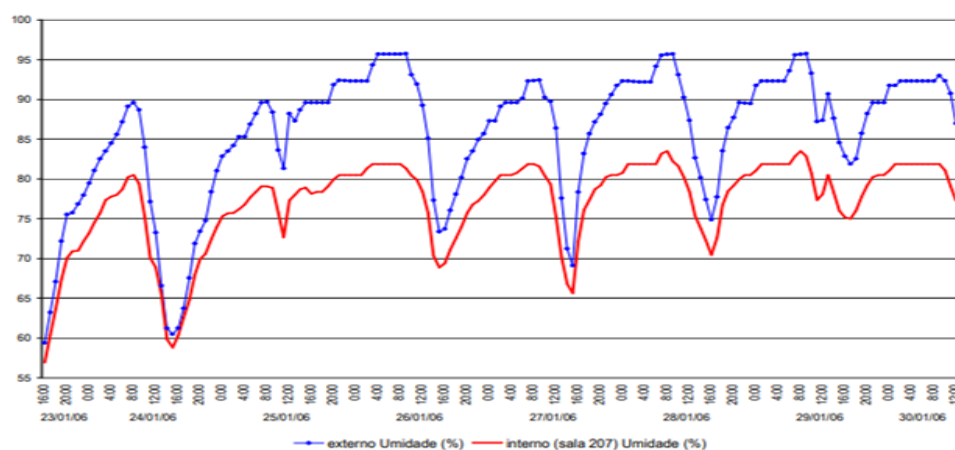


Figura 5. Umidade relativa do ar (%) – sala 207 (interno) x externo

Fonte: Neves, 2006.

Além da umidade e temperatura existe outro fator que é interessante considerar dentro do estudo realizado, é a velocidade do ar. Este caso estudado considerou 4 pontos da sala de aula 207 para realizar medições a uma altura de um metro, tomando como referência o piso, decisão está que partiu das hipóteses de que é nesse nível de altura onde os alunos se encontram fazendo uso das carteiras. É importante destacar que o estudo foi realizado fora do horário de aula pelo fato que o equipamento para realizar as medições é de um tamanho que não permitiria realizá-los em paralelo.

Foram tomadas medições do ar externo da sala e foi obtida uma média de 0,52 m/s do qual ingresso na sala uma média com valores entre 0,10 m/s e 0,25 m/s valor que a critério de Neves (2006) é muito baixo si consideramos as perdas que este experimentará ao ingressar ao médio interno da sala. Segundo Olgyay (1998), até velocidades de 0,25 m/s o vento é imperceptível pelo ser humano com a exceção de baixas temperaturas. Isto só demonstrou que o vento exterior já não foi suficiente para que pudesse ser garantida uma boa ventilação natural da sala. Esta ventilação natural também se viu afetada pelo fechamento das aberturas no forro que foram consideradas no projeto original para dar o efeito chaminé e cujo propósito é a implementação de sistemas de ventilação artificial - ar condicionado.

Este estudo revela com clareza a problemática climática da cidade de Manaus, e os períodos do ano em que são apresentados os eventos térmicos mais críticos, assim como a influência da arquitetura pode favorecer o dificultar significativamente a qualidade de vida dos usuários, em termos do conforto térmico de uma edificação para uso comum.

2.2 Construções Habitacionais

A inovação tecnológica é fundamental para o desenvolvimento econômico de uma nação, tornando o investimento na geração de conhecimento científico e tecnológico um meio para se obter destaque político e econômico internacionais (IBAÑEZ 2012). No Brasil, os investimentos em ciência, tecnologia e inovação têm crescido bastante nos últimos anos, mas, ainda não são suficientes para atender às necessidades de desenvolvimento do país.

Maricato (2009) relata que o foco nas carências habitacionais e nos déficits de moradia, tem sido a forma predominante dos órgãos públicos tratarem a questão da habitação, por meio de consultores contratados, como um problema quantitativo e mais

recentemente, nos anos 90, também qualitativo (RIBEIRO e AZEVEDO, 1996) agruparam as pesquisas sobre a questão da habitação no Brasil até a década de 90 em cinco eixos temáticos:

1. Aspectos macroeconômicos ligados ao emprego urbano;
2. Características técnico-materiais da construção seja na perspectiva da organização industrial, no estudo do processo de trabalho ou na análise integrada das dimensões técnicas e econômicas;
3. Construção popular, sua organização interna e a articulação desta prática com o chamado padrão periférico de crescimento urbano;
4. Políticas habitacionais implementadas;
5. Análise da produção capitalista da moradia, assim como a relação entre os preços da terra e o uso do solo.

2.3 Sistemas Construtivos no Brasil

O ser humano sempre sentiu a necessidade de suprir as suas prioridades mais fundamentais. Dotado de uma grande curiosidade, foi realizando ações progressivas que terminaram por tornar seu mundo mais confortável. A procura por sustento e a garantia de alimento o posicionou territorialmente em terras aptas para a agricultura fomentando sedentarismo (MATEUS, 2004).

Essa procura de sustento deu início a civilização, que se crê ter começado na Mesopotâmia, região compreendida entre os rios Tigre e Eufrates, (GÊNESIS, 2:10-15). Desde lá, se implantou no coração do homem a necessidade de procurar refúgios, resistentes e perduráveis no tempo, sendo isto o que levou a evolução das construções desde os de blocos de terra amassados, passando pela alvenaria seca de pedra, entre outros, cujo fato é constatado com os rastros encontrados até atualidade. Foi nesse crescimento construtivo que foram nascendo e ressurgindo novos materiais que foram incorporados nas construções; os mais destacados foram; a pedra, a madeira, e por último o ferro (FERREIRA, 2014).

Da inclusão de novos materiais construtivos passamos no decorrer do tempo à preocupação do sobre carregamento e os custos sobre a natureza e demais espécies do planeta, em uma corrente que só gerará destruição das fontes de recursos naturais e ruína dos ambientes construtivos. Von Weizsacker *et al.* (1997), estimavam que a reserva

ambiental de materiais não renováveis só atingiria uma vida útil de 50 anos, na nossa biosfera.

Esta terrível previsão fez no mundo a necessidade de implementar novos e melhores sistemas construtivos os quais segundo Greven e Follmann (2007), foram se tornando a cada vez mais imprescindíveis para o desenvolvimento evolutivo da construção civil, que se tornou focada em fornecer um maior rendimento construtivo no menor tempo possível, gerando uma consequência positiva; a transformação dos canteiros de obra num abrigo para o desenho e construção de sistemas direcionados a um uso eficiente das matérias primas, a não geração de desperdício e o consequente impacto ao meio ambiente.

No Brasil, segundo FILHA *et al.* (2009) as construções convencionais são gestadas por procedimentos de elevados custos, planejamento pobre e uma deficiência qualificativa dos trabalhadores, baixa qualidade dos materiais, altas quantidades de resíduos gerados, desenvolvimento de afetações ao desempenho ambiental.

Com este panorama do crescimento construtivo brasileiro e comparando este com os de países como os Estados Unidos e os da Europa, é notória a grande necessidade de desenvolvimento em eficácia, produção de novas tecnologias e modelos, assim como o incremento do nível construtivo em direção da sustentabilidade (FILHA *et al.*, 2009).

A atualização de metodologias construtivas procura um melhor desempenho econômico, assim como eficácia, tomando como referência a grande competitividade deste mercado, que cada dia mais precisa de novas estratégias de implantação (ALMEIDA, 2009). Nessa luta das empresas por subsistir no mercado, tem levado aos processos inovadores ao seu auge, com a motivação do crescimento das técnicas industrializadas, cuja qualidade não é outra do que criar componentes mais eficazes, que gerem grandes benefícios ao processo produtivo (TEMOCHE - ESQUIVEL *et al.*, 2006).

2.4 Construção de Moradias no Brasil

Sabendo que em relação à economia Brasileira uns dos medidores mais importantes é, o Produto Interno Bruto (PIB), é de vital relevância destacar que a construção civil não está isenta de participação nele; e é por isto que (FERREIRA, FRANCO, 1998) afirmaram: “Mudanças de cenário, implicaram em redução nesta participação, indicando a necessidade de mudanças no sistema de produção, em particular, do subsetor edificações”.

Este é o momento em que a construção civil está em pleno exercício, com um déficit de pessoal qualificado e matérias-primas. Uns dos maiores problemas da construção civil é que esta subtrai de 40 a 70% dos recursos naturais do planeta, com destaque em produtos como, o cimento o qual supera ao consumo alimentício do ser humano, ficando atrás apenas do consumo da água. Per capita são gerados 500 quilos de resíduos de obras, que geram um aproximado de 3,5 toneladas anuais (AGOPYAN, 2013). Ao critério deste autor, são estas alarmantes cifras, as que colocam a construção civil como a força produtiva mais poluente do planeta.

É de vital importância à procura de sistemas que incluam o conceito de sustentabilidade, nos setores; econômico, social e ambiental. Os sistemas construtivos dos quais se dispõem no mercado brasileiro são: o convencional, os de terra (taipa, adobe), os de estruturas leves como o light steel frames, wood frame que trabalha com madeira e o concreto autoclavado. Estes últimos três propõem orçamentos razoáveis e melhorias em relação ao impacto ambiental, otimização de materiais e diminuição do tempo de fabricação e construção (MATEUS, 2004; GOMES, LACERDA, 2014).

Nesta evolução da moradia, cada dia novos e mais eficientes sistemas vem se implementando e é nessa direção que estão caminhando os investidores do século XXI, na implementação de **Microapartamentos ou apartamentos tipo *Studio***; os quais compreendem áreas úteis inferiores a 40 m² (BARRETO, 2016). Segundo (PANE *et al.*, 2019) os **Microapartamento** no ano 2017, atingiram uma redução da área útil significativa, materializada no projeto da VN Nova Higienópolis, cuja área é de 10 m² e estão localizados na cidade de São Paulo; estes foram denominados como os “menores apartamentos de América Latina” e atualmente são instrumento de inspiração para outras construtoras, assim como da presente pesquisa.

2.5 Déficit de Moradia

Segundo o Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos ONU – HABITAH (2010), as condições de progresso das cidades em países de América Latina e o Caribe, tendo grande desigualdade assim como ações concretas dos governos para a redução da pobreza. Sendo o meio ambiente desconsiderado e a problemática urbana acrescentada e atingida nas áreas de transporte público, na produção de moradias de baixa renda que garantam conforto e acessibilidade financeira; os urbanismos e

adequação de residências precárias assim como crescimento na inclusão dos serviços de infraestrutura em áreas de grande concentração populacional e de bairros populares.

Na ótica de Azevedo (1996) a melhora das condições habitacionais dos mais pobres não necessariamente está relacionada com as quantidades de habitações produzidas. Sendo estes programas implementados pelo governo em muitos casos irrealizável se não são consideradas as variáveis de serviço públicos fundamentais como energia, transporte, adução e esgoto. O termo déficit habitacional é interpretado habitualmente como um problema setorial, mais só disfarça o intrincado problema, baseando-se de uma contagem estandardizada, ambígua e fora do tempo.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2015) mostrou no seu informe que o déficit habitacional estimado para o ano 2015, foi resultado da consideração do déficit total e percentual incluindo domicílios particulares permanente e improvisados, segundo a sua ubiquação em área rural e urbana; regiões geográficas, unidades da federação e regiões metropolitanas.

A estimativa mostrada indica que 6,355 milhões de domicílios representa o déficit habitacional brasileiro de 2015 e cuja distribuição está constituída por 5,572 milhões (87,7%) pertencem às zonas urbanas e 783.000,00 unidades fazem vida na área rural. Considerando os domicílios particulares permanentes e improvisados do país, o déficit habitacional se encontra em 9,3% IBGE (2015). Na Tabela 2 é mostrada a estadística por situação do domicílio e segundo regiões geográficas da zona norte, assim como distribuição total e urbana, referente ao ano 2015, onde é destacada a cidade de Manaus como a segunda com maior déficit habitacional, depois da cidade de Pará.

Tabela 2. Déficit Habitacional por situação do domicilio e segundo regiões geográficas da zona norte assim como distribuição total e urbana – 2015.

Especificação	Total	Urbana	Rural	Total Relativo
Norte	645.537	504.966	140.570	12,6
Rondônia	50.924	46.284	4.640	8,6
Acre	27.238	19.906	7.332	11,7
Amazonas	151.658	134.950	16.707	14,5
Roraima	22.101	20.075	2.026	14,2
Pará	314.643	217.128	97.515	13,3
RM Belém	101.835	99.434	2.400	15,3
Amapá	29.248	27.556	1.692	14,2
Tocantins	49.726	39.068	10.658	9,9

Fonte: Dados básicos: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), 2015.

Considerando as políticas governamentais para dar solução à problemática complexa do déficit habitacional, Rufino (2015) expressou que o Programa Minha Casa Minha Vida, apresentam algumas deficiências para a solução integral do mesmo. Os loteamentos das habitações são considerados distantes do centro urbano para abaratar os custos do terreno; isto termina prejudicando os moradores de baixa renda pelas grandes distâncias que estes têm que realizar para ter acesso a serviços públicos básicos, comércio e trabalho.

Na criteriosa opinião de Rufino (2015) os setores urbanos são outorgados ao setor privado para o seu desenvolvimento, marcando uma tendência de segregação socioespacial e propiciada pelo Programa Minha Casa Minha Vida em apoio a teoria de crescimento industrial desejadas por grandes empresas, deixando por embaixo as condições locais e reduzindo o modelo periférico de crescimento das cidades.

O programa habitacional Minha Casa Minha Vida é deficiente ao não garantir o sincronismo entre as políticas urbanas e sociais. Uma das razões deste déficit se deve que o Banco Nacional de Habitação (BNH) considera ao problema habitacional no Brasil desde uma perspectiva quantitativa numérica (MARICATO, 2009).

Segundo Castelo (2014), no ano 2014 o Brasil já contava com 68,4 milhões de famílias e devia ganhar 16,4 milhões de novas moradias dos quais 10 milhões seriam dependentes dos programas políticos de governo para habitações, sendo esta população as que percebem renda até 3 salários mínimos. Tomando como base que o ano 2014, teve um déficit aproximado de 5 milhões de domicílios, no ano 2024 estará rondando pelo 20 milhões o déficit de habitação segundo o estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas. Na Figura 6, estão sendo apresentados os resultados do estudo realizado pela fundação, mostrando o que foi realizado até o ano 2014, o investimento anual necessário e o que falta por fazer numa projeção estatística até o ano 2024.

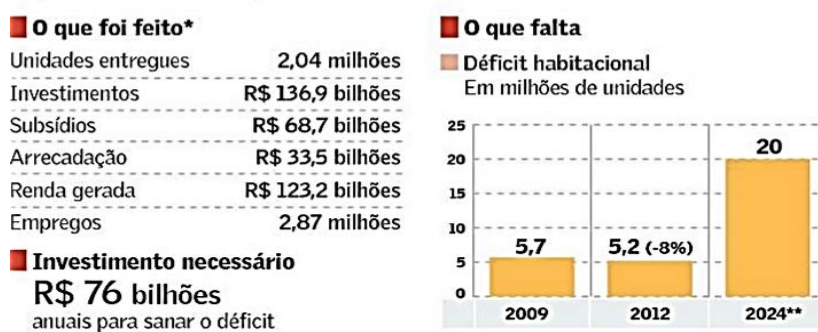


Figura 6. Impactos do Minha Casa, Minha Vida. Baseado em impactos diretos e indiretos.

Fonte: Projeção da FGV, 2014.

2.6 Sistemas Construtivos com Painéis

O Brasil fornece uma escassa gama de sistemas construtivos industrializados, no entanto, em algumas outras latitudes do planeta como Chile, Estados Unidos, China e Japão, são fornecidas tecnologias das quais o Brasil carece. Se falamos dos sistemas construtivos com os quais o país conta a nível nacional quanto regional, estes carecem de normas técnicas, impedindo que fatores de medições possam ser implementados na hora de ser avaliados em relação aos outros sistemas fornecidos pelo mercado. No entanto, são permitidos o uso de alguns indicadores indicados pelo Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), assim como também o Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) como indicativos dos critérios a serem avaliados (DE CAMPOS, 2012).

2.6.1 Sistema de Painéis Autoportantes

Na atualidade este sistema de painéis se encontra em auge. Este sistema consta de uma alvenaria de cerâmica, colocada na periferia da estrutura habitacional, os quais são preenchidos de concreto armado, que dão formas aos painéis. Segundo os critérios de Domarascki, Fagiani (2009) "os painéis verticais formam as paredes da edificação e apresentam capacidade de receber as cargas da cobertura", este tipo de painel sai do processo de fabricação com os vãos das portas, janelas colocadas, instalações hidro sanitárias e elétricas, agilizando todo o processo construtivo só no aguardo das instalações em obra e o polimento dos últimos detalhes.

A critério de Faria (2008), o acoplamento painel – painel é realizado pela solda de barras e chapas de um tipo determinado de aço. No ano seguinte, o mesmo autor afirmou que o referido sistema pode ser implementado em habitações de um e dois andares. Entre as vantagens destacadas se encontram; minimização do custo o valor, implementação de mão de obra qualificada, execução em tempo record, otimização de matérias primas, planificação e seguimento simples, arremate de qualidade.

Na perspectiva de Faria (2008), a factibilidade de implementação deste sistema e sua viabilidade econômica, requer de no mínimo uma extensão de superfície de 10 mil m², sendo esta área o equivalente a 250 moradias tomando como referência o modelo social comumente implementado, na Figura 7-A, se evidencia a implantação dos alicerces

das moradias feitas em série, na Figura 7-B se observar o projeto concluído de uma moradia.

A**B**

Figura 7. Imagens dos painéis autoportantes. A- Fabricação de painéis, B - Painéis prontos.

Fonte: <http://www.jetcasa.com.br/obras/42/>

2.6.2 Sistema Light Steel Framing (LSF)

O conhecido sistema industrializado de construção a seco LSF é amplamente implementado em diversos países da Europa, Norte América, Centro América e Sul América dentro da qual se encontra o Brasil. A base dessa aceitação mundial se deve fundamentalmente a que este sistema fornece um sistema estrutural leve, constituído de aços de perfis galvanizados, os quais dão o suporte a infraestrutura e superestrutura; acoplados em placas internas e externas, isolamentos térmicos e acústicos e revestimentos (FLASAN, 2013).

As qualidades que destacam neste tipo de sistema são: estruturas com aparência de obra convencional, sustentabilidade, excelente acoplamento tecnológico, assim como, resistência e leveza em relação ao padrão construtivo habitual. Neste sistema, também são fornecidas soluções arquitetônicas de diversas índoles; edificações até sete níveis, habitações, fachadas, prédios escolares e hospitalares, andar intermediário e algumas variantes deles. Na Figura 8 nota-se a implementação do sistema construtivo numa casa de dois níveis. Na Figura 8-A é mostrada a estrutura o esqueleto da moradia assim como a instalação dos sistemas de vedação, no entanto na casa apresentada na Figura 8-B nota-se o nível de detalhamento ao que este tipo de sistema permiti atingir.



Figura 8. Sistema Light Steel Framing. A, sendo instalado, B – Sistema pronto, resultado final.

Fonte: www.metalica.com.br.

Pensando em sistemas construtivos comuns, as atividades de logística na obra são as responsáveis da geração de resíduos de matérias primas assim como de pessoal, (VIVAN *et al.*, 2010). No pensamento criterioso deles, a implementação deste estilo construtivo é indispensável levar em conta considerações sobre a edificação da estrutura na obra, dado que gerará uma grande redução da logística de transporte e acarreo. O acontecer está ligado à concordância entre o projeto e todos os detalhes construtivos e de execução, porém este tipo de sistema é discordante com modificações improvisadas no canteiro de obra, sendo um fatível desencadeante de despesas.

2.6.3 Sistema PVC e Concreto

O Policloreto de vinil (PVC) obteve no ano 2005 um consumo mundial de 35 milhões de toneladas, sendo sua eficiência produtiva anual estimada de 36 milhões de toneladas. Brasken (2006) expressou que desse consumo um 21% lhe correspondeu aos Estados Unidos, 20% a China, Europa Ocidental 18%, o Japão 5%, e o Brasil 2% dessa quantia mundial. Brasken (2006) aportou informações sobre a composição percentual de materiais constituintes do PVC, discriminando-lhes da seguinte forma; materiais oriundos do mar (sal-gema) 57%, materiais de fontes não renováveis como o petróleo e gás 43%; dos quais 0,25% corresponde e consumido na manufatura e fabricação do PVC. A razão de consumo de PVC e baseada na pouca demanda energética e geração de desperdícios no processo de elaboração, assim como também a redução significativa das taxas econômicas de operação e manutenção. (BRASKEN, 2006).

O sistema de PVC e concreto está desenhado aproveitando todas as características antes mencionadas do PVC na forma de elementos estruturais de baixo peso e modulares

de PVC os quais são recheados com concreto e aço, o que em resumo transforma o conjunto em um material muito resistente e que se prolonga no tempo depois de executado por mais de 20 anos. Os elementos preenchidos apresentados na Figura 9 passam a constituir uma vez feitos, as paredes de encerramento, sobre as quais se poderá colocar um revestimento ótimo com minimização de resíduos dos materiais, quanto da logística e os custos das análises de preços (BRASKEN, 2006).

No menos importante é mencionar os benefícios que segundo Domarascki e Fagiani (2009) dizem que este sistema construtivo fornece alto desempenho no controle dos insumos, equipes e pessoal, menos tempo de execução, assim como acabamento prolixo, redução considerável de resíduos, favorece o reuso, se mantém harmonioso com o clima do Brasil, goza de leveza em relação ao sistema rudimentar do mercado, altamente eficiente na não propagação de fungos, bactérias e outras pragas, os reagentes químicos, fornecem isolamento térmica e acústica, resistente ao choque assim como impermeável a gases e líquidos, não propagam o fogo e tem ótimos resultados de acabamentos. Através da Figura 9 é mostrado o içamento deste sistema, assim como as opções disponíveis para instalações elétricas e abertura de acessos, além da forma correta de fazer o preenchimento.

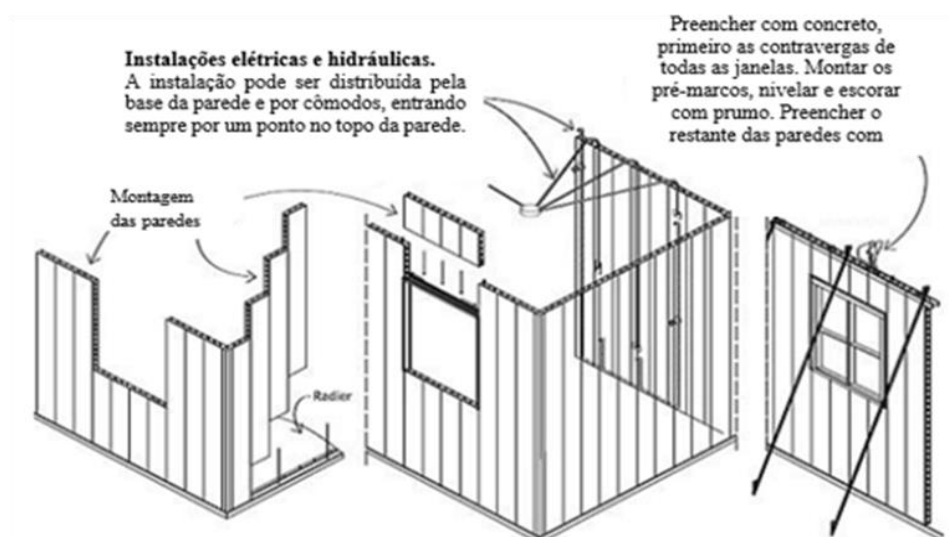


Figura 9. Sistema construtivo PVC e Concreto – Instalação em obra tipo habitação.

Fonte: <http://techne.pini.com.br>

Segundo Domarascki e Fagiani (2009) as placas de PVC fornecem alguns outros benefícios como, capacidade de obter um 7% de mais espaço interior devido à propriedade de espessura das placas. Este sistema reduz muito as operações preventivas e facilita os

acabamentos. Na Figura 10 podem ser observados os detalhes construtivos mais importantes e o tipo de acabamento que o sistema permite realizar.



Figura 10. Sistema construtivo PVC e concreto.

Fonte: <http://engenhariaarquitectura.com.br>

Segundo Farias (2008) as primeiras construções realizadas no Brasil com esta técnica construtiva permitiram a materialização de 130 habitações no condomínio de nome Canoas (RS), no período compreendido de 2001 a 2002; a estrutura de perfis foi fornecida pela Argentina, pelo fato que nessa época ainda não eram fabricados no país. Cichinelli (2013) afirmou que foram realizadas mais de 70 mil m² em obras de diversos setores aplicando este método construtivo, dentro dos quais as habitações figuravam como opção rentável de modelo mais comum. Também mencionou que, o rendimento para uma obra tipo de 43m² tinha um rendimento de 2,41 horas-homem por m² em um tempo record de construção de 12,9 dias. Sendo que, a instalação e concretagem do sistema podem ser realizadas por quatro pessoas em dois dias de trabalho.

2.6.4 Painéis de Ferrocimento

Phalke e Gaidhankar (2014) consideraram o Ferrocimento como um tipo de concreto armado de secção fina, usualmente elaborado de argamassa de cimento hidráulico reforçado com camadas pouco espaçadas entre si; de malha de arame de tamanho relativamente pequeno. A malha pode ser de materiais metálicos. Nervys na Itália, em 1940 foi o primeiro a implementar o termo ferrocimento, por ser este um

compósito de Ferro (ferro) e cimento (argamassa de cimento); no mundo todo é conhecido como "*Ferrocement*". (KHANDELWAL e DESHMUKH, 2016).

Segundo Khandelwal e Deshmukh (2016) entre os tipos de malhas implementáveis para a elaboração de fibrocimento, estão; a malha hexagonal e a malha eletrossoldadas. Assim mesmo, estes afirmaram que não existe área da engenharia civil em que o ferrocimento não seja implementado, em destaque encontram-se as seguintes: estrutura de retenção de líquidos, estrutura de retenção do solo, componentes de construção, estruturas espaciais de grande tamanho, produtos pré-fabricados ferrocimento, construção de estruturas de ferrocimento. Os passos na construção de estruturas ferrocimento são: planejamento, fabricação, amarração, argamassas, cura, manuseio e montagem.

Segundo Walraven e Spierenburg (1985) as aplicações para Ferrocimento de primeira categoria, requerem o uso de material de alta qualidade e supervisores treinados para atender bons desempenhos e ótimos acabados, no entanto para obras de menor porte a categoria, a quantidade necessária de qualidade pode ser obtida usando mão-de-obra não qualificada. Sendo esta última a mais implementada em países em desenvolvimento, onde norteia-se o uso e implementação de materiais de baixo custo disponíveis no setor comercial. Um desses materiais de baixo custo, de fácil manipulação e aceso exequível na grande maioria desses países é a malha de arame hexagonal.

A malha de arame hexagonal é conhecida comercialmente como malha de galinheiro e é fabricado a partir de fio trefilado a frio, que é malha em forma de padrões hexagonais. Este tipo de malha de arame implementada no ferrocimento, atende a uma variação do diâmetro entre 0,5 mm -1,0 mm e as aberturas da malha variam de 10 mm a 25 mm. Estes tipos de malhas passam por o processo de galvanização, normalmente após a tecelagem, para serem protegidas contra a corrosão. Uma seção típica de uma malha de arame hexagonal é mostrada como segue na Figura 11.

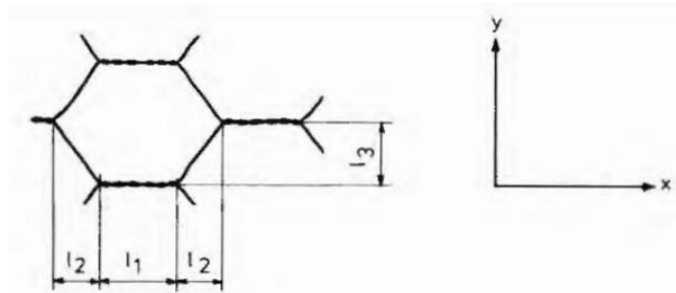



Figura 11. Malha Hexagonal (Malha de Galinheiro).

Fonte: Walraven & Spierenburg, 1985.

Em relação as propriedade físicas mais ressaltantes das malhas de galinheiro são as apresentadas segundo (ANTUNES e MASUERO, 2016) através da Tabela 3.

Tabela 3. Propriedades físicas da malha hexagonal.

Tipo de Malha	Malha	Diâmetro do fio	Largura/Comprimento (rolo)		Tensão no fio	Peso mínimo do Zinco
	Pol	mm	m	m	MPa	g/m^2
	½ "	0,56	1	50	40-50	Galvanização Leve, 20


Fonte: Antunes & Masuero, 2016.

Os painéis de ferrocimento são constituídos por paredes de uma argamassa finas que é produzida pela mistura adequada de cimento, areia, água e camadas de malha de arame. O ferrocimento é conhecido também como argamassa reforçada, sendo implementada em diversos usos como; na produção de elementos que requerem de uma pequena espessura, alta durabilidade e resiliência (CHANDRASEKHARRAO *et al.*, 2012).

Cada vez mais se faz necessário o desenvolvimento de elementos estruturais leves na construção que tenham uma boa resistência, menor peso e que possam garantir resistência térmica. As propriedades mecânicas do ferrocimento são determinadas por o tipo de cimento, a dosagem, o tipo de malha ou arame de reforço e as camadas consideradas; assim como a sua geometria, os agregados constituintes. Sendo estes parâmetros também influentes na hora de analisar a ductilidade, rachaduras e resiliência do ferrocimento (NOOR *et al.*, 2007).

As telas inoxidáveis (AISI 304) são implementadas em peneiras (de aro, vibratórias, granulométricas), arejador de pia, placas filtrantes de filtros industriais, grades de carros, caminhões e ônibus; cestos industriais, esquadrias metálicas, mosquitoireiro. Estas malhas têm as seguintes características técnicas: abertura: ¾ pol a 2 pol., diâmetro: 3,00 mm, 1,00 mm, abertura: 19 mm, 11,70 mm, área aberta (%): 75; 84; Em relação às características físicas deste tipo de malha metálico, são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Propriedades físicas da Malha de Aço.

Tipo de malha	Abertura do tamanho da malha / tamanho (mm)	Densidade (g/cm ³)	Tensão no fio (MPa)	Tensão Tração (MPa)	Modulo de Elasticidade (GPa)
	1.2–7.27	7.8	500	750	200
	0.9–5.45		550	800	
	0.8–4.28		550	800	
	0.65–2.17		600	1000	

Fonte: Wafa & Fukuzawa, 2010.

2.7 Sistemas de Painéis Sanduíches

2.7.1 Painéis sanduíche

A ASTM (American Society for Testing and Materials) define uma estrutura sanduíche da seguinte forma:

“A structural sandwich is a special form of a laminated composite comprising of a combination of different materials that are bonded to each other so as to utilize the properties of each separate component to the structural advantage of the whole assembly”. Assim, o projeto de uma estrutura sanduíche não é apenas geométrico, mas sim um processo integrado de dimensionamento e seleção de materiais (ZENKERT, 1997).

Segundo Vinson (2001) o uso de estruturas sanduíche está crescendo vertiginosamente no mundo. A diversidade de benefícios, o desenvolvimento de novos materiais com solicitações de alto desempenho, baixo peso estrutural, dão pé para garantir que a construção em sanduíche continuará a está em demanda e contínuo crescimento. As equações que descrevem o comportamento de estruturas sanduíche são geralmente compatíveis com as equações desenvolvidas para estruturas de paredes finas de material compósito, simplesmente empregando as propriedades apropriadas para o plano, flexão, e quantidades de rigidez transversal ao cisalhamento.

Na maioria das vezes existem duas faces, idênticas em material e espessura, que resiste principalmente ao plano e lateral (flexão) cargas. No entanto, em casos especiais, as faces podem diferir em orientação de espessura, materiais ou fibra, ou qualquer combinação dentre os três. Isso pode ser devido ao fato de que uma das faces é o principal transporte de carga, baixa temperatura da estrutura enquanto a outra face pode ter que suportar uma temperatura elevada, ambiente corrosivo, etc. Assumindo um núcleo

uniforme, o sanduíche formado é considerado como sanduíche simétrico de plano médio, e o um sanduíche assimétrico de plano médio, (VINSON, 2001).

Nas edificações, são implementados painéis tipo sanduíches com faces de concreto a argamassa, podendo ser portantes ou não, servindo ainda para isolamento térmico – acústico e para vedação. Em relação à painéis da mesma espessura total, em geral, o peso próprio é menor com a presença do núcleo isolante. O seu uso se destaca como divisórias internas e externas, com uma grande facilidade de acoplamento a diversos tipos de elementos como são: estruturas metálicas, de concreto, alvenaria. Este tipo de painel pode ser pré-moldado ou moldado no local da obra.

Núcleos aligeirados proveem de benefícios em relação ao transporte, mais não é isso o que condiciona a seleção do material do núcleo. Esta escolha será baseada tomando em consideração o uso da estrutura, facilidade construtiva, assim como a capacidade produtiva do setor para o fornecimento das matérias primas.

As argamassas das faces podem ser interligadas por conectores (*shear conector*) de diferentes características. Sendo que o núcleo pode ou não participar da transferência de esforços. No caso do núcleo não participar na transferência de esforços, esta fica por conta dos conectores.

Entre a vasta gama de materiais compósitos destacam-se os painéis sanduíches, formado por uma peça única de tri camada sendo que, duas dela são finas, fortes de um material denso e rígido cuja divisória é um material de baixa densidade, no qual pode possuir resistência inferior que as camadas ou lâminas que o separam. Existe uma ampla variedade de estilos e tipos de painéis sanduíche, produto da associação de distintos formatos em apresentados pelo material de núcleo. Muito além da grande variedade de misturas e combinações presentes para este tipo de painel, novas tecnologias e novas configurações estão presentes a cada dia no mercado (ALLEN, 1969). A constituição de um painel sanduíche de argamassa é apresentada pela projeção da Figura 12 (A- Observa-se as faces constituintes de lâminas e núcleo em forma de favos de mel com implementação de adesivos. B- Finalização do painel depois da junção dos elementos constituintes).

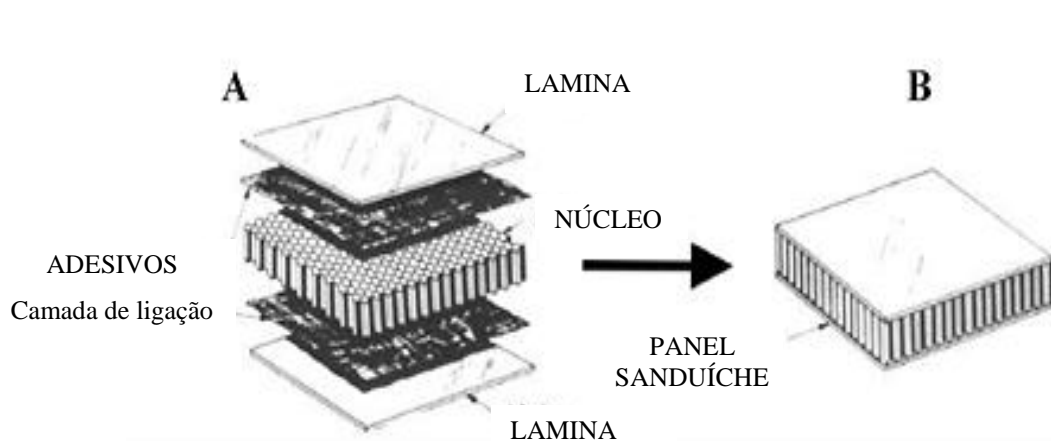


Figura 12. Painel tipo sanduíche. A- Constituintes tipos e B- Painel constituído.

Fonte: modificado de - <http://aerospaceengineeringblog.com/sandwich-panel/>

Segundo Gloria (2015) as faces de um painel sanduíche podem ser de diversos materiais fortes e duradouros, como é o caso do aço, alumínio, madeira, argamassa e concreto. As faces devem providenciar resistência ao vento, à flexão, a corrosão e ao fogo; assim como fornecer estanqueidade ao vapor de água e a água. Através da Figura 13-A, é apresentada a secção transversal de um painel sanduíche com faces de argamassa e núcleo de EPS, uma secção completa do painel sanduíche se observa na Figura 13-B.

Em relação ao miolo do painel sanduíche, comumente conhecido como núcleo, são consideradas espessuras maiores que as de as faces, com o intuito de aumentar a inércia do painel sem acrescentar massa volumétrica. Na Figura 13-C pode-se observar efeito da espessura do núcleo sobre a rigidez na flexão de um painel sanduíche e as diferenças entre um painel de espessura (t) com relação a outro de espessura ($4t$), assim como com apenas um incremento do 6% do peso a rigidez na flexão é acrescentada 37 vezes mais o valor do painel com espessura (t). Através da Figura 13-D se apresenta um método simples de classificação das faces do painel sanduíche, em relação à espessura do seu núcleo.

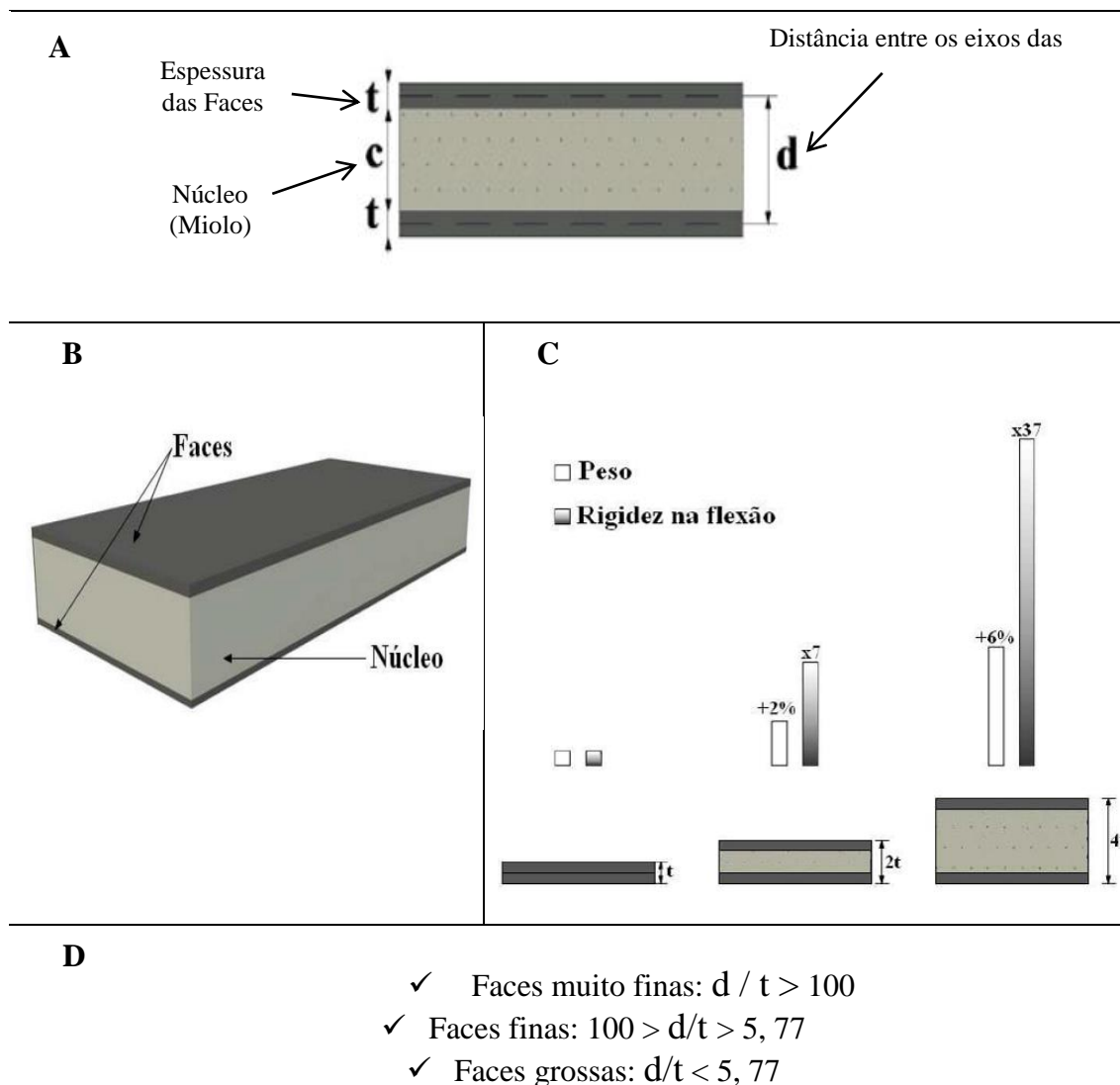


Figura 13. A- Seção transversal de um painel sanduíche. B- Painel tipo sanduíche de argamassa e núcleo de EPS. C- Relação de peso e rigidez na flexão com a espessura do painel sanduíche. D- Relação faces com espessura do painel sanduíche. Fonte: Gloria, 2015.

Os núcleos podem ser de materiais diversos como vidro, poliuretano, borracha e também os procedentes de rejeitos resultantes da industrialização por mecanismos de reaproveitamento e alguns outros como o concreto celular, gesso ou favo de mel. Eles trabalham para garantir uma separação constante entre as placas faces, assim como se opor ao cisalhamento entre estas (GLORIA, 2015).

Existem também sistemas que implementam painéis sanduíches elaborados em resinas plásticas e fibra de vidro, carbono ou aramidas, conhecidos pela sua resistência mecânica e química, além de uma ampla flexibilidade na hora de fazer desenhos, fazendo destes sistemas modulares, compósitos e 100% industrializados (ENTREPLANOS, 2017). Um projeto modular, inovador que ganhou a primeira posição do prêmio da JEC

Innovation Awards 2018 de Paris - França, na Categoria “*Smart Cities*” (Cidades Inteligentes), um cubo básico em perspectiva onde se observa o núcleo úmido com elevados *standars* de acabamentos como é esboçado através da Figura 14. (TÉCHNNE, 2018).

Está fabulosa tecnologia foi apresentada na Argentina com resultado da articulação das tecnologias de Argentina, Brasil e França. O projeto foi realizado pela *G12 Innovation* do Brasil para a empresa Argentina MC, quem contratou a empresa para a elaboração do projeto que desenvolveu uma solução única e integral para as áreas de úmida das habitações residenciais; cozinha, banheiro e área de serviço. O alvo principal deste sistema é facilitar a construção de habitações residenciais, segundo Quiroga (2017). As vantagens deste sistema radicam; na redução significativa dos tempos de implantação, resistência, durabilidade, alto desempenho, grande acoplamento a diversos projetos assim como variados níveis de acabamentos o que é possível pelos tipos de materiais constituintes, assim como a implementação de quatro processos de fabricação (G12 INNOVATION. 2017).

Outros benefícios do sistema – modelo básico apresentado estão na leveza em peso do módulo que atinge aproximadamente 1000 kg, distribuídos em uma área de 7,41 m²; pelo fato do sistema ser completamente pré-fabricado; isto reduz em até 60 dias os tempos de execução de obras, dando uma maior produtividade e crescentes benefícios ao ciclo financeiro (TÉCHNNE, 2018). Este projeto é o resultado da participação da participação ativa das empresas: Argentina – *Materiales Compuesto* (MC). Brasileiras – G12 (responsável pelo projeto), Purcom e AJB. Francesa – *Composite Integrity* (QUIROGA, 2017).



Figura 14. Acabamento final de núcleo úmido, modelo básico.

Fonte: <https://www.lanacion.com.ar/2094887-la-innovacion-aplicada-a-los-sistemas-de-construccion>

2.7.2 Painéis sanduíche de EPS e argamassa

As areias são agregados de grande importância na dosagem das argamassas, já que no estado fresco, influência nos parâmetros de trabalhabilidade, absorção de água, assim como de aglomerantes. Segundo Angelim *et al.* (2003) seu poder de incidência sobre as trincas nas estruturas assim como na porosidade e resistência a aderência, é direto.

De acordo com Mineropar (2004), entre as funções da areia pode citar que; é um material de baixo custo que pode ser utilizado como agregado, dentro de um aglomerante como o cimento. Assim como distribuição das partículas que garantam resistência ao desgaste mecânico são infiltrações por intemperismos; mudanças na umidade da argamassa e de diferencial de volume durante a pega.

Formadas através da mistura de materiais básicos utilizados na construção, as argamassas são compostas por cimento, cal, areia e água. A água é um dos componentes mais importantes sem a qual a argamassa não pode ser produzida. Não deverá conter nenhuma substância, dado que pode ser prejudicial ao processo de hidratação do cimento e durabilidade da argamassa.

Conforme a NBR 13.529 ABNT (2013) existem quatro tipos de argamassa quanto à produção: a dosada em obra, a industrializada, a dosada em central e a semipronta. As argamassas industrializadas, dosadas em central e semipronta já vêm com sua composição e dosagem definidas sendo necessário apenas seguir as recomendações do fabricante para o seu emprego. Nas argamassas dosadas em obra, antes da mistura, é preciso definir alguns fatores, como o tipo da base a ser aplicada, o tipo de acabamento, as condições de exposição do revestimento, as condições de produção e o custo. Antes do emprego é necessário realizar testes para comprovação de que o traço adotado é o ideal para o propósito da obra.

Para garantir suas funções adequadamente as propriedades da argamassa precisam estar dentro dos parâmetros exigidos pelas normas brasileiras vigentes. A continuação na Tabela 5, são apresentadas as propriedades no estado fresco e endurecido.

Tabela 5. Propriedades da argamassa em seu estado fresco e endurecido.

ESTADO FRESCO	ESTADO ENDURECIDO
Trabalhabilidade	Aderência
Aderência inicial	Capacidade de absorver deformações
Retenção de água	Permeabilidade
Massa específica e teor de ar incorporado	Resistência mecânica
Retração	Durabilidade

Fonte: Baía & Sabbatini, 2008.

Na opinião de SILVA (2003) a adesão inicial da argamassa à base está relacionada com a reologia da pasta aglomerante, sendo influenciada pela trabalhabilidade da argamassa e pela textura ou porosidade da base, sendo também afetada pela presença ou não de tratamento prévio, com o objetivo de melhorar a superfície de contato entre estes materiais. A Capacidade de adesão da argamassa ao substrato capaz de resistir às tensões normais e tangenciais junto à base. A aderência depende do tipo da base e sua limpeza, do modo como o revestimento será executado e das propriedades da argamassa no estado fresco. A NBR 13.749 ABNT (2013) estabelece o limite de resistência de aderência à tração para o revestimento de argamassa, podendo ser medido através do ensaio de arrancamento à tração.

Segundo ABNT NBR 11.949:2007 o Poliestireno Expandido para Isolação Térmica, deve considerar a massa específica aparente do EPS de Classe F, a qual oscila entre 13 e 25 kg/m³. Em relação a isto, a Comissão Setorial de EPS da Abiquem, disse que essa massa específica guarda estreita correspondência com outras propriedades do material como a sua resistência à compressão. O acréscimo na densidade é sinônimo de aumento das resistências mecânicas: compressão, cisalhamento e flexão. E se o incremento for da massa específica do EPS então serão observados beneficiamento nos padrões indicadores de condutividade térmica e absorção de umidade. Pensando na qualidade e proteção ao meio ambiente será necessário considerar unidades de maior espessura, as quais obstaculizam o passo dos raios solares fornecendo assim aumento do isolamento térmico.

O EPS recomendado pela Comissão Setorial de EPS da Abiquem, o da classe F. Decisão que alicerça na composição deste EPS com materiais que obstaculizam o progredir do fogo, colocando estes como um material solúvel na presença de temperaturas

elevadas ao redor de 70°C. A solubilidade deste material na presença de fogo é o que impede seu uso só como componente estrutural. Sendo considerado em sua totalidade como material para ser inserido dentro de estruturas construtivas convencionais como lajes ou painéis. Na Tabela 6, podem-se observar as características exigíveis para o EPS.

Tabela 6. Característica exigíveis para o EPS.

Propriedades	Norma	Unidade	Tipos de EPS						
			Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6	Tipo 7
	Método ensaio								
Densidade aparente	NBR 11949	kg/m ³	10	12	14	18	22,5	27,5	32,5
Densidade aparente	NBR 11949	kg/m ³	9	11	13	16	20	25	30
Condutividade térmica	NBR 12094	W/(m.k)	–	–	≤0,042	≤0,039	≤0,037	≤0,035	≤0,035
Tensão por compressão	NBR 8082	KPa	≥33	≥42	≥65	≥80	≥110	≥145	≥165
Resistência mínima à	ASTM C-203	KPa	≥50	≥60	≥120	≥160	≥220	≥275	≥340
Resistência mínima ao	EN-12090	KPa	≥25	≥30	≥60	≥80	≥110	≥135	≥170
Flamabilidade (classe F)	NBR 11948	Material retardante à chama							

Fonte: NBR 11.752, 2016.

2.8 Solicitações dos Painéis Sanduíches

2.8.1 Conforto Ambiental

O conforto está ligado diretamente aos desempenhos acústicos e térmicos das edificações. Através da Figura 15-A, apresenta-se as orientações para um melhor conforto térmico e na Figura 15-B, as orientações para o conforto acústico. O Brasil possui oito diferentes zonas bioclimáticas, e para cada uma dessas há recomendações sobre dimensionamento, assim como, sombreamento das aberturas e condições gerais de ventilação (WENDLER, 2009). Os níveis de ruídos admitidos na habitação devem

proporcionar isolamento acústico entre o meio externo e interno, bem como entre unidades distintas de no mínimo 45 dB e complementarmente entre cômodos de uma mesma unidade de no mínimo 30 dB, sendo o conforto acústico diretamente proporcional a massa das paredes (WENDLER, 2009).

Uma estrutura habitacional deve cumprir com as solicitações térmicas, partindo desde o ponto do setor onde será realizada a construção conforme as condições climáticas. Portanto, é possível afirmar que há uma atuação, conduta, e desempenho que interage entre fachada, cobertura e peso, assim como também a resistência térmica dos materiais constituintes.

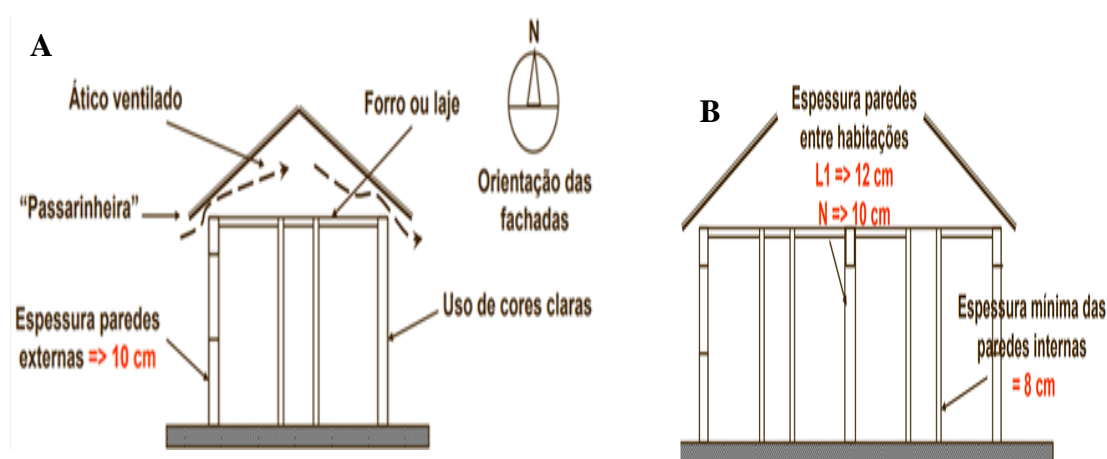


Figura 15. A- Recomendações do Conforto térmico / B- Recomendações para Conforto acústico.

Fonte: Wendler, 2009.

2.8.1.1 Conforto Térmico

São os materiais que recobrem as edificações os responsáveis pelo isolamento térmico das edificações, tal como a massa térmica para o armazenamento de temperatura (CÁRDENAS & FERNÁNDEZ, 2017). Os materiais com características de absorção de calor e armazenamento no seu interior gradativamente, são diversos. Entre suas características se destaca a necessidade de um a grande quantidade de energia para elevar a sua temperatura, por isto que no processo de condução de energia realizam a armazenagem de uma grande quantidade de calor que será expelido de forma gradativa em função da diminuição da temperatura externa. Os materiais com elevada massa térmica são os mais propícios para implementar em climas extremos, um caso aplicável

seria no deserto, onde as máximas temperaturas atingem valores de 40 °C durante o dia e 8 °C na noite.

Não menos importante é falar dos benefícios obtidos pelo uso e aplicação de sistemas de isolamento térmico, dentro dos quais se destacam; uma considerável economia energética como resultado das solicitações ambientais de aquecimento e arrefecimento interior; uma significativa diminuição do peso dos sistemas de vedação e as solicitações sobre a estrutura; redução da temperatura nas faces interiores das paredes, assim como, das probabilidades de afloramento de humidade produzida pelo fenómeno de condensação.

Quando se pensa em isolamento térmico o alvo sempre será dar conforto térmico aos seres vivos que faram uso interior de determinado ambiente. É por isto que as normas *A American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning* (ASHRAE), norma ANSI/ASHRAE 55/2004 e na NBR 15220-1:2005; fazem referência ao conforto térmico como estados mentais e de prazer psicofisiológico do indivíduo em concordância com as condições térmicas e ambientais existentes. Entre os fatores diretos que participam como variáveis físicas estão: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade relativa do ar e velocidade relativa do ar; também as variáveis próprias relativas a pessoas são de importância destacada: indumentária pessoal, atividades realizadas pela comunidade alvo; aspetos relacionados com a cultura, rotinas e hábitos, assim como os fatores psicológicos (CASTILLA *et al.*, 2010). O conforto também depende dos parâmetros construtivos e ambientais, assim como do fenómeno da condutividade térmica dos materiais a serem considerados para a construção são de especial interesse de estudo.

Segundo Incropera (2008) a condutividade térmica k , é uma propriedade física do material, considerada como um fenómeno de transporte que fornece uma indicação da taxa na qual a energia é transferida por meio de um processo de difusão térmica. Esta depende da estrutura física da matéria, atômica e molecular; assim como de seu estado, sendo um fenómeno que fornece informação sobre a capacidade de um material como, isolante térmico ou como transmita-te térmico, aspecto considerado amplamente nas normas brasileiras.

Além disso, a condutividade térmica pode ser considerada uma propriedade termo – física específica de cada material que quantifica a facilidade deste em conduzir calor, dependendo da temperatura, da pureza e das propriedades geométricas do material, segundo o Centro Brasileiro de Eficiência Energética - CB3E (2017). Este fenómeno foi analisado em 1.822 pelo conhecido cientista de origem francês J.B.J. Fourier. O autor

descreve que o fluxo de calor por unidade de área e diretamente proporcional ao gradiente de temperatura distribuído ao longo da espessura do material estudado (constante de proporcionalidade ou condutividade térmica). A condutividade térmica pode ser expressa como segue na Equação (1):

$$\frac{Q}{A} = -K * \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Condutividade térmica.

Onde:

dT/dx = gradiente de temperatura ao longo da espessura;

Q = fluxo de calor;

A = área de transferência;

k = condutividade térmica.

O sinal negativo da equação é uma referência para sinalizar que a transferência de calor acontece em sentido contrário ao do gradiente de temperatura. Os métodos de determinação da condutividade térmica (k) requerem do conhecimento do perfil de temperatura, assim como a quantificação simultânea do fluxo de calor; considerando que isto aconteça em regime permanente.

A Norma NBR 15.575:2013 está estruturada em seis partes e é uma excelente fonte para considerar fatores como: transmitância térmica (U), que representa o fluxo de calor transmitido por unidade de área e por unidade de diferença de temperatura segundo Roriz (2008) esta propriedade indica o desempenho em regime permanente das edificações, já a absorvância e a taxa de variação de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre a mesma superfície NBR 15.220-1:2005.

A NBR15.220-3:2005 faz recomendações em relação aos parâmetros de densidade de massa aparente, condutividade térmica, calor específico sem considerar o atraso térmico, nem o fator solar. Todos estes parâmetros são indispensáveis na determinação do tipo de material que fará parte de projetos arquitetônicos, sendo a sua escolha baseada nas normas de desempenho e nas recomendações bioclimáticas para cada região.

2.8.2 Resistência à flexão

A norma experimental (ASTM C 393:2000) descreve os métodos de ensaios de estruturas sanduíche de construção plana, em flexão a três pontos e em flexão a quatro pontos, bem como fornece o método de cálculo para obter as propriedades mais relevantes dos materiais das faces e do núcleo. Estes ensaios experimentais são um método normalizado para obter a resistência e rigidez à flexão do painel sanduíche sob condições ótimas de configuração de espécimes e de carregamento, esta norma permite estimar com precisão algumas grandezas relevantes para a avaliação da estrutura ensaiada, tais como:

- Resistência à flexão da estrutura;
- Tensão de corte no núcleo;
- Módulo de rigidez ao corte do núcleo;
- Tensões de tração e compressão nas faces;
- Propriedades da ligação adesiva núcleo-face;

Para condições menos ótimas, tais como espécimes longos, de faces muito finas em conjunto com núcleos de muito baixa densidade ou mesmo de núcleos com elevada resistência ao corte, os resultados obtidos devem ser objeto de análise e interpretação adicional, devido ao erro induzido. Na Tabela 7, mostram-se as expressões da norma, explicitando a que ensaio se refere cada expressão.

Tabela 7. Expressões da norma segundo o tipo de solicitação.

Grandeza	Expressão	Ensaio ou condição
Tensão de corte no núcleo	$\tau = \frac{P}{(d+c)b}$	3 e 4 pontos
Tensão normal na face	$\sigma = \frac{PL}{2t(d+c)b}$	3 pontos
Deflexão a meio vão	$\Delta = \frac{PL^3}{48D} + \frac{PL}{4U}$	3 pontos
Rigidez à flexão	$D = \frac{E(d^3 - c^3)b}{12}$	3 e 4 pontos, faces iguais
Rigidez à flexão	$D = \frac{E_1 t_1 E_2 t_2 (d+c)^2 b}{4(E_1 t_1 + E_2 t_2)}$	3 e 4 pontos, faces diferentes
Rigidez ao corte	$U = \frac{G(d+c)^2 b}{4c}$	3 e 4 pontos
Tensão normal na face	$\sigma = \frac{PL}{4t(d+c)b}$	4 pontos
Deflexão a meio vão	$\Delta = \frac{11PL^3}{768D} + \frac{PL}{8U}$	4 pontos
Rigidez à flexão	$D = \frac{P_1 L_1^3 [1 - (11L_2^2/8L_1^2)]}{48\Delta_1 [1 - (2P_1 L_1 \Delta_2 / P_2 L_2 \Delta_1)]}$	combinação dos dois ensaios
Módulo de rigidez ao corte do núcleo	$G = \frac{P_1 L_1 c [8L_1^2 / 11L_2^2 - 1]}{\Delta_1 b (d+c)^2 [(16P_1 L_1^3 \Delta_2 / 11P_2 L_2^3 \Delta_1) - 1]}$	combinação dos dois ensaios

Fonte: ASTM C 393, 2000.

Através das expressões apresentadas na Tabela 7, é possível representar graficamente os diagramas, momento fletor e diagrama de cortante, conhecidos também como; *Shear Force Diagram (SFD)* e *Bending Moment Diagram (BMD)*. Uma maneira de representar a aplicação gráfica destes diagramas é revelada através da Figura 16, onde podem ser apreciados as forças cortantes e o momento máximo em uma placa de longitude L e de Carregamento P . (PHALKE & GAIDHANKAR, 2014).

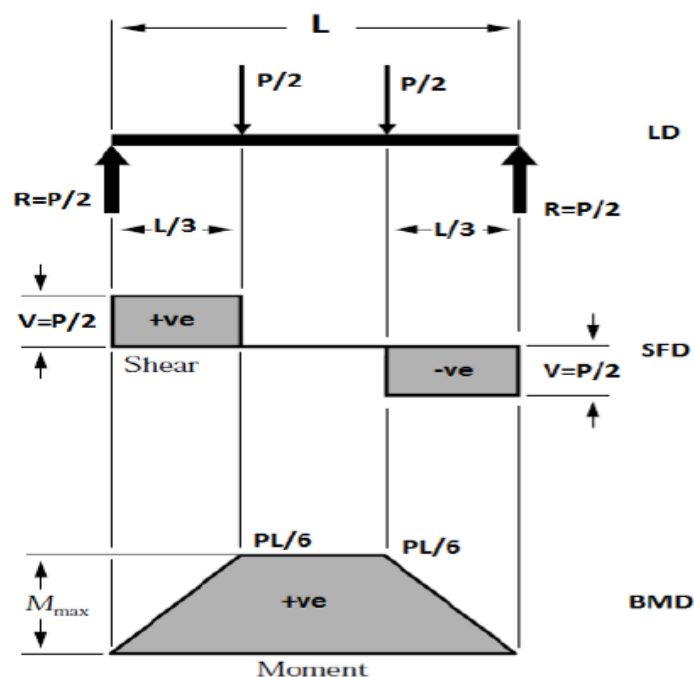


Figura 16. *SFD & BMD distribution*. Fonte: Phalke & Gaidhankar, 2014.

Um estudo detalhado sobre o comportamento à flexão de painéis tipo sanduíche com disposição variada de conectores foi realizada por Pfeifer & Hanson (1965), analisaram as características gerais do painel, tais como: tipo de isolante, espessura de placa e tipo de conectores; estes ensaiaram cerca de 50 modelos, cujas dimensões eram de 91,5 cm x 152,4 cm e afirmaram que o tipo de conector é a variável mais importante no comportamento do painel sanduíche. Outro estudo realizado por Mohamad & Hassan (2013), expressou que os conectores devem ser incorporados para permitir a transmissão de carga entre as faces dos painéis sanduíches e que a força, estabilidade destes compósitos vão depender da rigidez dos conectores de cisalhamento, sendo este o motivo de consideração na presente pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

As atividades desenvolvidas durante a pesquisa estão estruturadas em 5 etapas definidas abaixo:

1. Caracterização dos materiais constituintes por meio de ensaios normalizados;
2. Elaboração de um traço de argamassa baseado no referencial bibliográfico e caracterizado por meio do ensaio de consistência;
3. Produção e caracterização mecânica de compósitos de ferrocimento (faces), por meio de ensaio de flexão em 4 pontos. Esta etapa permitiu a escolha do tipo de reforço metálico a ser implementado na elaboração do painel sanduíche, assim como o número de camadas de reforço a ser implementados nas faces;
4. Produção de painéis sanduíches com núcleo de EPS e caracterização mecânica e térmica (NBR 15.575:2013). Nesta etapa foi selecionado o tipo de conectores para conexão das placas faces do painel, no qual, se realizou o ensaio de flexão em 4 pontos para constatação da resistência de tração na flexão (método modificado das normas ASTM C 393, 2011 e ABNT NBR 13279:2005), permitindo desta maneira a escolha do painel sanduíche para implementação dentro do protótipo construtivo assim como sua caracterização térmica;
5. Estudo e formas de conexão para aplicação dos painéis em habitações. Estas 5 etapas são apresentadas no Fluxograma da Figura 17.

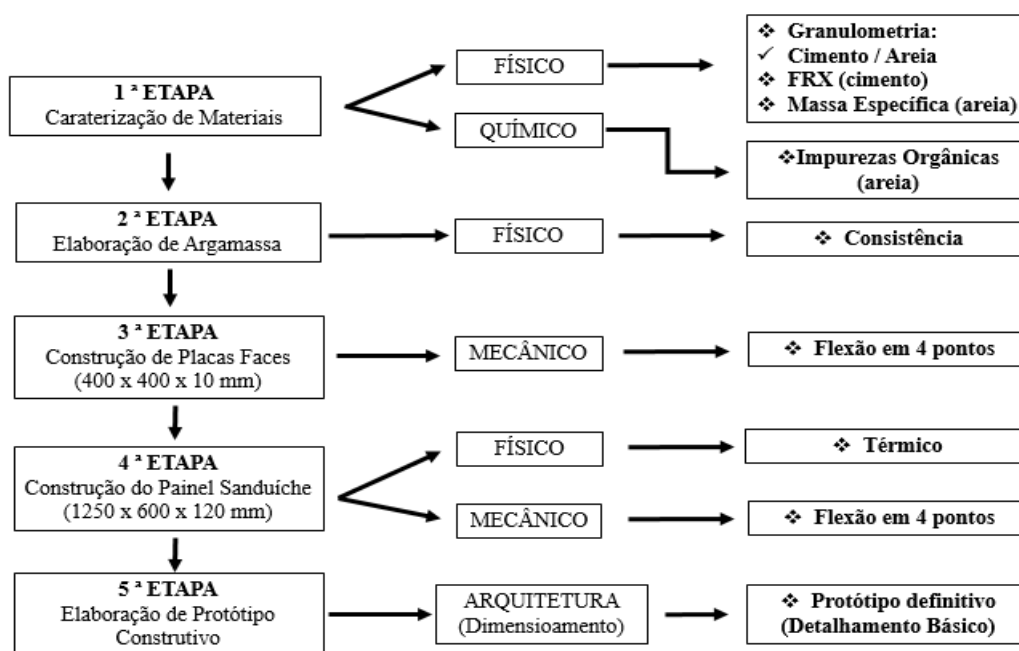


Figura 17. Fluxograma do programa experimental.

3.1 Materiais

3.1.1 Cimento

O aglomerante utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland CPI-S-40, marca POTY, sem adições. Este cimento é fornecido comercialmente pela empresa Cemex na cidade de Manaus - Amazonas.

O ensaio de granulometria do cimento foi realizado no Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Laboratório de Análises Mineraias – LAMIN, pelo método de amostragem pontual; procedimento analítico: IT-03-03-01. Através do método de análise de espalhamento à laser com dispersor da amostra; Hydro 2000MU e o modelo de análises General Purpose, com o uso de Etanol como dispersante, não considerando o uso de ultrassom.

Realizou-se também ensaio de Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX) por energia dispersiva. As análises foram realizadas no equipamento da marca Panalytical modelo Epsilon 3-X com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA e gás Helio (pressão 10 atm./10 kgf/cm²). O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio dos Materiais (LEM) da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

A curva granulométrica da Figura 18, mostra os valores do cimento estudado, este resultado é característico do cimento CPI conforme a literatura e aos parâmetros estabelecido pelas normas ABNT. Na composição química do cimento observa-se na Tabela 8 que, a maior porcentagem de material se encontra em forma de CaO, com um valor aproximado de 75%; Os valores percentuais de MgO e SO₃ foram comparados com os apresentados pela ABNT NBR 16697:2018, percebeu-se que ambos se encontram dentro dos limites estabelecidos por esta norma.

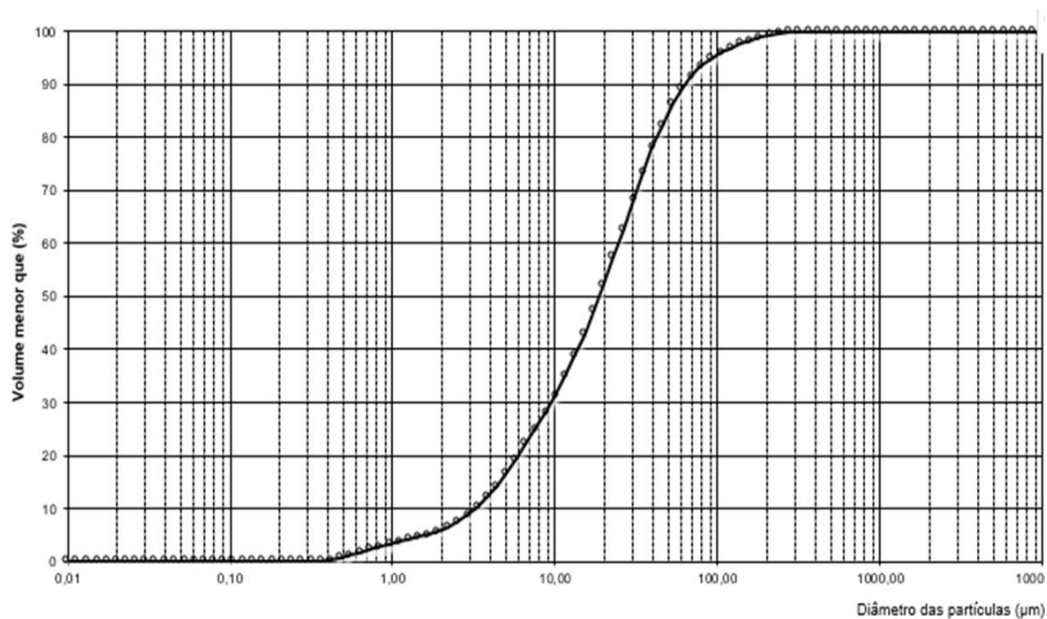


Figura 18. Curva Granulométrica do cimento Portland CPI.

Tabela 8. Espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX).

COMPONENTE	Al₂O₃ (%)	SiO₂ (%)	SO₃ (%)	K₂O (%)	CaO (%)	Fe₂O₃ (%)	MgO (%)
Cimento CPI- S	2,64	12,40	2,69	0,70	75,49	4,61	0,34
ABNT NBR 16697: 2018			≤4,5				≤6,5

3.1.2 Areia

Nesta pesquisa foi utilizada areia lavada encontrada comercialmente na cidade de Manaus-AM, a areia foi caracterizada de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9. Ensaios físicos – químicos de caracterização das areias.

Ensaio Realizado	Método de ensaio
Impurezas Orgânicas	NBR NM 49:2001
Granulometria	NM 248:2003
Massa Específica	NM: 52:2009
Massa Específica Aparente	NBR NM 45:2006

O Ensaio de granulometria foi realizado no Laboratório de Estruturas, Materiais e Solos da Escola Superior de Tecnologia - Universidade do Estado do Amazonas (UEA). Para a realização deste ensaio se considerou o material passante pela peneira de 1,18 mm conforme Melo Filho (2005), a determinação da composição granulométrica foi realizada tomando como referência à NBR NM 248:2003. Duas amostras foram peneiradas utilizando um Granulômetro DM de marca Helvan Ltda (Figura 19-B) com capacidade para 6 peneiras (Figura 19- A). As aberturas de malha consideradas foram: 2,40 mm; 1,18 mm; 0,60 mm; 0,30 mm; 0,150 mm. Sendo que a última peneira continha o resíduo com granulometria menor do que 0,075 mm que foi denominado como “pó”.



Figura 19. A- Peneiramento da areia no tamisador elétrico. B- Equipe elétrico para fazer granulometria (Granulômetro).

Foi calculado também mediante um método gráfico o coeficiente de não uniformidade da areia (C_{nu}) (Equação (2)), utilizado para caracterizar os agregados. Esse C_{nu} é a razão entre os diâmetros correspondentes a 60% e a 10% (no caso foi considerada a percentagem passante em mm), valores tomados da curva granulométrica da areia.

$$C_{nu} = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2)$$

Coeficiente de não uniformidade da areia.

A areia foi considerada de granulometria muito uniforme (tamanhos de grãos relativamente iguais), classificação que pertence aos agregados com C_{nu} menor que 5. A Tabela 10 apresenta os resultados obtidos da caracterização da areia.

Tabela 10. Resultados dos ensaios de caracterização da areia.

Ensaio Realizado	Resultado	Unidade	Norma
Impurezas Orgânicas	Muito mais clara que a solução padrão	-	NBR NM 49
Granulometria	Tabela / Gráfico	-	NBR NM 248:2003
Módulo Finura	1,71	Adimensional	NBR NM 248:2003
Diâmetro Máximo	2,40	mm	NBR NM 248:2003
Massa específica	2.620,00	kg/m ³	NBR NM 52:2009
Massa específica Aparente	1.452,00	kg/dm ³	NBR NM 45:2006

Um dos principais parâmetros utilizados na classificação de uma areia para uso em argamassas é o módulo de finura. Por definição, este parâmetro é o resultado da soma das frações retidas acumuladas, divididas por 100, obtidas durante o ensaio de granulometria, utilizando a série normal de peneiras (ABNT NBR NM 248:2003). Para a classificação dos agregados em função do módulo de finura são adotados os seguintes intervalos indicados na Tabela 11.

Tabela 11. Classificação Duff-Abrams.

MF < 2,0	Areia Fina
2,0 < MF < 3,0	Areia Média
MF > 3,0	Areia Grossa

Fonte: ABNT NBR NM 248, 2003.

Por tanto, a areia estudada é considerada uma areia fina, possui módulo de finura é 1,71 e pertence então as areias com MF menor que 2,0, segundo a ABNT NBR NM 248:2003.

Segundo a NBR NM 248:2003 a Distribuição Granulométrica do Agregado Miúdo está setorizada por uma Zona utilizável inferior correspondente aos valores do módulo de finura de 1,55 a 2,20 e por uma Zona utilizável superior, correspondente a módulos de finura de 2,90 a 3,50. Tomando como referência a Figura 20 se observar que a curva granulométrica da areia estudada (representada em azul) esta está localizada na zona utilizável inferior e seu módulo de finura se encontra na classificação de 1,55 a 2,20.

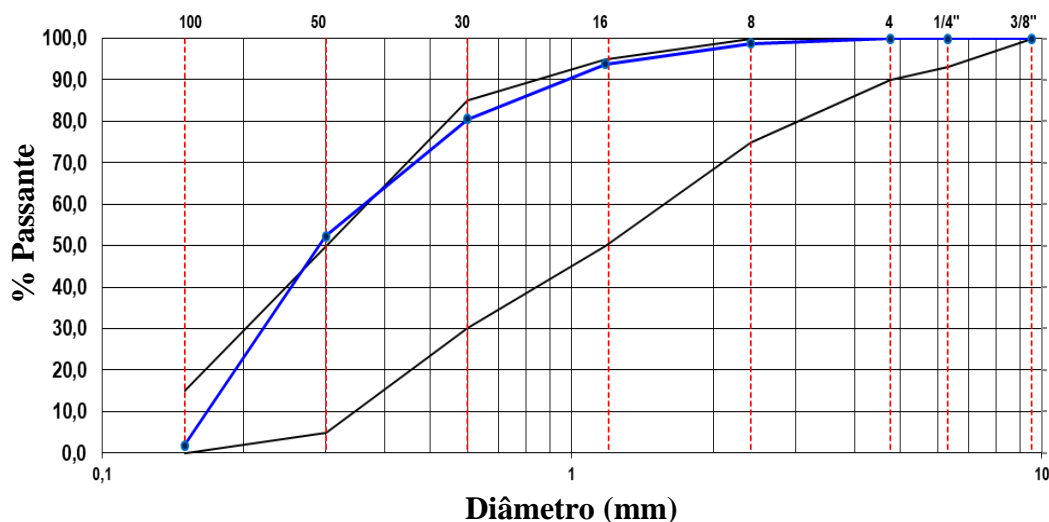


Figura 20. Curva granulométrica da areia implementada.

Embora este parâmetro forneça um tipo de classificação não é um indicador representativo, pois não considera a distribuição granulométrica da fração fina da areia (CARNEIRO, 1999). Este autor propõe ainda a adoção de outros parâmetros de avaliação, já descritos em trabalhos publicados sobre agregados para concreto, como a massa unitária e o índice de vazios, complementando ainda, com conceitos oriundos da mecânica dos solos como o coeficiente de não uniformidade.

O coeficiente de não uniformidade é um dos parâmetros que vem sendo utilizado na caracterização de agregados para argamassa de revestimento, isto porque, permite uma avaliação da continuidade da distribuição granulométrica de uma areia. Esta continuidade pode influenciar no índice de vazios do agregado; no consumo de aglomerante e de água de amassamento para uma mesma trabalhabilidade. A areia apresentou um $C_{nu} = 0,29$, obtido pelo método gráfico apresentado na Figura 21, do qual se extraíram os valores que posteriormente foram introduzidos na equação (2).

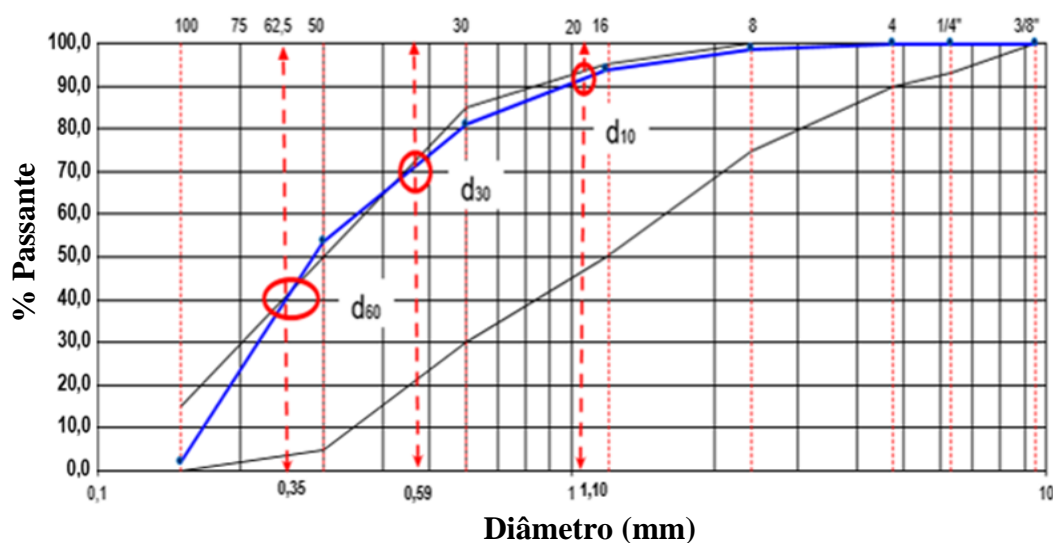


Figura 21. Curva granulométrica da areia para cálculo de coeficiente de não uniformidade.

O Diâmetro Máximo característico obtido através do estudo granulométrico foi de 2,40 mm, valor que segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), (2016) o coloca entre agregados finos úteis para a elaboração de Chapisco, e emboço.

3.1.3 Água

Neste estudo, utilizou-se água procedente de poços artesianos localizados na Universidade Federal do Amazonas que abastecem os laboratórios utilizados durante a pesquisa.

3.1.4 EPS

Foram utilizadas placas de EPS, com dimensões de 3000 x 1000 x 100 mm, densidade de 13 a 15 Kg/m³. As lâminas de EPS foram fornecidas pela empresa Prestígio, localizada no polo industrial da cidade de Manaus. O EPS utilizado pertence à classificação tipo 2 e 3, segundo a Tabela 6 apresentada no capítulo 2, item: 2.7.2 .

3.1.5 Telas metálicas

As malhas metálicas utilizadas foram à malha hexagonal metálica (malha de galinheiro) mostrado na Figura 22-A e a malha metálica inoxidáveis (AISI 304) na Figura 22-B.

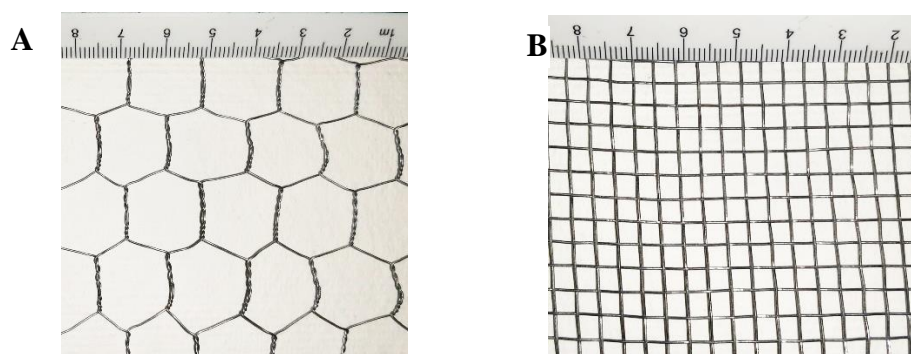


Figura 22. Malhas: A- Malha hexagonal e B- Malha inoxidável.

3.2 Métodos experimentais

3.2.1 Produção da argamassa

A seguir será detalhada a metodologia experimental utilizada para a seleção do traço, caracterização e produção da argamassa.

3.2.1.1 Seleção do traço experimental

O traço adotado no presente trabalho foi baseado nas análises de trabalhos realizados por Matakah *et al.* (2017); Almalkawi *et al.* (2018); Phalke *et al.* (2014) apresentados na Tabela 12. Estes autores trabalharam com compósitos de ferrocimento reforçado com tecido metálico e malha de galinheiro, de proporções similares ao presente trabalho, o cimento implementado pelos referidos autores foi o cimento Portland tipo I e suas relações água/cimento variaram na ordem de 0,38 a 0,55. Para este trabalho foi definido um traço de 1:2:0,45, com a finalidade de facilitar a formação de trincamento nos corpos de prova e nos painéis sanduíches posteriormente formados.

Tabela 12. Traço caraterísticos de compósitos de ferrocimento.

Autor	Cimento	cimento:areia:a/c	areia:a/c
MATALKAH <i>et al.</i> (2017)	Portland tipo I	1:2:0,50	
ALMALKAWI <i>et al.</i> (2018)	Portland tipo I	-	1: 0,40-0,55
PHALKE <i>et al.</i> (2014)	Portland tipo I	1:1,75:0,38	

3.2.1.2 Ensaio de consistência

Foi determinado o índice de consistência da argamassa pela ABNT NBR 13.276:2016, o procedimento do ensaio (3 amostras) é apresentado na Figura 23. Os equipamentos utilizados foram a mesa de consistência e o tronco de cone (Figura 23-A). O ensaio inicia com a mistura da argamassa e enchimento do tronco de cone em três camadas com aplicação de golpes em cada camada (15 golpes, 10 golpes e 5 golpes) com soquete metálico (Figura 23-B). Uma vez retirado o tronco de cone se aplicaram 30 golpes consecutivos em 30 segundos, deste processo resultou o espalhamento final e foram realizadas as leituras, tomando como referências às duas diagonais (Figura 23-C). O ensaio foi realizado no Laboratório de Ensaio dos Materiais (LEM) da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).



Figura 23. Ensaio de consistência. A- Argamassa e equipes utilizados. B - Cone preenchido de argamassa, C- Medição do espalhamento.

3.2.2 Produção dos compósitos de ferrocimento

Foram produzidos 4 tipos de compósitos com dimensões de 400 x 400 x 10 mm, preparadas seguindo o disposto na norma ABNT NBR 13.279:2005. Na Tabela 13 são apresentadas as nomenclaturas utilizadas para nomear os compósitos (PF), assim como o tipo de malha, o número de camadas e o traço, em peso, nas misturas (cimento: areia: relação água/cimento). Foram produzidas 4 amostras por cada compósito formado.

Tabela 13. Compósitos de Ferrocimento.

Placa Face (PF)	Malha	Camadas	Traço
PF1	Malha Metálica	2	1:2:0,45
PF2	Malha de Galinheiro	2	
PF3	Malha de Galinheiro	3	
PF4	Malha de Galinheiro	5	

O procedimento de produção dos compósitos é apresentado na Figura 24, Na Figura 24–A observa-se a configuração e distribuição de camadas de tecido metálico, baseada na metodologia modificada de Wafa (2010), a Figura 24–B, a consistência da argamassa do compósito. Para a moldagem das placas de ferrocimento, foi utilizada uma forma acrílica de geometria quadrada de lado igual a 400 mm e espessura de 10 mm, como se observa na Figura 24 – C. Antes da moldagem, a forma foi impregnada com desmoldante com o intuito de facilitar a desmoldagem do corpo de prova.

Nesta forma foi colocada uma camada da argamassa e depois uma primeira camada de tecido metálico, como pode ser visto na Figura 24- D, repetiu-se este processo até atingir o número de camadas de cada compósito. Após a moldagem, os cp's cobertos com filme plástico e deixados no laboratório por 48h e desmoldados e curados por imersão em água durante 28 dias (ver Figura 24 – E).

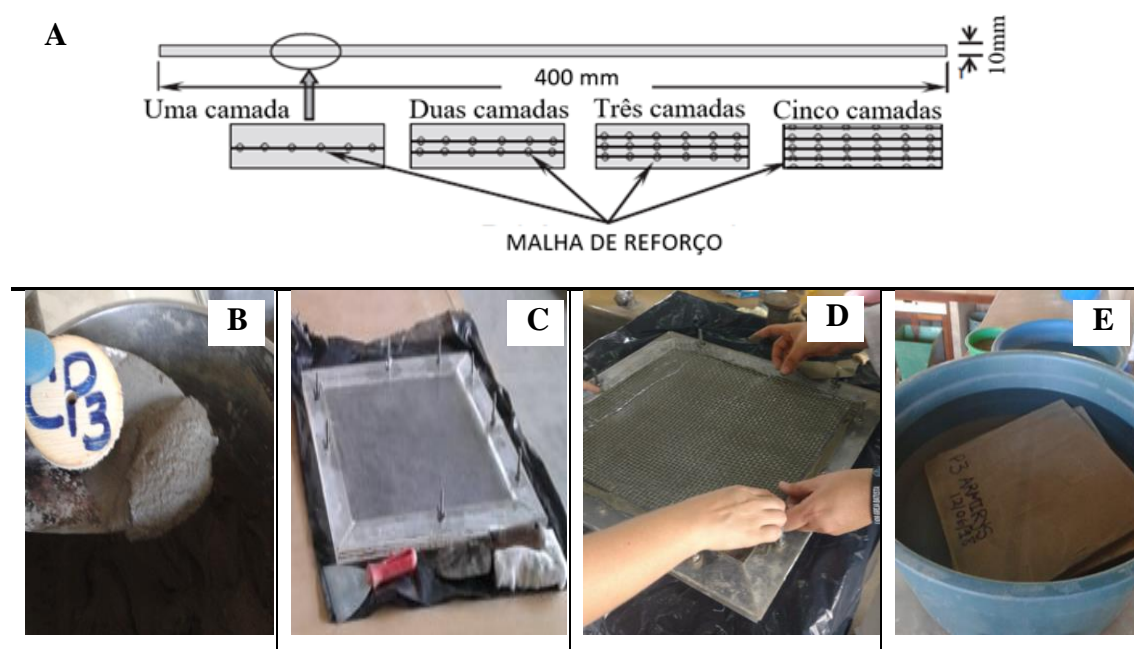


Figura 24. Produção das placas faces de ferrocimento. A- Distribuição de camadas de reforço. Fonte: modificado de Wafa, 2010. B- Mistura da argamassa. C- Forma de acrílico. D- Incorporação do reforço de malha metálica. E- Cura das placas.

3.2.3 Produção do painel sanduíche

O painel foi produzido seguindo a metodologia modificada de Prabakar (2016), onde foi considerada faces com 10 mm de espessura (t) e modificado de Cheah e Ramli (2013), que trabalharam com painéis de dimensões 1200 x 600 x 100 mm (comprimento

x largura x espessura) para lajes de ferrocimento. Para este trabalho se definiram as proporções de painel sanduíche: 1250 x 600 x 120 mm, com o propósito de atingir com dois painéis uma altura aproximada de 2.500 mm, para conformação das paredes do protótipo construtivo; facilitar a construção do painel tanto de forma pré-fabricada, individual, assim como o transporte a setores de difícil acesso.

O Painel Sanduíche é considerado de faces finas tomando como referência Gloria (2015), dado que as dimensões estabelecidas para o painel sanduíche satisfazem a relação: $100 > d/t > 5,77$; onde **d** é a distância entre os eixos das faces e **t**, a espessura das faces. Para o estudo das propriedades mecânicas e físicas do painel sanduíche foram produzidos 3 tipos, conforme a Tabela 14, considerando duas e três camadas de tecido galinheiro identificadas como PS2 e PS3 e um outro painel com duas camadas de malha metálica PS1.

Tabela 14. Tipos de painéis sanduíches.

Painel	Malha	# Camadas	traço	Idade (dia)	# corpos de prova
PS1	Malha Metálica	2	1:2:0,45	30	1
PS2	Malha de Galinheiro	2	1:2:0,45	30	1
PS3	Malha de Galinheiro	3	1:2:0,45	30	1

Para a produção dos painéis foi utilizada uma forma fabricada artesanalmente de madeira compensado. Esta forma foi impermeabilizada em seu interior com pintura polimérica para madeiras. Este último passo foi realizado com o intuito de proteger a forma contra vazamentos e evitar que a mesma absorvesse a água da argamassa, garantindo assim, as proporções pré-estabelecidas no traço.

Uma vez garantida a impermeabilização da forma, se procedeu à aplicação de desmoldante nas superfícies da forma, depois deste último passo se procedeu a iniciar o processo construtivo do painel sanduíche, descrito em uma sequência de 6 passos:

1 – Preparação da forma de madeira retangular de 1.250 x 600 x 120 mm (Figura 25-A). Foram desenhadas linhas brancas nos laterais interiores da forma, com o intuito de indicar o limite de cada camada de argamassa e garantir assim a espessura de 10mm das faces.

2- Preparação do núcleo de EPS. Se realizaram orifícios para inserção da malha que conecta as faces com o núcleo (conectores) e posicionamento das camadas de malha na superfície do núcleo. Estes conectores foram previamente fixados com grampos de arame recozido liso de 12 mm (ver Figura 25-B).

3- Produção da argamassa e colocação da primeira camada de argamassa na base da forma conforme a espessura das faces do painel (10 mm) (ver Figura 26 –A).

4- Incorporação do núcleo de EPS de espessura de 100 mm dentro da forma, segundo cada tipo de painel sanduíche descrito na Tabela 14 (ver Figura 26- B).

5- Colocação da última camada de argamassa e nivelamento da face com acabamento final. Figura 26 (C-D).

6- Após a moldagem dos painéis sanduíches, estes foram deixados em repouso por 48 horas, para posteriormente iniciar-se a desmolda do painel e o início do procedimento de cura, que foi realizado por aspersão de água sobre as faces durante 28 dias.

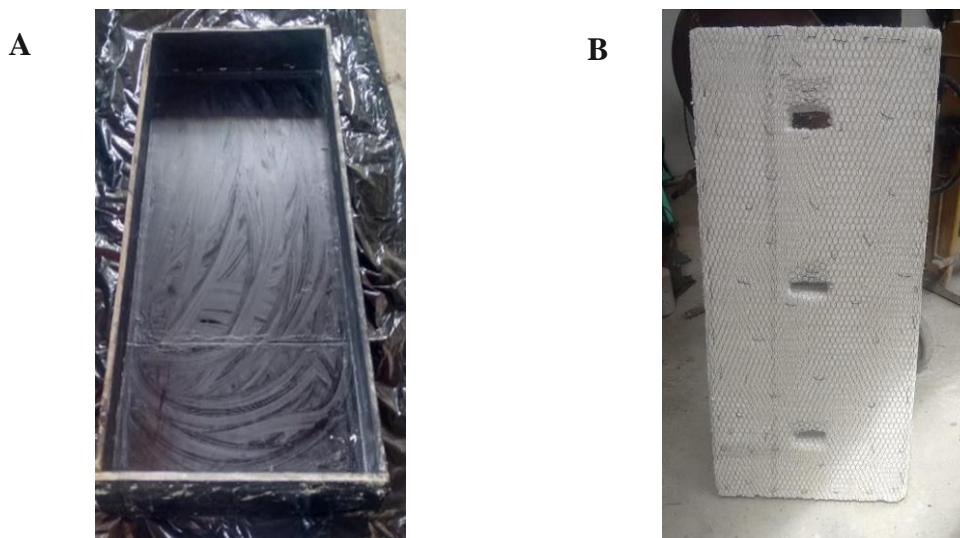


Figura 25. Modelo construtivo de painel sanduíche. A – Forma implementada com aplicação do desmoldante. B- Núcleo do painel sanduíche com malha metálico hexagonal.

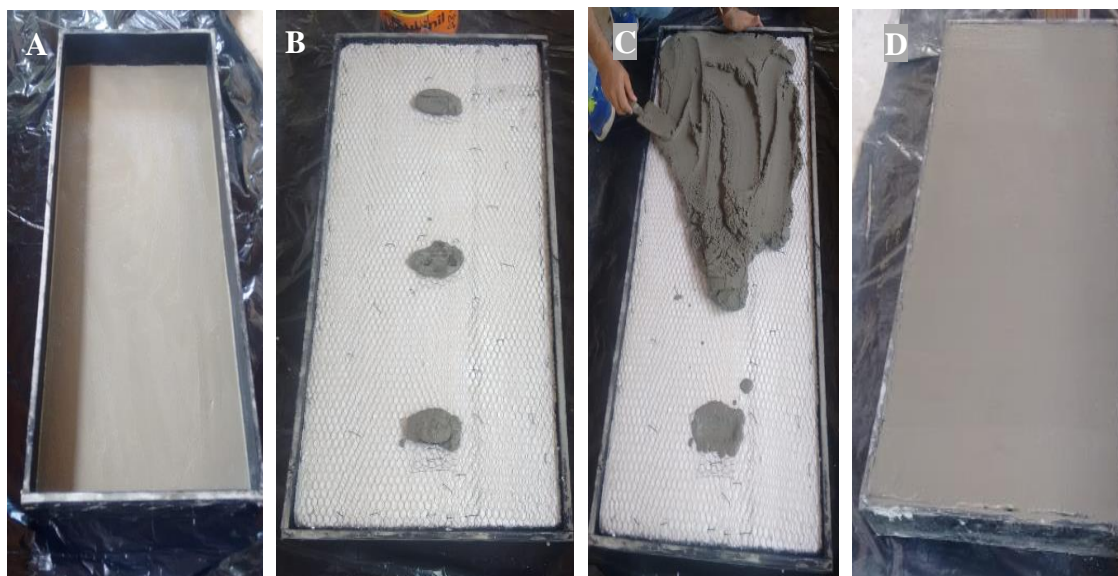


Figura 26. Processo construtivo do painel sanduíche. A- Colocação da primeira cama de argamassa.

B- Inclusão do núcleo de EPS com conectores.

C- Incorporação de ultima camada de argamassa. D- Acabamento final.

Outro dos aspetos construtivos relevantes dentro do painel sanduíche construídos são os conectores e os reforçadores, estes foram de dois tipos: uns metálicos ou *shear*, colocados seguindo a metodologia modificada de Mohamad e Mahdi (2011) e outros em bloco, conforme a modificação do método implementado por (BUSH & STINE, 1994) em função do desempenho estrutural de painéis sanduíches frente a cargas excêntricas assim como é apresentado na Figura 27.

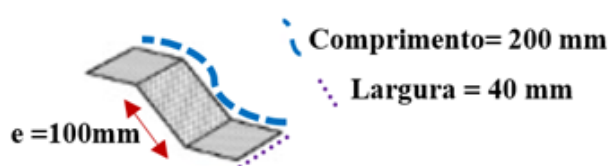


Figura 27. Conector Metálico do painel sanduíche. Dimensões de 200 x 40 mm.

Fonte: adaptado de Mohamad & Mahdi, 2011.

A localização dos conectores pode ver-se através da Figura 28, assim como também a geometria retangular do painel sanduíche e o seu dimensionamento. Os conectores rígidos foram posicionados dentro de pequenas aberturas centradas no EPS que constitui o núcleo do painel sanduíche, em dimensões de 100 x 40 mm, largura - comprimento.

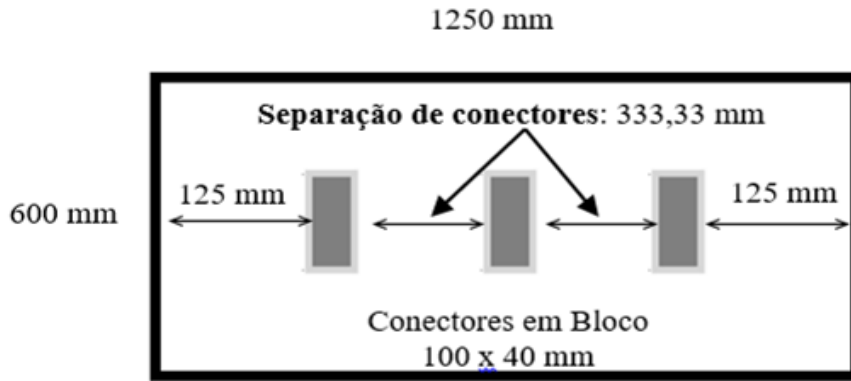


Figura 28. Distribuição em planta de conectores rígidos do painel sanduíche.

Fonte: Adaptação de Pfeiffer & Hanson, 1965.

Uma perspectiva real da colocação do conjunto de rigidizadores, é apresentada através da Figura 29-A, onde se mostra o acoplamento do rigidizador metálico e em bloco com o painel sanduíche uma vez posicionado em obra, e uma vista em arame, que permite observar o posicionamento interno é apresentada na Figura 29-B. A construção do painel sanduíche, foi realizada no Laboratório de Ensaio dos Materiais (LEM) da Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

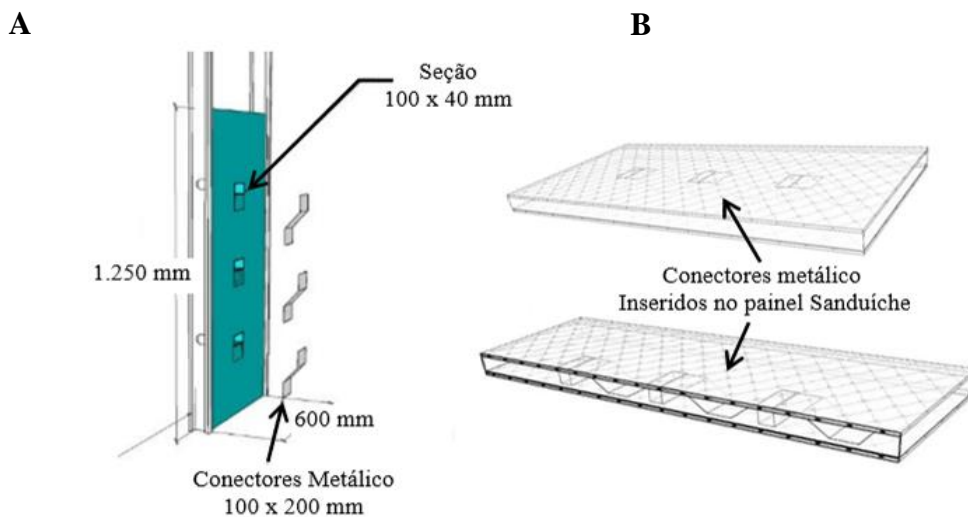


Figura 29. Vista em 3D de conectores rígidos do painel sanduíche.

A- Painel instalado em obra. B- Vista arame de posição de conectores.

3.2.4 Caracterização mecânica das placas de ferrocimento (face)

As placas com dimensões de 400 x 400 x 10 mm, após os 28 dias foram retiradas da cura e cortadas com dimensões de 200 x 80 x 10 mm, para serem ensaiadas a flexão em 4 pontos, segundo o método recomendado pela norma ABNT NBR 13.279:2005 e a ABNT NBR 12.142:2010.

O ensaio foi realizado na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos - LAMAC, com o uso da Máquina Universal de Ensaio da marca Osvaldo Fiziola, modelo AME – 5 kN, com carga máxima de 5 kN. A velocidade de carregamento foi de 0,5 mm/min conforme a norma ABNT NBR 13279:2005; O posicionamento do equipamento e corpo de prova e apresentado segundo a representação gráfica da Figura 30.

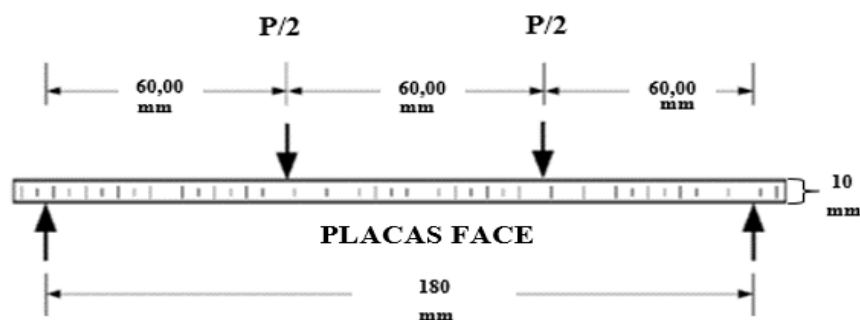


Figura 30. Ensaio de flexão em 4 pontos para compósito (face).

O resultado da tensão de tração na flexão e a tenacidade foram obtidas através dos gráficos de carga (N) x deflexão (m), que subministraram os dados necessários para encontrar a área sob a curva que, posteriormente seria fraccionada pela área da secção de cada amostra ensaiada ($b \times h$). Os resultados foram apresentados através de tabelas indicando o desvio padrão de cada um dos ensaios realizados.

3.2.5 Análises estatística

Com os esforços de tensão últimos das placas faces σ_u (Mpa) foram aplicadas análises estatísticas usando o *Software PAST*, foi implementada uma Anova de fator único e complementada com o Teste *Tukey*, ambos com nível de significância de 0,05 para a determinação do tipo de reforço a implementar dentro do painel sanduíche.

3.2.6 Caracterização mecânica dos painéis sanduíches

Para esta caracterização foi considerado o disposto por Mendonça (2005) onde para a definição do tipo de estrutura de projetos que consideram vigas e placas sanduíches com geometria retangular, apoiadas por duas faces paralelas ao núcleo; é oportuno definir se estas serão analisadas como viga ou como placas. Para as análises o mencionado autor propõe que se faça uma relação entre a altura (b) ou espessura do painel sanduíche e o comprimento do mesmo (a), tal como se observa nas equações (3) e (4);

$$\frac{b}{a} \leq 0,3 \quad (3)$$

Comportamento de viga.

$$\frac{b}{a} \geq 0,8 \quad (4)$$

Comportamento de placa.

Uma vez definido o comportamento do painel como viga, então procedeu-se a realizar o ensaio pela adequação da norma para vigas de painéis sanduíches, ASTM C393-11. Esta adequação foi feita, devido as dimensões do painel sanduíche superar as dos equipamentos de ensaios de flexão disponíveis na região e os problemas de logística para realizá-lo em outras regiões.

Para a realização do ensaio foi construída artesanalmente uma chapa de ferro quadrada de 600 mm de comprimento com uma espessura de 4,76 mm com dobras laterais de 50 mm, esta base foi o centro de apoio para o carregamento sobre os painéis sanduíches. Nesta chapa de ferro, foram realizadas 12 perfurações perpendiculares ao comprimento da prancha, cuja função era a de assegurar 2 tubos industriais circulares de 65 mm de diâmetro externo e 57 mm interno, cortados a medida do comprimento da placa metálica; estes funcionaram como roletes metálicos de transferências de cargas, isto pode ser observado na Figura 32- B.

Estes roletes foram separados entre si a uma distância de 300 mm, perpendicular ao carregamento. Também se implementou um tanque de estocagem de água convencional, com uma capacidade de 500 litros para a aplicação de carga sobre o painel sanduíche, este repousou sobre uma caixa de madeira de 620 x 620 mm que funcionou como cobertura da chapa de ferro e de proteção para que os pinos que asseguravam a placa de ferro e os roletes, não perfurassem o tanque de água durante o carregamento.

Em relação ao carregamento se considerou as mensurações da água expelida por uma torneira posicionada no lugar do ensaio, na qual foi contabilizada a vazão de água num intervalo de tempo de 1 minuto com a torneira totalmente aberta. Nesse intervalo de tempo foram medidos a quantidade de litros preenchidos em um recipiente de água (balde de 10 litros), sendo a média de essa aferição considerada como a vazão da torneira por segundo. Este exercício se repetiu durante a elaboração de todos os ensaios de flexão em 4 pontos de cada painel sanduíche.

Foi necessário também considerar que 1 litro de água era o equivalente aproximado de 1 quilograma força. Tudo isto, para estimar a quantidade de carregamento em quilogramas, aplicada sobre o painel sanduíche por cada segundo de ensaio realizado.

Em relação ao posicionamento do painel sanduíche, foi considerada uma separação entre os apoios foi de 1000 mm e entre os pontos de aplicação de carga foi 333,3 mm aproximadamente, tal e como é apresentado na Figura 31. Este posicionamento responde ao disposto na ASTM C393:2011, para uma configuração não padrão (*não standard*).

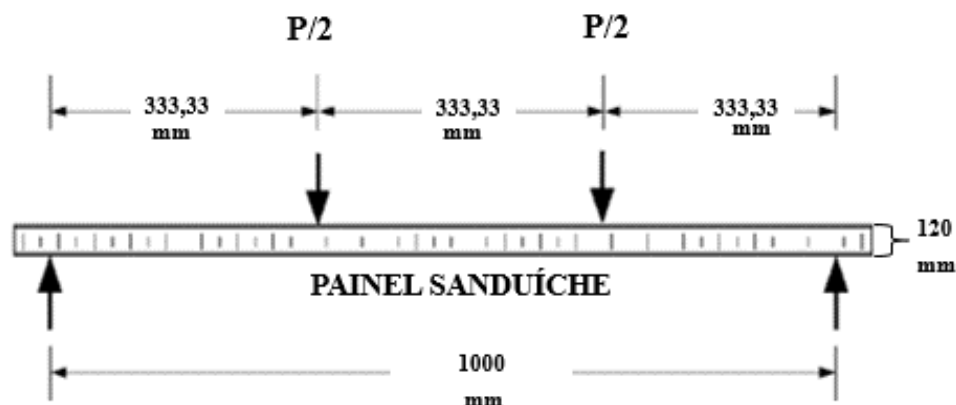


Figura 31. Ensaio de flexão em painel sanduíche. Separação de apoios e pontos de aplicação de carga.

Também foi colocado na parte inferior do painel sanduíche um deflectômetro para obtenção da deflexão média, da marca Mitutoyo Corp, modelo ID-S1012B, com comprimento máximo de 12 mm acoplado a uma base magnética como mostra a Figura 32 – A.

Foram tomadas as leituras do deflectômetro a cada minuto, para o registro dos dados e posterior construção das curvas de Carga versus deflexão. A duração total dos ensaios foi de aproximadamente 1 hora e 15 minutos. O peso dos elementos de apoio foi considerado para a estimativa do carregamento.

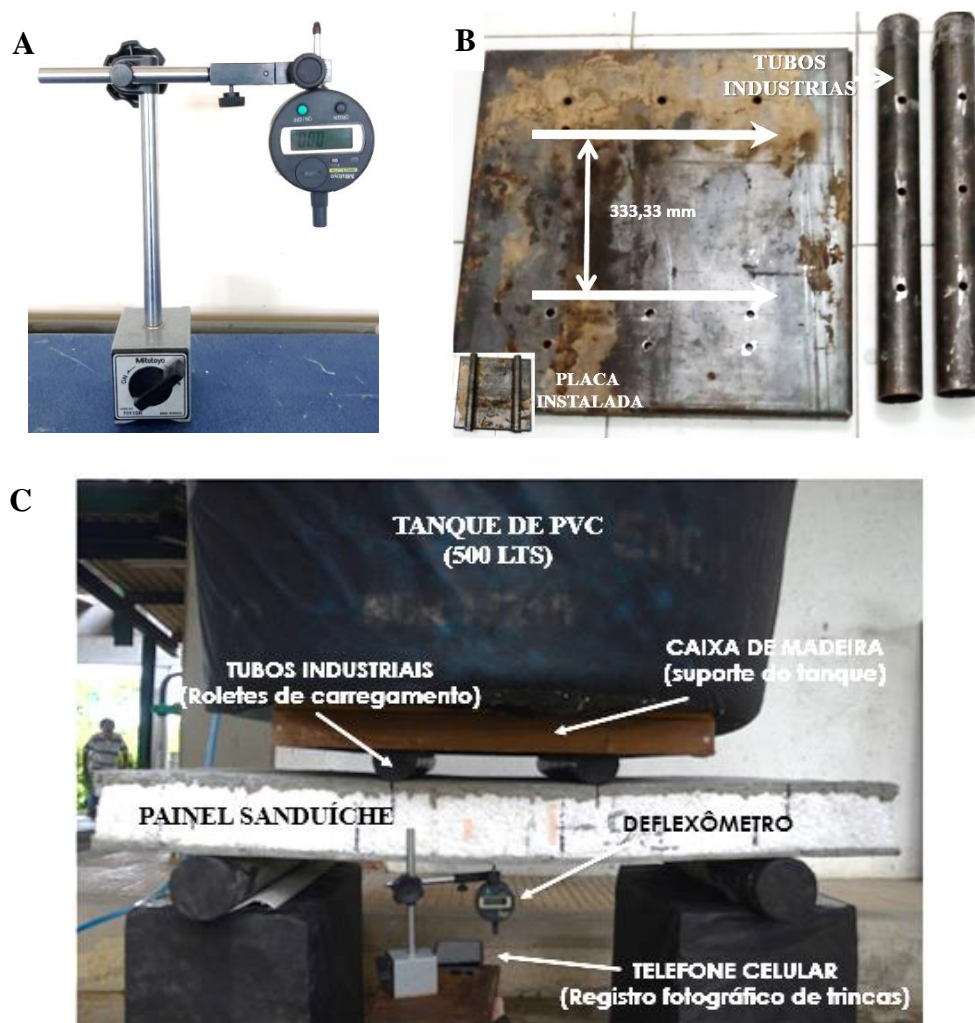


Figura 32. Ensaio de flexão em painel sanduíche. A- Flexômetro. B- Chapa de ferro com perfurações e roletes. C- Ensaio adequado com todos os elementos.

Os resultados do ensaio foram analisados conforme as indicações da norma ASTM C393:2011 e organizados em tabelas para facilitar análises e interpretação de resultados.

3.2.7 Caracterização física em painéis sanduíches

3.2.7.1 Ensaio térmico

O ensaio de condutividade térmica foi realizado no Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E), Universidade Federal de Santa Catarina, baseado na Norma Técnica ISO 8301:2010 “*Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Heat flow meter apparatus*” em uma amostra de painel sanduíche PS3 (3 camadas de tecido galinheiro) de 300 x 300 x 120,5 mm. A Figura 33 apresenta o equipamento ou medidor de fluxo de calor com que foi realizado

ensaio e na Figura 34-A é possível ver, uma esquematização do princípio do método de medição da resistência térmica do dispositivo com a amostra em estudo e na Figura 34-B a seção de amostra de Painel Sanduíche PS3.

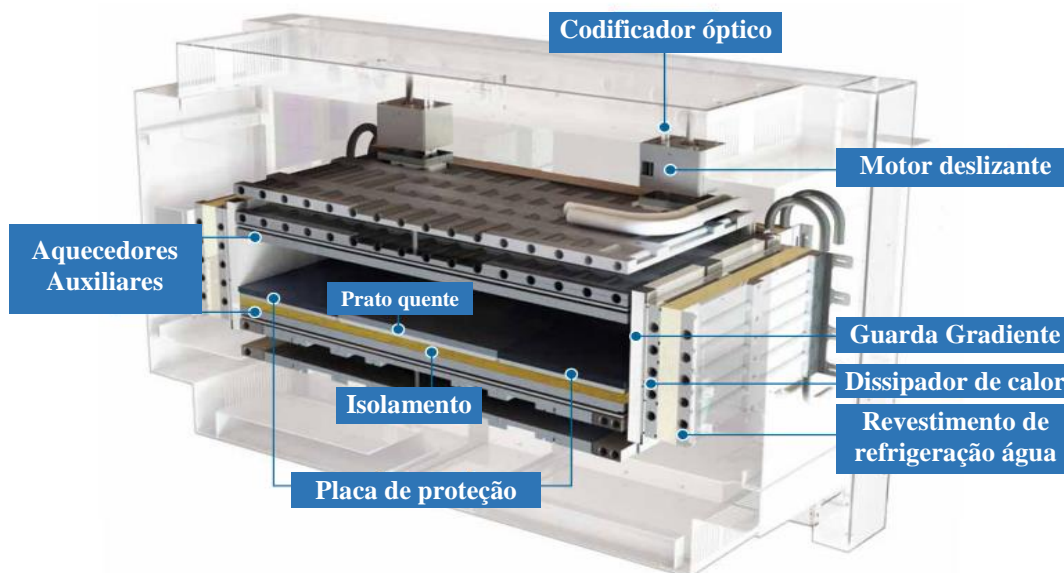


Figura 33. Aparelho medidor de fluxo de calor. (*Heat flow meter apparatus*).

Fonte: <http://www.tainstruments.com/wp-content/uploads/BROCH-LC-2015-EN.pdf>

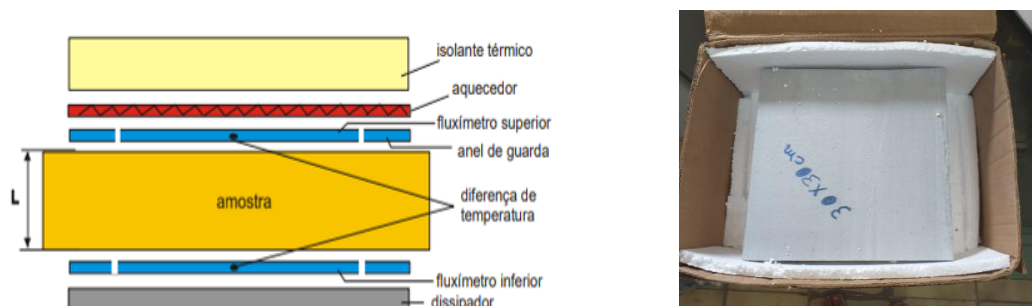


Figura 34. Ensaio de condutividade térmica. A- Configuração do ensaio de medição. Fonte: Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E). Relatório ensaios de propriedades térmicas. 26-08- 2019. B- Amostra de Painel Sanduíche PS3.

A resistência térmica foi determinada a partir da lei de Fourier, Onde R é a resistência térmica ($m^2 K/W$), q é o fluxo de calor médio medido pelos fluxímetros superior e inferior (W), T_1 e T_2 as temperaturas médias nas superfícies das amostras e A a área de transferência, estes parâmetros se relacionam através da Equação (5).

Considerando uma amostra homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material, para isto, foi implementada a Equação (6) onde λ é a condutividade térmica (W/m K) e L é a espessura da amostra (m). O ensaio foi realizado numa temperatura média de: 25 °C, e o resultado deste ensaio permitiu o cálculo da transmitância térmica. Segundo a NBR 15.220:2005 a transmitância térmica de componentes (U) de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total e se expressa em (W/m².°C), conforme a Equação (7). O valor resultante será posteriormente analisado conforme os parâmetros exigidos pelas normas de desempenho NBR 15.575-4:2013 e NBR 15.220-3:2005. (7)

$$R = \frac{T1 - T2}{\left(\frac{q}{A}\right)} \quad (5)$$

Resistencia térmica.

$$\lambda = \frac{L}{R} \quad (6)$$

Condutividade térmica.

3.2.7.2 Transmitância térmica

Segundo a NBR 15.220:2005 a transmitância térmica de componentes (U) de ambiente a ambiente, é o inverso da resistência térmica total e se expressa em (W/m².°C), conforme apresentado na Equação (7). O valor resultante será posteriormente analisado conforme os parâmetros exigidos pelas normas de desempenho NBR 15.575-4:2013 e NBR 15.220-3:2005.

$$U = \frac{1}{R} \quad (7)$$

Transmitância térmica.

3.2.8 Planejamento do protótipo habitacional

3.2.8.1 Construção do modelo virtual

O modelo construtivo foi desenvolvido com o *software Sketchup*, devido às possibilidades que fornece o software de trabalhar de forma intuitiva e eficiente, fazendo com que o projeto se possa desenvolver até 70% mais rápido, além de ter acesso às informações variadas como; Layout (desenhos padronizados), cortes automáticos, vistas automáticas, perspectivas eletrônicas de qualidade, renderizações com altíssimo nível de detalhamento. Segundo De Oliveira (2015) é o *software* de modelagem de terceira dimensão que fornece uma maior acessibilidade, versatilidade na criação, desenvolvimento e apresentação de projetos arquitetônicos para o mercado atual.

3.2.8.2 Desenho esquemático atual

Para o desenho atual foi considerado um protótipo de habitação de baixa renda para uma família pequena de três membros, um casal e um filho, e a possibilidade de acessos para pessoas idosas ou com algum tipo de incapacidade física, assim como também, a possibilidade de futuras ampliações a partir da parede de sala, dando assim uma ampla flexibilidade ao projeto e maiores oportunidades para adequação em empreendimentos habitacionais futuros.

A arquitetura contemplou uma unidade modular de 42,05m² que considerou, ventilação cruzada com saída de ar quente, possibilitada pela diferença de altura entre as águas da cobertura, iluminação natural dos ambientes; assim como a total implementação do painel sanduíche proposto nesta pesquisa nos sistemas de vedação, divisórias e telhado. A implementação destas estratégias prevê evitar o desperdício de materiais em obra, uma maior velocidade de execução e diminuição do tempo em obra, assim como a consequente redução dos custos relacionados a estas atividades.

4 RESULTADOS

4.1 Consistência da argamassa

Os espalhamentos obtidos no ensaio de abatimento realizado na argamassa estão apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Espalhamento médio para traço de argamassa

Amostra	Traço Cimento: areia: a/c	Espalhamento (mm)	Espalhamento médio (mm)
1	1:2: 0,45	221,56	221,00 (0,86)
2		220,45	
3		219,86	

Segundo ABNT NBR 13276:2016 a quantidade de água de amassamento deve ser determinada através da mesa de espalhamento para a consistência fixa de (260 ± 5) mm. Para este caso em particular não foi possível prefixar uma consistência dado a que a relação água/cimento implementada, responde ao traço referido por Matalkah *et al.* (2017); Almalkawi *et al.* (2018); Phalke *et al.* (2014); estes autores não especificaram em seus trabalhos resultados de consistências das argamassas, por tanto não foi possível estabelecer uma consistência padrão determinada na mesa de espalhamento coerente com uma trabalhabilidade ideal.

4.2 Flexão dos compósitos

4.2.1 Influência do tipo de malha no compósito (face)

4.2.1.1 – Mesmo número de camadas

Na Figura 35 são apresentadas as curvas tensão equivalente de flexão x deflexão central para os compósitos PF1 e PF2 produzidas com o mesmo número de camadas e diferente tipo de malha.

De acordo com as curvas, pode-se verificar que a tensão de primeira fissura foi igual para os dois tipos de compósitos. Resultado já esperado, visto que essa tensão é dominada pela matriz cimentícia que constitui os dois compósitos. Atingida a primeira

fissura, a tensão do compósito passa a ser dominada pelo reforço, que passa a ser bem diferente entre os dois tipos de malhas.

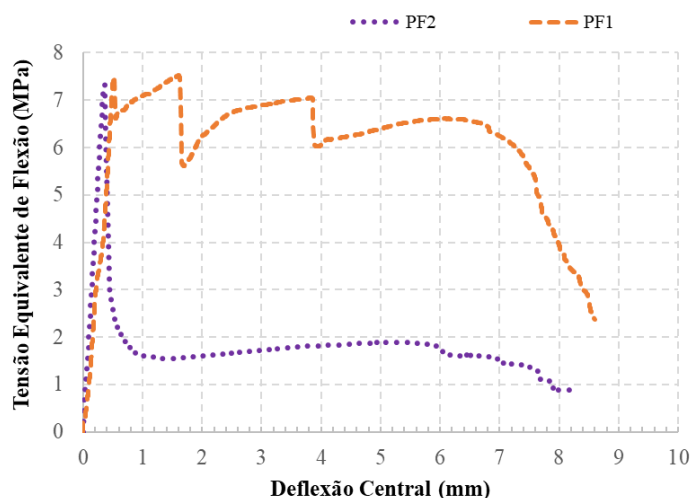


Figura 35. Curva tensão x Deflexão central compósito (face) - Mesmo número de camadas.

Mediante as curvas tensão x deflexão foram determinadas as seguintes propriedades dos compósitos: tensão de primeira fissura (σ_{1f}), deflexão de primeira fissura (d_{1f}), tensão última de pós-fissuração (σ_u), deflexão de pós-fissuração (d_u) e tenacidade total (T_u). Os resultados médios e respectivos desvio padrão (DP) estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Valores médios das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos - Mesmo número de camadas.

Placas Face	Reforço	σ_{1f} (Mpa)	d_{1f} (mm)	σ_u (Mpa)	d_u (mm)	T_u (kJ/m ²)
PF1		8,13	0,63	7,24	2,42	2,65
		(1,09)	(0,11)	(1,50)	(0,72)	(0,70)
PF2		6,77	0,52	2,17	4,12	0,94
		(0,64)	(0,15)	(0,24)	(0,73)	(0,13)

A partir dos valores médios, pode-se verificar que a tensão de primeira fissura do compósito PF1 foi cerca de 16,7% superior ao compósito PF2. Indicando que o tecido metálico conseguiu proporcionar um maior reforço a matriz.

Como a tensão de primeira fissura do compósito PF1 foi superior ao compósito PF2 e os compósitos apresentaram a mesma inclinação da reta, os valores de deflexão de primeira fissura apresentaram a mesma ordem de acréscimo.

Para os valores de tensão última, verificou-se que o compósito PF1 apresentou valores médios cerca de 70,03% superior ao compósito PF2, indicando que o reforço da malha metálica foi mais eficiente na transferência de tensões que a malha de galinheiro. Esse fato pode ser explicado pela maior quantidade de aço por cm quadrado na seção do compósito PF1, como consequência, os valores de deflexão última seguiram o mesmo comportamento.

Já para os valores de tenacidade, verificou-se que a área abaixo da curva do compósito PF1 apresentou um considerável acréscimo, cerca de 64,53% superior aos compósitos PF2, demonstrando uma diferença superior em absorção de energia que a do compósito PF2. Com isso, ficou evidente que o compósito PF1 apresentou propriedades mecânicas superiores ao PF2.

4.2.1.2 – Mesma massa de aço

Na Figura 36 são apresentadas as curvas tensão equivalente de flexão x deflexão central para os compósitos PF1 e PF3 produzidas com a mesma massa de aço e diferente tipo de malha.

De acordo com as curvas, pode-se verificar que a tensão de primeira fissura foi aproximada entre os dois tipos de compósitos. Depois da primeira fissura, a tensão do compósito passou a ser dominada pelo reforço, que foi superior para o compósito PF1, mostrando que ainda assim, o número de 3 camadas não conseguiu transmitir as tensões de forma eficiente.

A partir das curvas tensão x deflexão foram determinadas as seguintes propriedades dos compósitos: σ_{1f} , d_{1f} , σ_u , d_u e T_u . Os resultados médios e respectivos desvio padrão (DP) estão apresentados na Tabela 17.

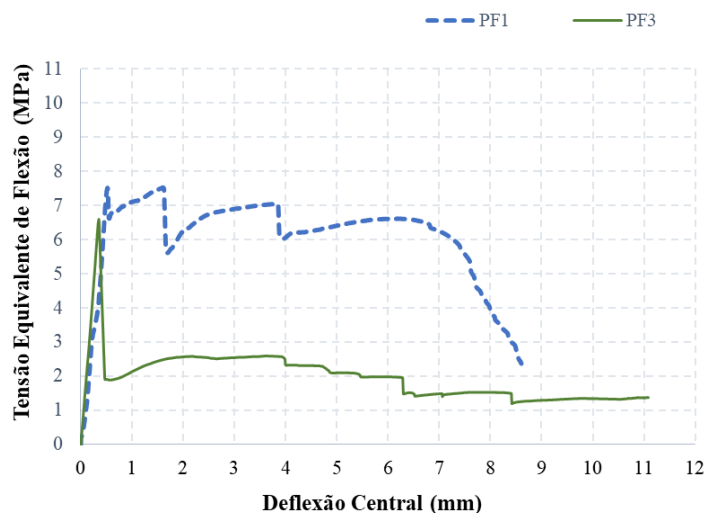




Figura 36. Curva tensão vs Deflexão central compósito (face) - Mesma massa de aço.

Tabela 17. Valores médios das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos - Mesma massa de aço.

Placas Face	Reforço	σ_{1f} (Mpa)	d_{1f} (mm)	σ_u (Mpa)	d_u (mm)	T_u (kJ/m ²)
PF1		8,13 (1,09)	0,63 (0,11)	7,24 (1,50)	2,42 (0,72)	2,65 (0,70)
PF3		6,53 (0,72)	0,48 (0,19)	3,71 (1,45)	2,65 (0,79)	1,54 (0,43)

A partir dos valores médios, pode-se verificar que a tensão de primeira fissura do compósito PF1 foi cerca de 19,68% superior ao compósito PF3. Indicando que mesmo com o número de 3 camadas, a malha de galinheiro ainda não foi suficiente para transmitir os esforços com a malha metálica.

Com relação aos valores de deflexão de primeira fissura, verificou-se que os resultados foram similares ao comportamento anterior.

Para os valores de tensão última, notou-se que o compósito PF1 apresentou valores médios cerca de 48,76 % superior ao compósito PF3. Verifica-se que para o mesmo teor de aço, ainda houve melhor transferência de tensão. Esse fato pode ser explicado pela maior quantidade de aço/cm² na seção do compósito PF1, como consequência, os valores de deflexão última seguiram o mesmo comportamento.

Já para os valores de tenacidade, verificou-se que a área abaixo do compósito PF1 apresentou um considerável acréscimo, cerca de 41,89 % superior aos compósitos PF3.

4.2.1.3 – Mesmo tipo de malha em diferentes camadas

Na Figura 37 são apresentadas as curvas tensão equivalente de flexão x deflexão central para os compósitos PF2, PF3 e PF4 produzidas com a mesma malha e 2, 3 e 5 camadas de malha.

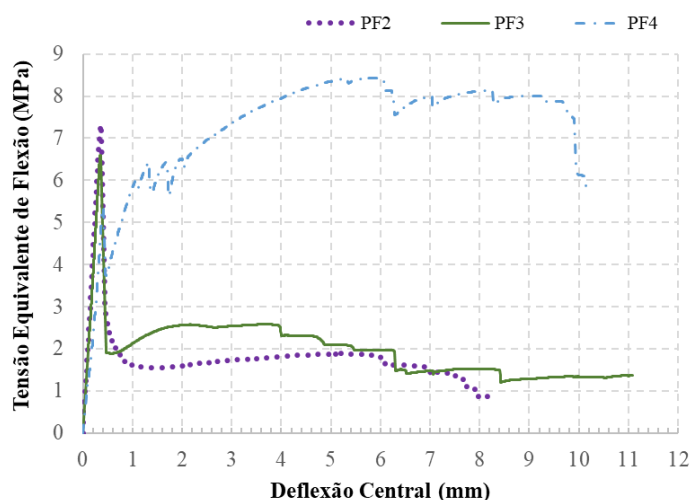


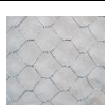


Figura 37. Curva tensão vs Deflexão central compósito (face) - Mesma Malha diferentes camadas.

A partir das curvas, novamente se verifica que a tensão de primeira fissura foi aproximada para os compósitos. Depois da primeira fissura, a tensão do compósito passou a ser dominada pelo reforço, que foi superior para o compósito com 5 camadas. A diferença para essa característica foi expressiva para o compósito PF4.

A partir das curvas tensão x deflexão foram determinadas as seguintes propriedades dos compósitos: σ_{1f} , d_{1f} , σ_u , d_u e T_u . Os resultados médios e respectivos desvio padrão (DP) estão apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Valores médios das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos – Mesmo tipo de malha diferentes camadas.

Placas Face	Reforço	σ_{1f} (Mpa)	d_{1f} (mm)	σ_u (Mpa)	d_u (mm)	T_u (kJ/m ²)
PF2		6,77 (0,64)	0,52 (0,15)	2,17 (0,24)	4,12 (0,73)	0,94 (0,13)
PF3		6,53 (0,72)	0,48 (0,19)	3,71 (1,45)	2,65 (0,79)	1,54 (0,43)
PF4		5,39 (0,40)	0,44 (0,10)	8,00 (0,88)	6,64 (1,40)	5,13 (1,10)

A partir dos valores médios, pode-se verificar que a tensão de primeira fissura do compósito PF4 foi cerca de 17,46% inferior ao compósito PF3 e inferior a PF2 em 20,38%. Indicando que a malha de galinheiro em 5 camadas proporcionou fragilidade na parte comprimida do compósito, diminuindo assim o valor de tensão de primeira fissura.

Os valores de deflexão de primeira fissura do compósito PF4 foi inferior ao compósito PF3 e PF2, e os compósitos apresentaram a mesma inclinação da reta.

Para os valores de tensão última, verificou-se que o compósito PF4 apresentou valores médios cerca de 53,62% superior ao compósito PF3 e de 72,85% superior a PF2, indicando que o compósito com 5 camadas de reforço foi mais eficiente na transferência de tensões que os compósitos com 3 e 2 camadas de reforço. Esse fato pode ser explicado pela maior quantidade de aço/cm² na seção do compósito PF4, como consequência, os valores de deflexão última seguiram o mesmo comportamento.

Já para os valores de tenacidade, verificou-se que a área abaixo do compósito PF4 apresentou um considerável acréscimo, cerca de 69,98 % superior aos compósitos PF3 e 81,68% superior a PF2. Isto evidentemente demonstrou que o compósito PF4 teve uma maior absorção de energia devido a uma maior quantidade de aço dentro da sua matriz cimentícia.

O compósito PF4, com 5 camadas de malha de galinheiro, apresentou resultados mais satisfatórios para a presente pesquisa. Na Figura 38 é apresentado o modo de fissura do compósito PF4 em diferentes deflexões.

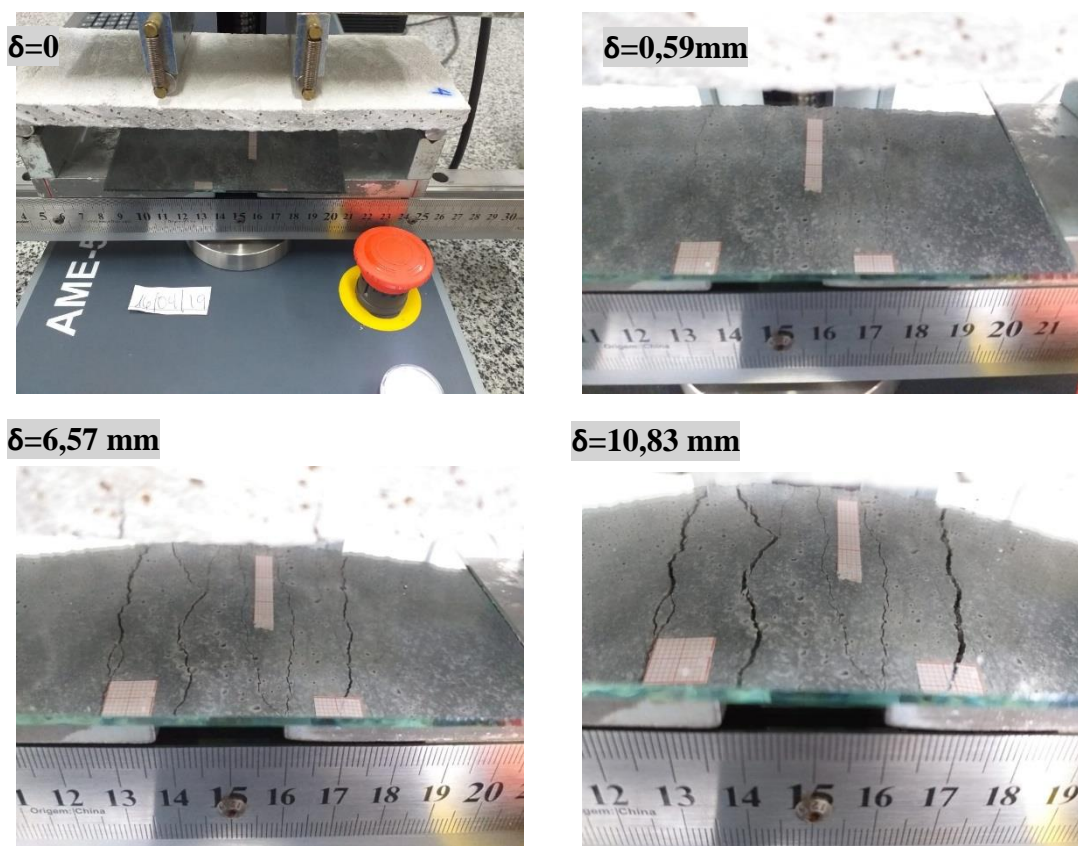


Figura 38. Abertura das fissuras em seqüências segundo a deflexão central compósito (face).

De acordo com a Figura 38, é possível observar que quanto maior a deflexão central do compósito, maior o número de fissuras. Para a deflexão de 6,57 mm a abertura da fissura principal foi de aproximadamente 1mm, enquanto que para a deflexão de 10,83 mm foi de 2mm, todas estas localizadas na parte central do corpo de prova.

Mesmo o compósito PF1 e o PF4 terem apresentados os melhores desempenhos mecânico, verificou-se que essas duas configurações elevariam bastante os custos do painel sanduíche. Nesse contexto, a pesquisa optou por utilizar como face do painel, o compósito PF3, que tinha 3 camadas de malha de galinheiro.

4.2.1.4 – Análises estatístico

Os compósitos estudados foram analisados em função da sua tensão última (σ_u -Mpa) através do teste Anova de fator único com um intervalo de confiança 95%, onde se comprovou que o F calculado (24) foi maior que o F crítico (3,49) mostrando que as médias populacionais não são iguais, pelo menos uma delas é diferente. Para contrastar as respostas o Teste Tukey colocou em evidência que o compósito PF3 (3 camadas de tecido galinheiro) não mostra diferenças estatísticas significativas com a PF4 (5 camadas

de tecido galinheiro) por tanto a PF3 foi escolhida para a implementação dentro do painel sanduíche dado que este compósito representa uma redução de custo, sem comprometer a resistência.

4.2.2 Influência do tipo e número de malha no painel Sanduíche

A Figura 39 apresenta as curvas tensão equivalente de flexão x deflexão central para os compósitos sanduíches PS1 (2camadas de tecido metálico), PS2 (2 camadas de tecido galinheiro) e PS3 (3 camadas de tecido galinheiro).

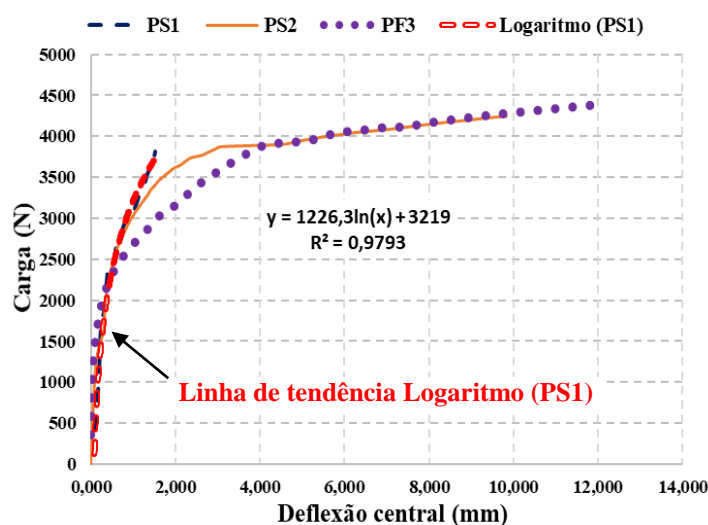


Figura 39. Curva tensão x Deflexão central painel sanduíche.

De acordo com as curvas, pode-se verificar que a carga máxima do painel PS1 se projetava com valor superior aos demais. Esse comportamento deixa evidente que a placa PS1 poderia ter alcançado um valor máximo de carga superior aos demais painéis, como mostra a linha de tendência logaritmo do gráfico a qual tem um ajuste (R^2) próximo a 1. O painel PS1 não atingiu a mesma deflexão obtida pelos demais painéis por questões técnicas e de segurança na condução do ensaio. Mais através da linha de tendência PS1 e considerando o máximo valor da deflexão atingido pelos Painéis Sanduíches PS2 e PS3, é possível estimar através da equação da curva logarítmica que a carga máxima aproximada poderia ser de 6.266 N.




Os painéis PS2 e PS3 apresentaram um comportamento muito similar para os mesmos níveis de cargas, evidenciado também, nos ensaios de flexão das placas faces. A partir das curvas carga x deflexão dos ensaios dos painéis sanduíches foram determinadas

as seguintes propriedades: carga de 4000N (P_{4000}), deflexão para carga de 4000N (d_{4000}), carga máxima ($P_{m\acute{a}x}$), deflexão máxima ($d_{m\acute{a}x}$), Carga de cisalhamento no núcleo (τ_u) e tensão última na face (σ_u). Os resultados estão apresentados na Tabela 19.

De um modo geral, ficou evidente a superioridade dos painéis com a malha de aço. Para a carga de 4000 N, verifica-se para o painel PS1, em uma projeção, uma deflexão de 1,71 mm, enquanto que as placas PS2 e PS3 apresentaram deflexões muito maiores (cerca de 69%), indicando que o painel PS1, reforçado com a malha metálica, teve um suporte de carga maior que os painéis reforçados com as malhas de galinheiro.

Os valores de carga de cisalhamento e tensão última foram similares para os três tipos de compósitos. Como essas cargas são em função das cargas máximas de cada painel, não foi possível ter uma conclusão final, visto que nem todas as placas atingiram a carga máxima.

Tabela 19. Valores das propriedades mecânicas resultantes do ensaio a flexão em 4 pontos painel sanduíche.

Painel	Reforço	camadas	P₄₀₀₀ (N)	d₄₀₀₀ (mm)	P_{máx} (N)	d_{máx} (mm)	τ_u (núcleo)	σ_u (face)
PS 01		2	4000	1,71	3.815	1,53	0,014	0,69
PS 02		2	4000	5,50	4.276	9,84	0,015	0,78
PS 03		3	4000	5,50	4.367	11,68	0,016	0,79

Na Figura 40 está apresentado o modo de fratura que ocorreu de forma similar para todos os painéis. É possível observar que quanto maior a deflexão central, maior o número de fissuras na parte inferior do painel. Durante o ensaio, foi possível o acompanhamento da abertura da primeira fissura. Quando o painel atingiu uma deflexão de 4,14 mm a abertura da fissura foi de aproximadamente 1 mm. Com o aumento da carga, uma segunda fissura foi formada. Para a deflexão de 5,20 mm foi observado uma diminuição da abertura da 1ª fissura e uma abertura da 2ª fissura na ordem de 0,50 mm que aumentavam à medida que a carga aumentava. O colapso total dos painéis sanduíches não foi atingido por questões técnicas e de segurança do sistema utilizado para a condução do ensaio.

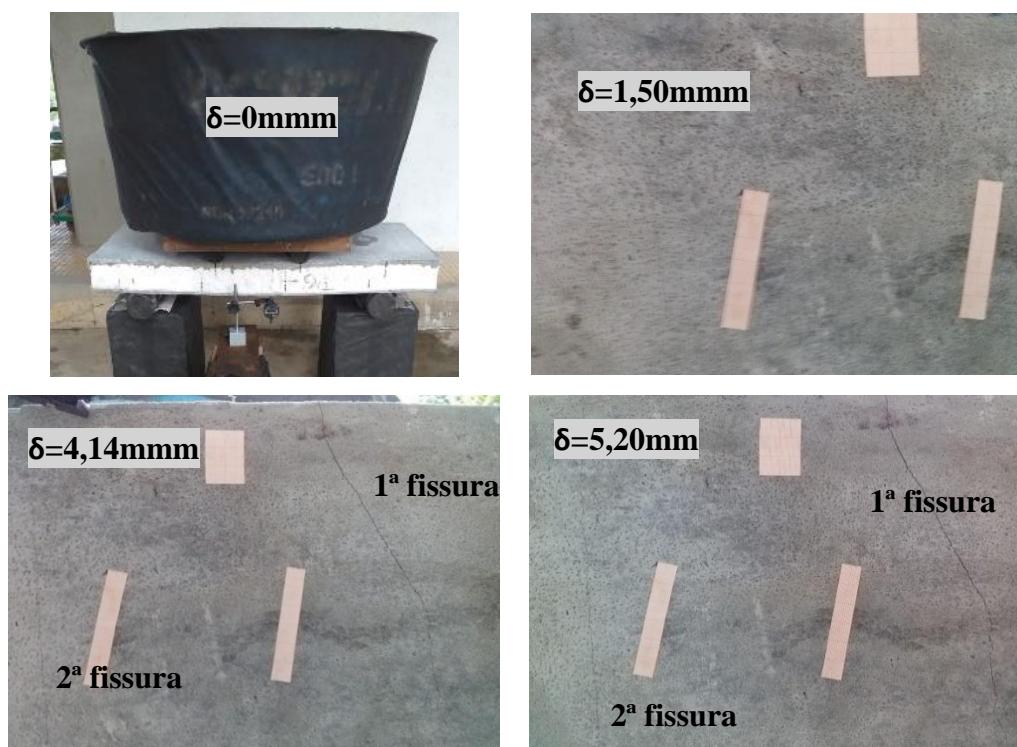


Figura 40. Processo de abertura de fissuras no painel sanduíche.

4.3 Ensaio térmico

4.3.1 Condutividade térmica

O resultado do ensaio de condutividade térmica foi de $0,053 \text{ W/mK}$ e a resistência térmica foi de $2,3 \text{ m}^2\text{K/W}$, estudados em uma secção de painel sanduíche com 3 camadas de malha de galinheiro (PS3). A incerteza estimada: 3 %, intervalo de confiança 95%. Na Tabela 20 é apresentado um comparativo dos valores de condutividade térmica de diferentes materiais, segundo a ABNT NBR 15.220-2:2005. Nesse comparativo pode-se verificar que o painel apresentou valores de condutividade abaixo dos valores encontrados para os demais materiais e que atingiu valores muito próximos à Lã de Rocha. Isso, provavelmente, devido à grande espessura da placa de EPS.

Tabela 20. Comparativo de condutividade térmica em materiais diversos.

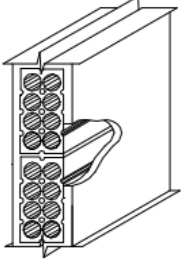
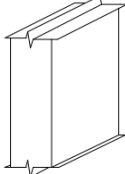
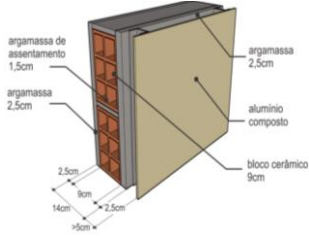
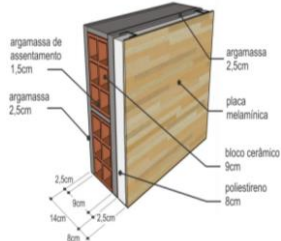

Material	Condutividade Térmica (λ) (W/mK)	Fonte
PS3 ρ (468,41 kg/m ³)	0,053	Autor
Madeira ρ (800-1000 kg/m ³)	0,29	ABNT NBR 15220-2: 2005
Pinho, cedro, pinus ρ (600 - 750 kg/m ³)	0,23	
Placas de fibro-cimento ρ (1800-2200 kg/m ³)	0,95	
Argamassa Comum ρ (1800-2100 kg/m ³)	1,15	
Argamassa celular ρ (600-1000 kg/m ³)	0,40	
Lã de rocha ρ (20-200 kg/m ³)	0,045	

Os materiais se caracterizam como isolantes térmicos, quando a sua condutividade térmica varia entre 0,005 e 0,050 W/mK, segundo (SHAWYER & MEDINA, 2005). Em função deste critério o painel sanduíche estudado pode ser considerado com certa capacidade isolante e serão necessários posteriores estudos para assegurar com maior precisão o grau de isolamento.

4.3.2 Transmitância térmica

Em relação à transmitância térmica (U), o valor calculado foi de 0,43 (W/m².°C), este foi comparado com os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica das paredes externas estabelecidos na norma NBR 15575-4: 2013, para zona Bioclimática número 8. Segundo a norma o valor de (U) deve ser menor o igual a 2,5 (W/m².°C), portanto o valor obtido cumpre com esta exigência normativa; também será apresentada na Tabela 21 um comparativo onde podem ser vistos os valores de transmitância térmica (U) destacados na NBR 15220-3: 2005 e no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade E Tecnologia – INMETRO (2013) para distintos tipos de paredes comumente implementado, em contraste com o apresentado neste trabalho.

Tabela 21. Comparativo de transmitância térmica (U) em diversas paredes.

Parede	Descrição	(U) (W/m ² .°C)	Referência
	<p>Parede de tijolos de 8 furos circulares, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 10,0x20,0x20,0 cm. Espessura da argamassa de assentamento (1,0 cm). Espessura da argamassa de emboço (2,5 cm). Espessura total da parede: 15,0 cm.</p>	2,24	NBR 15220-3 (2005)
	<p>Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm.</p>	4,40	
	<p>Argamassa interna (2,5cm). Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm). Argamassa externa (2,5 cm). Câmara de ar (> 5cm). Placa de Alumínio composto. Espessura total: 14 cm.</p>	0,65	INMETRO (2013)
	<p>Argamassa interna (2,5cm) Bloco cerâmico (9,0 x 14,0 x 24,0 cm) Argamassa externa (2,5cm) Poliestireno (8cm) Placa melamínica. Espessura total: 14 cm.</p>	0,40	
	<p>PS3. Painel Sanduíche com 3 camadas de tecido galinheiro. Argamassa externa e interna (1cm). Núcleo de EPS (10 cm). Espessura total: 12 cm.</p>	0,43	Autor

Observando a Tabela 21 é possível destacar que os valores obtidos de Transmitância térmica do painel sanduíche estudado foram inferiores aos apresentados nas paredes de tijolos de 8 furos e na parede de concreto maciço. Se mantendo mais próximo das paredes com camada de ar (>5cm) e a de Poliestireno (8cm), as quais apresentaram valores entre 0,40 e 0,65 (W/m².°C), ainda e quando a espessura destas paredes é superior em 2cm com a apresentada pelo Painel Sanduíche estudado. Este resultado pode atribuir-se à grande espessura do núcleo do painel sanduíche.

Se considerarmos a transmitância térmica (U) para paredes externas conforme a NBR 15.575-4: 2013, com um $\alpha^a > 0,6$ (absortância à radiação solar para o caso de cores escuras – valor crítico tomado como referência dado que não há uma cor definitiva do projeto), o valor de transmitância térmica estudada deverá ser $\leq 2,5$. Podemos dizer, portanto, que o painel sanduíche atingiu esta solicitação, dado que o valor obtido foi de 0,43(W/m².°C).

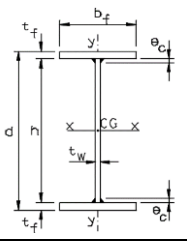
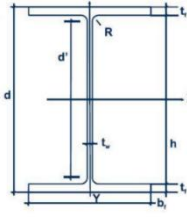
4.4 Protótipo habitacional

Devido ao alto valor do m² de construção e ao grande déficit habitacional que existe na cidade de Manaus, foi pensada esta proposta habitacional baseada nos seguintes aspectos construtivos que se detalham a seguir:

- Para o modelo de habitação foi considerada a implementação de painéis de ferrocimento pré-fabricados, não estruturais para paredes e cobertura de teto, constituídos por um compósito de argamassa com tripla malha hexagonal, com estrutura metálica autoportante com perfil soldado CVS 150 x 24 (altura em mm x kg/ml), perfis laminados W 200 x 24 (altura em mm x kg/ml) os quais asseguram e dão uniformidade a os painéis na conformação das paredes, algumas as características destes elementos podem ser observada através da Tabela 22. A escolha destes perfis é o resultado de recomendações dos fabricantes e de um cálculo simples para pré-dimensionamento de pilares e elementos, como primeiras hipóteses para posterior estudo estrutural.
- Os painéis sanduíches implementados respeitam um tamanho que permite a sua fabricação, manipulação e transporte, assim como a sua adequação às dimensões do projeto arquitetônico apresentado. A junta considerada para a união dos painéis é de fita telada, assim mesmo o acople dos painéis serão realizados através de conectores

metálicos e perfis metálicos tipo C que darão o suporte necessário para a todas as conexões;

Tabela 22. Perfis implementados no protótipo construtivo.

Secção	Perfil	Utilidade	bf (mm)	tf (mm)	H (mm)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)
	CVS (I) (200 x 24)	Coluna e Viga	140	8	184	2.312	366
	W (H) (150 x 37,1)	Encaixes e Painéis	154	11,6	139	2.224	707

- No que respeita ao dimensionamento do protótipo, este responde a uma habitação de altura lateral 3,75m, com uma área útil de 42,05m²; constituída na sua totalidade de painel sanduíche, desde as suas paredes até o telhado, cuja inclinação é de aproximadamente 20%. Neste sistema foram implementados um total de 177 painéis sanduíches, discriminados em; 120 para a formação de paredes e 57 para o telhado; com um rendimento aproximado de 1,5 painéis por metro quadrado. O telhado foi desenhado em duas águas, para garantir a escorrência das águas pluviais assim como também, favorecer a ventilação cruzada.
- Para definição da área útil foi considerado os limites mínimos para moradias destinadas a habitações de baixa renda (povo) segundo Biagioni (2017) e que se observam na Tabela 23. Nesta se detalham os valores mínimos considerados tanto para o Brasil, com a implementação do projeto **Minha Casa Minha Vida** (MCMV) na versão antiga e atualizada, assim como também as consideradas por outros países de Sul América e Europa. O Protótipo desenvolvido neste trabalho considerou uma pequena habitação com um dormitório de área útil 42,05m², sendo esta área superior às consideradas nos países de Sul América e Europa com a exceção da Inglaterra; em relação às habitações de dois dormitórios, esta proposta construtiva supera em área útil aos considerados pelo projeto MCMV (atualizado) e os apresentados por Espanha (Catalunha) e Venezuela;

Tabela 23. Área útil das unidades habitacionais (m²).

País	1 dormitório	2 dormitório
Brasil (MCMV)		32
Brasil (MCMV) atualizado		39,8
Argentina (Buenos Aires)	35,7	44,2
Espanha (Catalunha)	20	40
França	28	56
Inglaterra e Gales (<i>English Partnerships</i>)	44	67
Portugal	34	47
Venezuela	27,8	33,8

Fonte: Biagioni, 2017.

- Pela média da Figura 41 observa-se uma vista explodida dos elementos que constituem o painel sanduíche, assim como a possível instalação do mesmo com os perfis metálicos para instalação em obra, considerando a implementação de perfis fixados externamente;

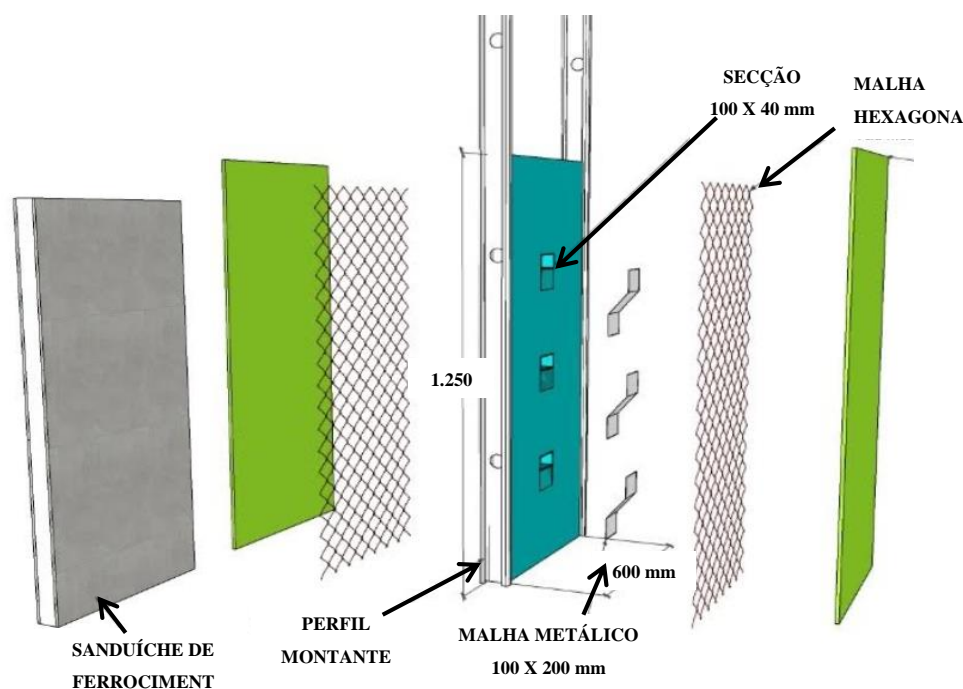


Figura 41. Perfil de painel sanduíche. Vista explodida.

- Em relação as instalações eletro sanitárias esta pesquisa sugere que sejam considerada a colocação de canos previamente colocados dentro do painel sanduíche para facilitar os procedimentos de instalação em obra e os eventuais desperdícios de material produtos dessas instalações, conforme é apresentado na Figura 42. Na mesma também se observa os sulcos para encaixe dos perfis, como alternativa para seu uso e a sua sujeição através de parafusos de fixação;

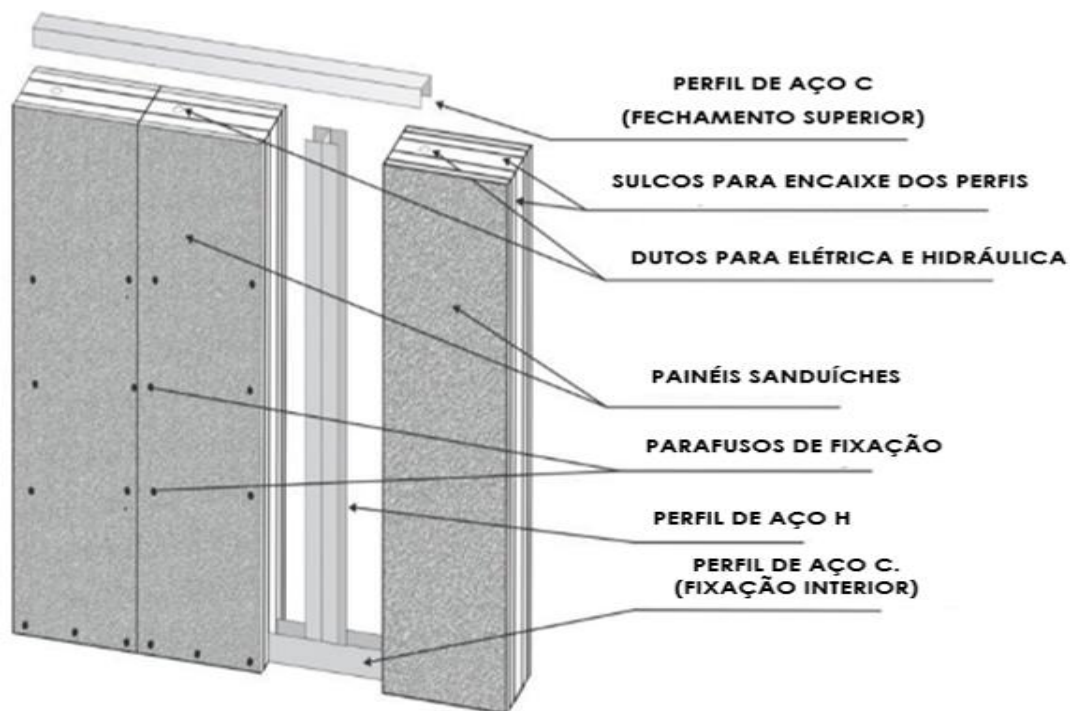


Figura 42. Acoplamento de perfis de fixação com painel sanduíche. Perfis enfiados no painel.

Fonte: <https://www.pinterest.pt/pin/537898749237020055/?lp=true>

- Um detalhe do dimensionamento da moradia proposta por esta pesquisa, e apresentado na Figura 43. Em relação à volumetria e distribuição de painéis e mobiliário se evidenciam na seguinte distribuição: Figura 44- A, se observa a estrutura metálica e perfis laminados, formando o suporte estrutural que dá a forma retangular à moradia; Figura 44-B, pode-se ver a conformação das paredes com o acoplamento dos painéis sanduíche, considerando perfis laminados inseridos; Figura 44-C, apresenta-se a instalação dos painéis de telhado da casa com os perfis metálicos e laminados inseridos e a Figura 44-D, se evidencia uma distribuição fatível do mobiliário no interior da moradia, distribuídos em dois ambientes; uma habitação com banheiro incluído e uma sala (com sofá cama retrátil para criança ou visitas), comedor e cozinha;

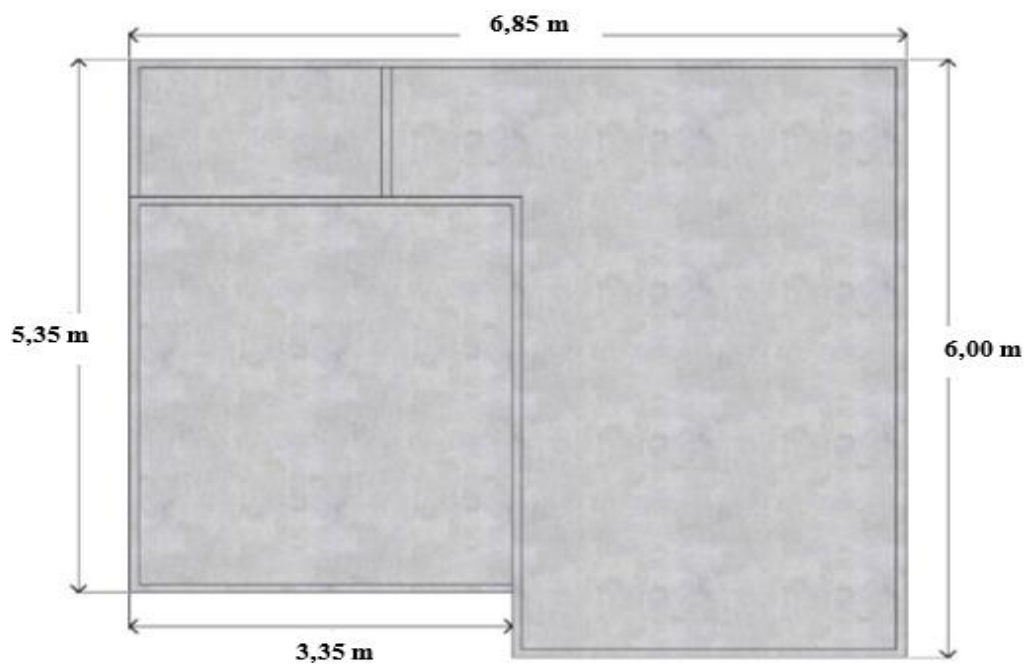


Figura 43. Vista inferior do protótipo, dimensionamento.

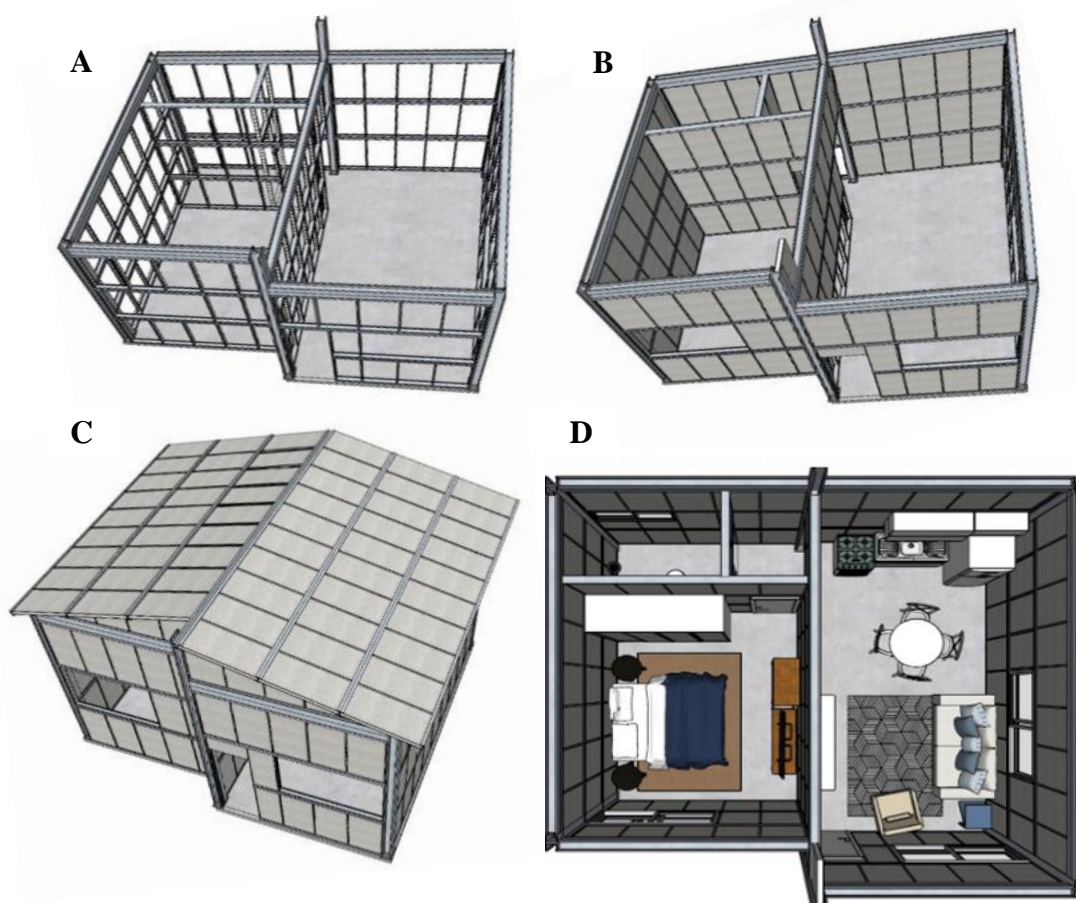


Figura 44. Volumetria com distribuição dos painéis. A- Estrutura metálica. B- Paredes com painel sanduíche acoplados. C- Telhado da casa. D- Distribuição de mobiliário.

Finalmente o modelo proposto neste trabalho foi baseado no modelo de Núcleo – úmido, e o alvo principal deste sistema é facilitar a construção de habitações residenciais de forma prática, rápida e de qualidade (Quiroga, 2017). Assim como, a implementação de espaços menores com alta utilização dos ambientes (BARRETO, 2016). Para isto, foram tomadas em consideração as estratégias passivas para habitações na cidade de Manaus em relação ao conforto térmico, conforme é mencionado na revisão bibliográfica no item 2.1, assim como os empreendimentos de Habitação de Interesse Social.

Uma vista explodida e apresentada por meio da Figura 45, apresentando todos os elementos do conjunto construtivo, separando estes em suas principais partes constituintes, desde o telhado até a laje de alicerce da moradia.

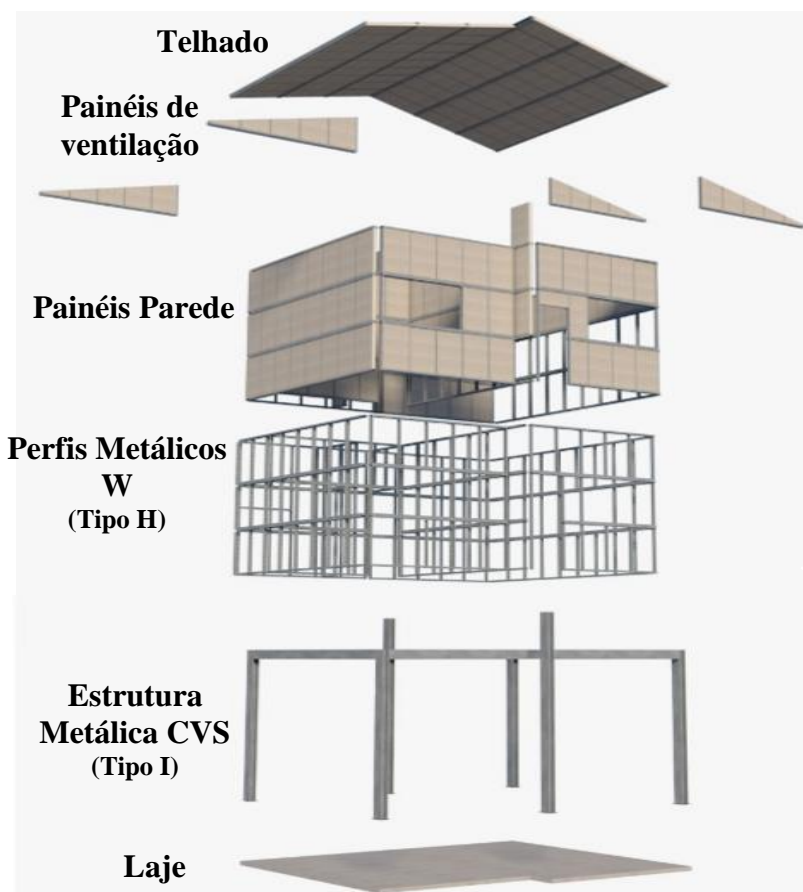


Figura 45. Vista explodida do modelo habitacional.

Este protótipo habitacional é só uma demonstração da aplicabilidade e uso do painel sanduíche para moradias. Este pode ser acoplado a quase qualquer partido

arquitetônico desde que seu uso não seja estrutural, inclusive habitações para armazém de materiais, lojas em centros comerciais. O painel também oferece a possibilidade de inúmeros tipos de acabamentos e cores, assim como texturas tanto das paredes como do telhado, devendo este último passar por um processo de impermeabilização para seu correto funcionamento, durabilidade e estanqueidade.

CAPITULO V

5 CONCLUSÕES

Como principais conclusões nesse trabalho, podemos citar que:

- a. O uso da malha de tecido de galinheiro apresentou resultados satisfatórios frente às análises de resistência à tração na flexão do compósito de ferrocimento comparativamente ao uso da malha metálica, mostrando-se uma boa opção para o reforço de compósitos cimentícios em termos de custo-benefício.
- b. Em relação aos painéis sanduíches desenvolvidos, estes, apresentaram boa aparência externa e mostraram propriedades mecânicas satisfatórias para serem utilizados como sistemas de vedação e divisórias com uma resistência média de 4 kN de carga;
- c. Com relação ao ensaio de condutividade térmica, observou-se que o painel sanduíche apresentou baixos valores, indicando um futuro promissor para esses painéis.
- d. A consideração de painel sanduíche como sistema de divisória e vedação mostrou a versatilidade de aplicação dentro de um protótipo construtivo simples com otimização dos espaços, flexível a melhoras e que pode ser reorientado de acordo com as necessidades da família a usufruir e as condições do meio ambiente; facilitando ampliações e reparos com a consequente redução de tempo, impacto ambiental e custo imprescindíveis no acelerado século XXI que vivemos.
- e. Espera-se que este sistema continue em estudo e futuramente forneça uma possível solução tangível à problemática habitacional atual, baseada em leveza, praticidade, máxima utilização dos espaços, assim como o respeito das individualidades, meio ambiente, conforto térmico e acústico.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Realizar ensaio de compressão coplanar em painéis sanduíches;
- Implementação de só rigidizadores metálicos para redução do peso do painel sanduíche;
- Elaboração do painel sanduíche variando os materiais do núcleo;
- Elaboração do painel sanduíche variando a espessura da argamassa.
- Ensaio de resistência a fogo do painel sanduíche;
- Modelagem de novos protótipos construtivos;
- Estudo do conforto térmico e acústico do protótipo construtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.752:2016. Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial – Especificação.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11.949:2007. Poliestireno Expandido para Isolação Térmica. Determinação da Massa Específica Aparente.
- ABNT–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.276:2016 Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência.
- ABNT–ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.279:2005. Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.529: 2013. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13.749: 2013. Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575:2013. Desempenho de edificações habitacionais.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, Parte 1: Desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.220. Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações de Interesse Social, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248:2003 – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Comitê: ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados – 2003.

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 15.575. Edificações Habitacionais– Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas– SVVIE. Quarta Edição, 2013.
- AGOPYAN, V. et al. Alternativas Para Redução de Desperdício de Materiais nos Canteiros de Obra: relatório final. São Paulo: Epusp, 1998.
- ALLEN, H. G., Analysis and design of structural sandwich panels, Pergamon Press, Oxford. Aerospace Engineering: <http://aerospaceengineeringblog.com/sandwich-panel/> .1969, visitado em 06-08-2018.
- ALMALKAWI A. T, HONG Weisheng, HAMADNA Sameer, SOROUSHIAN Parviz, DARSANASIRI A.G.N.D., BALCHANDRA Anagi, Ghassan Al-Chaar, Mechanical properties of aerated cement slurry-infiltrated chicken mesh. Journal Construction and Building Materials 166 (2018), pág.: 966–973.
- ALMEIDA, Maria Inês A., Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicação na indústria da construção, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2009.
- ALMEIDA, Marília Corrêa de. Fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos (PPAC) e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha: comparativo dos processos de execução. Porto Alegre, 2010. URGs. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/26059>. Acesso em: 07 set. 2016.
- AMAZONAS – GOVERNO DO ESTADO – SEPLAN; MANAUS – Prefeitura Municipal; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Desenvolvimento Humano em Manaus – Atlas Municipal. 2006. Volume I.
- ANGELIM, R. R.; ANGELIM, S. C. M.; CARASEK, H. Influência da distribuição granulométrica da areia no comportamento dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, V., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003.
- ANTUNES, G. R., MASUERO, A. B. “Flexural tensile strength in mortar coating reinforced with diferente types of metal mesh: A statistical comparison”, Construction and Building Materials, v. 121, p.559-568, 2016.
- ANSI/ASHRAE Standard 55R (2004) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.: Atlanta.
- ASTM, C393-00: Standard Test Method for Flexural Properties of Sandwich Constructions, American Society for Testing and Materials Annual Book of ASTM Standards, 2000.
- ASTM, C393-11: Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure, Sections 7 and 11 were editorially corrected in February 2012.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAM (ABCP), Programa Setorial da Qualidade PSQ de Cimento Portland, 2016.
- AZEVEDO, S. d. A crise da política habitacional: dilemas e perspectivas para o final dos anos 90. A crise da moradia nas grandes cidades: da questão da habitação à reforma urbana. L. C. d. Q. RIBEIRO and S. d. AZEVEDO. Rio de Janeiro, Editora da UFRJ: 73-101. 1996.
- BAÍÁ, Luciana Leone Maciel; SABBATINI, Fernando Henrique. Projeto e execução de revestimento de argamassa. 4ª edição, O nome da rosa editora Ltda. São Paulo/SP, 2008.
- BARRETO, Pâmela. Os Microapartamentos: a tendência do século XXI. Revista Especialize On-line IPOG – Goiânia. Edição nº11, vol. 01/2016 julho/2016.
- BÍBLIA – GÊNESIS 2:10-15. Nova versão internacional 1993, 2000 de Sociedade Bíblica Internacional. 12ª Edição.
- BIAGIONI, Bruna Maria. Os limites do mínimo: discussão sobre o modelo de moradia destinada ao povo. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2017.
- BRASKEN. Tecnologia do PVC. 2ª edição revista e ampliada. ProEditores. São Paulo, 2006.
- BUSH Td, STINE GI, “Flexural Behavior of composite precast concrete sandwich panels with continuous truss connectors”, PCI J, 1994, 39, 112 – 12.
- CALLISTER JR., WILLIAM D., Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução, 1a ed., Rio de Janeiro, LTC, 2002, ISBN: 85-216-2188-5 ISO 6241 Performance Standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered (Normalização e Desempenho dos Edifícios. Princípios de sua preparação e fatores a serem considerados). 1984.
- CÁRDENAS E, FERNÁNDEZ D. Estudio de la influencia del factor de forma, sobre la temperatura operativa en edificaciones, en la ciudad de quito, mediante simulación en EnergyPlus. Trabajo de maestría. Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Mecánica - 2017.
- CARNEIRO, A. M. P. Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas. 213 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- CARVALHO Michele Tereza e SPOSTO Rosa Maria Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 207-225, jan. /mar. 2012. Pag. 208.

- CASTILLA, M; ALVAREZ, D; BERENGUEL, M; PEREZ, M; RODRÍGUEZ F, e GUZMÁN, L. Técnicas de control del confort en edificios,” Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI, vol. 7, nº 3, pp. 5- 24, 2010.
- CASTELO, Ana. Fundação Getúlio Vargas. Impactos de Minha Casa Minh Vida. Projeção baseada em impactos diretos e indiretos com dados referentes até julho 2014.
- CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES (CB3E). Proposta de método para a avaliação da eficiência energética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas. Versão 3. Florianópolis, agosto de 2017.
- CHANDRASEKHARRAO T, Gunneswararao TD, Ramanarao NV, Rambabu C. An experimental study on ferrocement box-beams under flexural loading. Int J Emerg Technol Adv Eng 2012;2(9):138–44.
- CHEAH Chee Ban, RAMLI Mahyuddin. The structural behaviour of HCWA ferrocement–reinforced concrete composite slabs. Journal Composites: Part B 51 (2013) 68–78.
- CHOGUILL, C. L. The Search for Policies to Support Sustainable Housing. Habitat International, v. 31, n. 1, p. 143-149, 2007.
- CICHINELLI. Gisele. Sistema construtivo para casas e sobrados usa painéis de PVC preenchidos com concreto. Revista TÉCNICE, edição 199. Outubro de 2013. Acessada em 17/11/2017. Disponível em <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/199/artigo299968-1.aspx>
- COMISSÃO SETORIAL DE EPS da Abiquim, 2007.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002. Alterada pelas Resoluções 348, de 2004, nº 431, de 2011, e nº448/2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307> >. Acesso em: 2 marços. 2018.
- DA SILVA Alessandra. Estratégias passivas para habitações na cidade de Manaus visando o conforto térmico. Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 13ª Edição nº 013 Vol.01/2017 julho, 2017.
- DE CAMPOS, Patricia Farrielo; LARA, Arthur Hunold. Sistemas construtivos alternativos para habitações populares. In: Nutau, 9., 2012, São Paulo. Anais São Paulo: USP, 2012. p. 1-15.
- DE OLIVEIRA, Marcos Bandeira. SketchUp aplicado ao Projeto Arquitetônico: Da concepção à apresentação de projetos arquitetônicos. Editora Novatec, 19 de março de 2015 - 256 páginas.

- DOMARASCKI, Conrado Sanches. FAGIANI, Lucas Sato. Estudo comparativo dos sistemas construtivos: Steel Frame, Concreto PVC e Sistema Convencional. Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. São Paulo, 2009.
- ENTREPLANOS. Primer sistema integral de Núcleo Húmedo en Argentina. Jornal digital. Detalhes construtivos. 24/11/2017.
- FARIA, Renato. Industrialização econômica. 2008. Disponível em <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/136/capa-industrializacao-economica-286523-1.aspx>. Revista TÉCNE, edição 136. Julho de 2008. Acessada em 17/12/2017.
- FERREIRA, Augusto Sendtko - Estudo comparativo de sistemas construtivos industrializados: paredes de concreto, steel frame e wood frame. 2014.
- FERREIRA, Camila; SOUZA, Henor; ASSIS, Eleonora. Estudo do Clima Brasileiro: Reflexões e Recomendações sobre a Adequação Climática de Habitações. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construtivo, (ENTAC), 2014.
- FERREIRA, Emerson A. Marques; FRANCO, Luiz Sérgio. Metodologia para elaboração do projeto do canteiro de obras de edifícios. Universidade de São Paulo, 1998.
- FERREIRA, Diogo Marques, Comportamento estrutural em serviço e à rotura de painéis sanduíche compósitos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, 2012.
- FILHA, Dulce Corrêa Monteiro; COSTA, Ana Cristina Rodrigues da.; FALEIROS, João Paulo Martins; NUNES, Bernardo Furtado. Perspectivas de investimentos 2010-2013 – Construção Civil. BNDES, 2009. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/09_Perspectivas_do_Investimento_2010_13_CONSTRUCAO_CIVIL.pdf. Acesso em: 03 set. 2017.
- FLASAN. Sistema Light Steel Framing. Solução para construção em seco. 2013. Disponível em: < <http://www.flasan.com.br/site/sistema-light-steel-framing/>>. Acesso em 14/09/2018.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Informativo do Centro de Estatística e Informações (CEI). Diretoria de Estatística e Informações (Direi). Belo Horizonte, junho de 2018, Pág. 33.
- GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: Energy and Building, vol. 18, n.1, p.11-23, 1992.
- GLORIA, M'hamed. Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.
- GOMES A, MARTINS C, 2002. Proposta De Método de Dosagem Racional De Argamassas Contendo Arguilominerais. CETA, Centro Tecnológico de Argamassa. Jornal ANTAC 2002.

- GOMES, J. O. e LACERDA J. F. S. B. Uma visão mais sustentável dos sistemas construtivos no Brasil: análise do estado da arte. *Tecnologias para Competitividade Industrial*, 7(2):167–186, 2014.
- GREVEN Hélio, FOLLMANN Alexandra. Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: Uma abordagem atualizada. Livro digital, Coleção HABITARE / FINEP - 2007.
- G12 Innovation. Núcleo Úmido uma inovação! *Jornal digital*. 28/12/2017. Site:<<http://www.g12innovation.com.br/2017/12/28/nucleo-umido-uma-inovacao/>>
- HÉLBER Freitas. Direitos sociais: direito à moradia. *Revista digital JUSBRASIL*. 2014. Disponível em: <<https://helberfreitas.jusbrasil.com.br/artigos/145423551/direitos-sociais-direito-a-moradia>>. Acesso em maio 2018.
- IBAÑEZ, Investir em inovação pode dinamizar a economia, aponta pesquisa da FFLCH Publicado em Sociedade por Redação em 7 de agosto de 2012.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. (1970, 1980, 1991, 2000 e 2007) Censos Demográficos e Contagem Populacional.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2015. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2015/default_sintese.shtm>. Acesso em: junho 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) 2018.
- INCROPERA, F.P., Witt, D.P., 2008. “Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa”, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, Brasil.
- ISO 6241- Normalização e Desempenho dos Edifícios. Princípios de sua preparação e fatores a serem considerados, 1984.
- ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 140-4, Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms – Part 4: Airborne sound insulation, 1998.
- ISO: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 717-1, Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation, 1996.
- ISO 8301:1991/AMD 1:2010. Thermal insulation — Determination of steady-state thermal resistance and related properties — Heat flow meter apparatus — Amendment.
- JOSEPH Daniel Ronald, J. PRABAKAR P. Flexural behavior of precast concrete sandwich panels under different loading conditions such as punching and bending.

Alagusundaramoorthy. Alexandria University Alexandria Engineering Journal, Production and hosting by Elsevier B.V. 2016.

- KHANDELWAL e DESHMUKH. Ferrocement: A Modern Technology With Its Application In Water Resource Department (Wrd). International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume: 07 Issue: 4 | 2016.
- KÖPPEN, W. Das geographischa system der klimate. Gebr, Borntraeger, 1936. p.1- 44
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. Klimate der Erde. Gotha: Verlagcondicionadas. Justus Perthes. 1928. n.p.
- LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. Eficiência energética na arquitetura, 3º Edição, Rio de Janeiro, ELETROBRAS/PROCEL, 2014.
- MARICATO Ermínia. Por um novo enfoque teórico na pesquisa sobre habitação. Cadernos metrópole 21 pp. 33-52. 2009.
- MASCARÓ, L. R. de. Luz, Clima e Arquitetura. São Paulo: Nobel, 1983.
- MATALKAH Faris a, BHARADWAJ Harsha, SOROUSHIAN Parviz, WUD Wenda, ALMALKAWI Areej, BALACHANDRA Anagi M., PEYVANDI Amirpasha. Development of sandwich composites for building construction with locally available materials, 2017.
- MATEUS, Ricardo. F. M. Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade do Moinho, Portugal, 2004.
- MELO FILHO, J. A. “Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal”. Tese de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.
- MENDONÇA, P. T. R. Materiais Compostos & Estruturas-Sanduíche: projeto e análise. Barueri, SP: Manole, 2005.
- MERCATOR, FORTALEZA. Alternativa de provisão habitacional no brasil e no mundo. Housing provision alternatives in brazil, hong kong and the united kingdom márcio moraes valença. V. 13, N. 3, P.7-23, set/dez. 2014
- MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR. Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba. Curitiba: MINEROPAR, 2004. 288 p.
- MOHAMAD Noridah, HASSAN Najmuddin, The Structural Performance of Precast Lightweight Foam Concrete Sandwich Panel with Single and Double Shear Truss Connectors Subjected to Axial Load. Advanced Materials Research Vols. 634-638 pp 2746-2751. (2013).

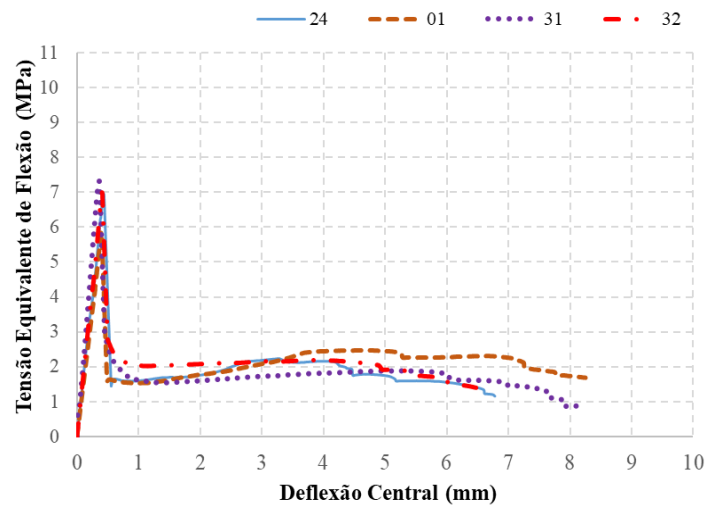
- MOHAMAD Noridah, a, MAHDI Muhammad Hilmi, Testing of Precast Lightweight Foamed Concrete Sandwich Panel With Single and Double Symmetrical Shear Truss Connectors Under Eccentric Loading. *Advanced Materials Research Vols.* 335-336 pp 1107-1116. (2011).
- NEVES. L. O. (2006) *Arquitetura bioclimática e a obra de Severiano Porto: estratégias de ventilação natural*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- NETO, M. F. F. *Nível de conforto acústico: Uma proposta para edifícios residenciais*. 2009. 233 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- NIMER, E. Um Modelo Metodológico de Classificação de Climas. *Revista Brasileira de Geografia*, Rio de Janeiro, v. 41, p. 59-89, out/dez, 1979.
- NOOR Am, Salihuddin RS, MAHYUDDIN R. Ferrocement encased lightweight aerated concrete: a novel approach to produce sandwich composite. *Mater Lett* 2007;61(19–20):4035–8.
- OLGYAY, Victor - *Arquitetura y clima. Manual de diseño bioclimáticos para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- ONU-HABITAT. *Programa das Nações Unidas para os Assentamentos Humanos*, 2010.
- PANE, M. F.; CORBO, C. S.; PERSONA, M. V.; CARLUCCI, M. Microapartamentos em empreendimentos imobiliários contemporâneos. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 6., 2019, Uberlândia. Anais... Uberlândia: PPGAU/FAUeD/UFU, 2019. p. 333-344.
- PCI COMMITTEE REPORT (1997). State-of-the-art of Precast/prestressed sandwich wall panels. *PCI Journal*, p.32-49, May-June.
- PCI COMMITTEE REPORT (1997). State-of-the-art of Precast/prestressed sandwich wall panels. *PCI Journal*, p.92-134, Mar-Abr.
- PCI Sandwich Wall Committee. State-of-the-art of precast/prestressed sandwich wall panels. *PCI Journal* 1997;42(2): p.1–60.
- PHALKE1, Darshan G. GAIDHANKAR. Flexural Behaviour Of Ferrocement Slab Panels Using Welded Square Mesh By Incorporating Steel Fibers *Ijret*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. Volume: 03 Issue: 05 | May-2014.
- PFEIFER D.W.; HANSON, J.A. (1965). Precast concrete wall panel: flexural stiffness of sandwich panels. *PCA bulletin D99*, Portland Cement Association. Skokie, p.67-68.

- PRABAKAR DANIEL, J. P, J. Alagusundaramoorthy. Flexural behavior of precast concrete sandwich panels under different loading conditions such as punching and bending, 2016.
- QUIROGA CARLA. Surgen sistemas para acortar los tiempos de una obra en construcción - URL: "<https://www.lanacion.com.ar/2094887-la-innovacion-aplicada-a-los-sistemas-de-construccion> - Jornal digital Copyright © LA NACION. 23/12/2017.
- RIBEIRO, LUIZ Cessar de Queiroz; AZEVEDO, Sergio de. A Produção da Moradia nas Grandes Cidades Brasileiras: dinâmica e impasses. In: _____. (Org.). A Questão da Moradia nas grandes Cidades: da Política Habitacional à Reforma Urbana. Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 1996.
- RORIZ, M. Conforto térmico e desempenho térmico de edificações. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, 2008.
- RUFINO, Maria Beatriz Cruz. Minha Casa, Minha Vida...E a cidade? Avaliação do Programa Minha Casa, Minha Vida em 6 estados brasileiros. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2015.
- SALES, Alessandra do Amaral. A luta por habitação em Manaus: considerações acerca da experiência do Movimento Orquídea. In: IV JORNADA INTERNACIONAL DE POLITICAS PUBLICAS. 2013 pag. 2-8.
- SANDRONI, Paulo (org.) novíssimo dicionário de economia. São Paulo: Best Seller, 1999.
- SHAWYER, M.; MEDINA Pizzali, A.F. Materiales termoaislantes, características técnicas y criterios de selección. POR J.F. FYSON. DOCUMENTO TÉCNICO DE PESCA N° 436. ROMA, FAO. 2005. 120 P.
- SILVA, C. O. Análise Crítica dos Requisitos e Critérios de Qualidade da Argamassa Colante. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- TEMOCHE-ESQUIVEL, Juan F.; TOMAZETTI, Rodrigo R.; BARROS, Mércia M. S. B.; SABBATINI, Fernando Henrique. Painéis pré-fabricados de concreto em fachadas de edifícios: inovação tecnológica consolidada. ENTAC 2006 – XI 94 Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. Florianópolis/SC. 2006. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3307_3316.pdf Acesso em: 07 set. 2016.
- TÉCHNNE. Sistema que combina áreas úmidas numa mesma estrutura ganha prêmio na França. Jornal digital. Tag: Núcleo Úmido. 20/03/2018.

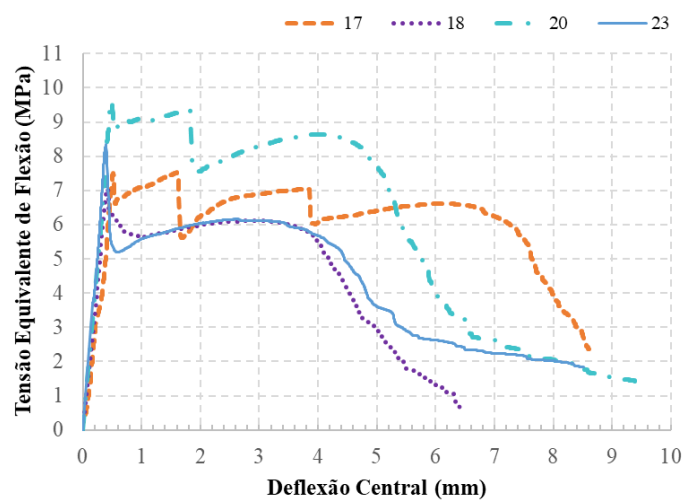
- VIVAN. André Luiz; PALIARI. José Carlos; NOVAES. Celso Carlos. Vantagem produtiva do sistema light steel framing: da construção enxuta à racionalização construtiva. XIII Encontro Nacional de Tecnologia e Ambiente Construído. Canela-RS, 2010.
- VINSON Jack R. Artigo de resumo. Sandwich structures American Society of Mechanical Engineers Appl Mech Rev vol 54, no 3, May 2001.
- VITTORINO Fúlvio. Requisitos de Conforto Acústico, Desempenho Acústico e as Experiências de ensaios de laboratório e campo. Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT). Abril 2013.
- VON WEIZSÄCKER, E. A. B. Lovins e L. H. Lovins, 1997. Doubling wealth–halving resource use. Earthscan, Londres, 320 pp, £ 15,99 (pbk). ISBN 1-85383-407-4.
- WAFI Mahmoud A and FUKUZAWA Kimio. Characteristics of ferrocement thin composite elements using various reinforcement meshes in flexure. Journal of Reinforced Plastics and Composites. The Author(s) 2010.
- WALRAVEN, J.C. and SPIERENBURG, S.E. J., (1985),” Behavior of Ferrocement with Chicken Wire Mesh Reinforcement “, Journal of Ferro cement , Vol. 15 , No. 1 , pp.3-13.
- WENDLER A. Sistema Construtivo Parede de Concreto: Um sistema com bom desempenho. In: Concrete Show, 2009. São Paulo.
- ZAVATTINI, J. A. Estudos do Clima no Brasil. Campinas: Editora Alínea, 2004.
- ZENKERT, D., The Handbook of Sandwich Construction, EMAS, Cradley Heath, 1997.

APÊNDICE A – CURVAS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO

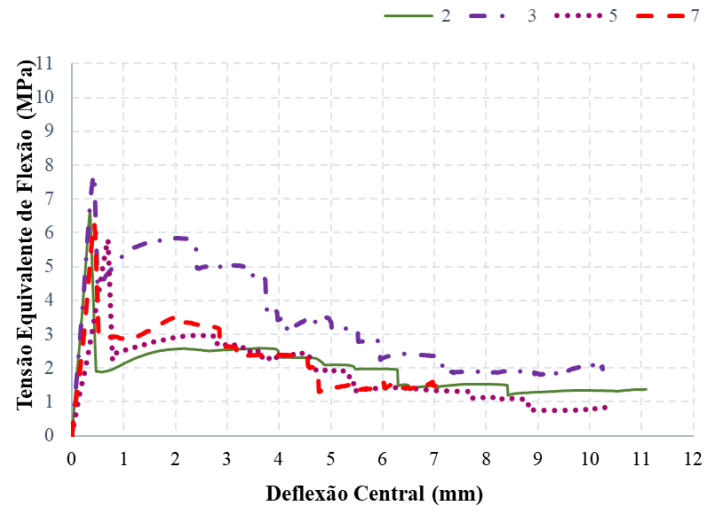
Todas as curvas dos ensaios realizados neste trabalho estão apresentadas nas figuras abaixo.



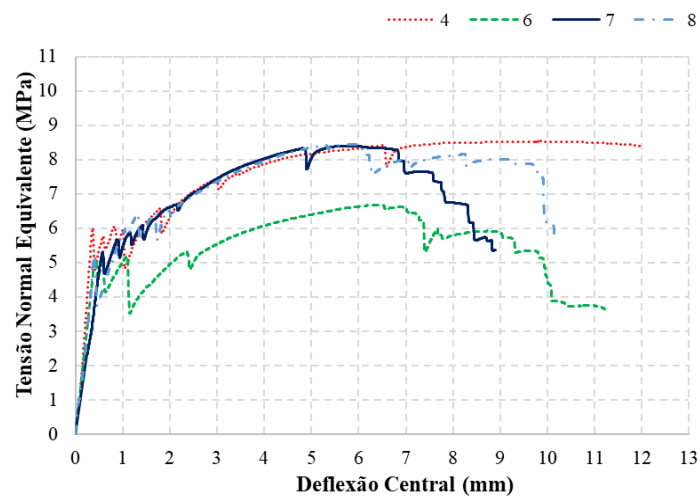
A.1. Curvas dos ensaios de flexão em 4 pontos dos compósitos PF2.



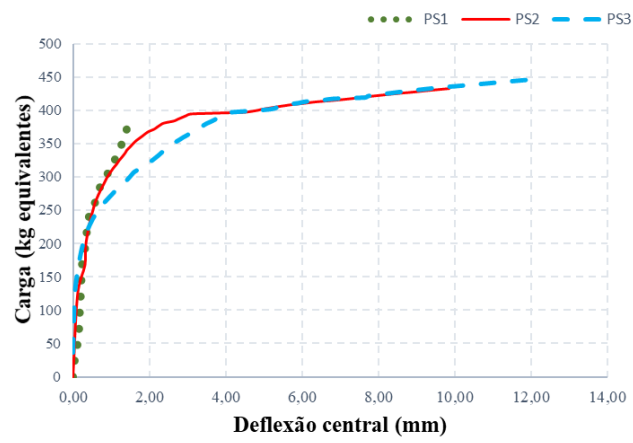
A.2. Curvas dos ensaios de flexão em 4 pontos dos compósitos PF1.



A.3. Curvas dos ensaios de flexão em 4 pontos dos compósitos PF3.

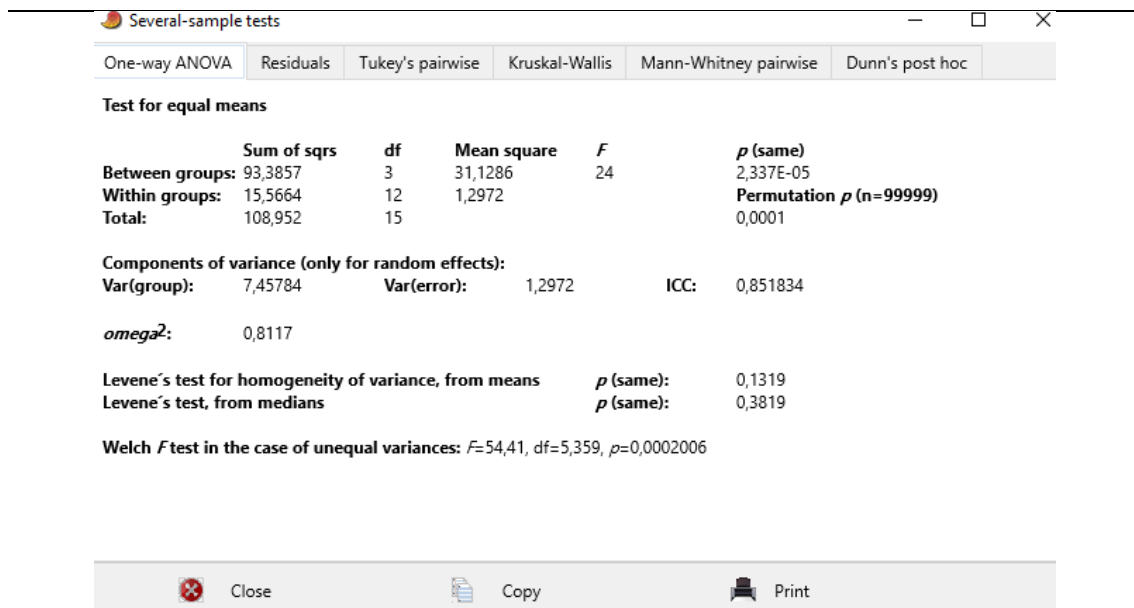


A.4. Curvas dos ensaios de flexão em 4 pontos dos compósitos PF4.

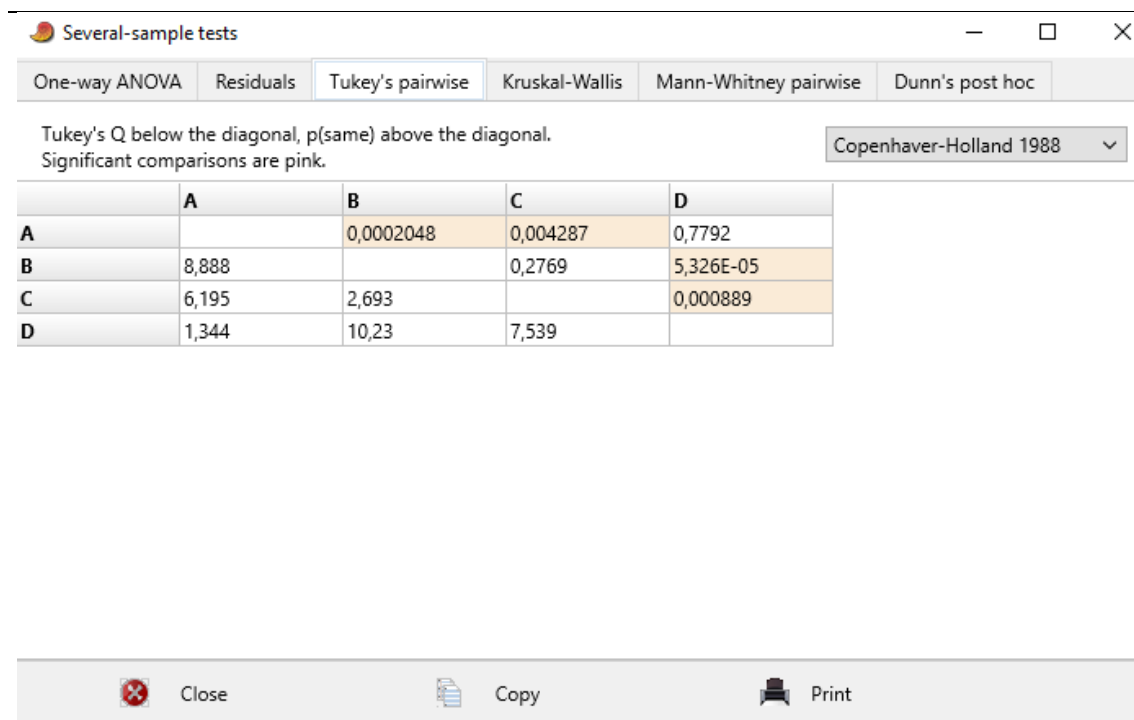


A.5. Curvas dos ensaios de flexão em 4 pontos de Painéis Sanduíches

APÊNDICE B – ANÁLISES ESTATÍSTICA COMPÓSITOS (PF)



B.1. Anova dos compósitos de ferrocimento (PF), *software PAST*.



B.2. Teste Tukey dos compósitos de ferrocimento (PF), *software PAST*.