



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

MELLYNE PALMEIRA MEDEIROS

**DESEMPENHO TÉRMICO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO COM O USO
DE GESSO E DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS**

Orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Co-orientador: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

**João Pessoa / PB
Setembro / 2016**

MELLYNE PALMEIRA MEDEIROS

**DESEMPENHO TÉRMICO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO COM O USO
DE GESSO E DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como um dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Estruturas e Materiais

Orientação: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Co-orientação: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

João Pessoa / PB

Setembro / 2016

Autorizo a reprodução total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na publicação
Serviço de Biblioteca na Documentação
Universidade Federal da Paraíba

M488d Medeiros, Mellyne Palmeira.
Desempenho térmico de blocos de vedação com o uso de gesso e de resíduos poliméricos / Mellyne Palmeira Medeiros.— João Pessoa, 2016.
115 f. : il. —

Orientador: Normando Perazzo Barbosa
Co-orientador: Aluísio Braz de Melo
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT

1. Engenharia civil. 2. Habitação popular. 3. Desempenho térmico. 4. Aproveitamento de resíduos. 5. Gesso. I. Título.

UFPB/BC

CDU: 624(043)

MELLYNE PALMEIRA MEDEIROS

**DESEMPENHO TÉRMICO DE BLOCOS DE VEDAÇÃO COM O USO
DE GESSO E DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como um dos requisitos para obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Estruturas e Materiais

Orientação: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Co-orientação: Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

Data do exame: _____

Defesa de dissertação de mestrado avaliada por Banca Examinadora composta pelos seguintes professores, sob a presidência do primeiro:

Professor Dr. Normando Perazzo Barbosa - UFPB

Professor Dr. Aluísio Braz de Melo - UFPB

Professora Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azerêdo – UFPB/IFPB

Professor Dr. Ulisses Targino Bezerra - IFPB

**João Pessoa / PB
Setembro / 2016**

Dedico este trabalho a todos que acreditam que é possível produzir materiais, para o setor da construção civil, com baixo impacto ambiental.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa, pela confiança e apoio ao longo da orientação deste trabalho. Foi um grande privilégio tê-lo como professor ao longo da minha trajetória acadêmica, principalmente, pelo grande exemplo de humano e de profissional;

Ao Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo, a quem expresso o meu sincero agradecimento e admiração, onde a orientação e o apoio foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra, pelas contribuições e pelo direcionamento da pesquisa provenientes das considerações feitas na banca de qualificação e disponibilidade em ajudar. Como também, pelo exemplo de profissional;

A Prof. Dra. Aline Azeredo, pela transmissão dos conhecimentos necessários relacionados ao desempenho de edifícios e a boa vontade em sempre ajudar;

Aos meus pais, Carminha, por ser minha maior referência; Isaac (*in memoriam*), pelo exemplo que ficará sempre presente na minha memória. Assim como, toda a minha família, por ser minha base;

Ao meu esposo, Marcos, pelo apoio e carinho que foram essenciais para a realização desse trabalho. Como também, a toda sua família, em especial, minha sogra, Fátima, por se fazer presente na vida do meu filho nos momentos que tive que me ausentar;

Ao meu filho, Benício, por nascer e me ensinar o que é mais importante na minha vida. Minha enteada, Marina, por trazer mais alegria para nossa família;

A equipe do LABEME Delby, Claudio, Zito, Ricardo, Gato, Lila e Mizo. Em especial a Sebastian, por sempre solucionar todos os “problemas”;

Aos professores Givanildo, Belarmino e José Gonçalves pela colaboração e
presteza na ajuda para o desenvolvimento desse trabalho;

Aos colegas da salinha do LABEME por tornarem meus dias de trabalho mais
fáceis, em especial, Adriano, Brunna, Fabianne, José Augusto, Gabryela,
Leovegildo, Mariane, Nely, Rômulo;

A todos os amigos que ajudaram com boas conversas, em especial, a Maria
Simone, pela amizade sincera;

A Jesus Charles, pelos ensinamentos e por simplificar muitas das minhas dúvidas;

A Pablo pela presteza em ajudar.

“Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa, nunca tem medo e nunca se arrepende”.

Leonardo Da Vinci

RESUMO

Nos últimos anos, houve um crescimento da produção de habitação popular no Brasil. Não obstante, as baixas condições de habitabilidade e a degradação ambiental são características de grande parte destas habitações. As limitações financeiras têm sido o principal argumento que justifica essas deficiências. Visando soluções técnicas, preocupadas no que concerne às questões ambientais e econômicas para o setor da construção civil, o uso do gesso apresenta vantagens por se tratar de um aglomerante menos agressivo ao meio ambiente. Desta forma, este trabalho pesquisa as alterações nas propriedades físicas e mecânicas, assim como o desempenho térmico, de compósitos de matriz de gesso com adições de resíduos poliméricos, dos quais são exemplos o Etileno Acetato de Vinila (EVA) e o Poliestireno Expandido (EPS). Os compósitos de gesso e resíduos de EVA e de EPS foram utilizados na produção de blocos para alvenaria de vedação. Também utilizaram-se garrafas PET (Poli Tereftalato de Etileno) no interior dos blocos produzidos, denominado, neste trabalho, de GESSOPET. Verificou-se que os blocos de compósitos de gesso com resíduos, tanto de EVA como de EPS, apresentaram melhoria relacionadas ao desempenho térmico quando comparados com blocos sem adições de resíduos, fabricados apenas com gesso. Por fim, este trabalho visa contribuir para o desenvolvimento de tecnologias construtivas, utilizando matéria-prima com reduzido impacto ambiental e com melhor relação entre custo e benefício.

Palavras-chave: gesso, aproveitamento de resíduo, desempenho térmico, habitação popular.

ABSTRACT

In lastest years, have been noticed the growth of social interest house in Brazil. However, the lower housing conditions and environmental degradation are characteristics of most of the produced housing. Financial constraints have been the main argument to justify these deficiencies. Seeking technical solutions, concerned with regard to environmental and economic issues for the construction sector, the use of gypsum is advantageous because it is less aggressive caking for the environment. Thus, this study aims to verify the changes in the physical and mechanical properties, and thermal performance of composite gypsum matrix with polymeric waste additions such as Ethylene Vinyl Acetate (EVA) and Expanded Polystyrene (EPS). The composite of gypsum and waste of EVA and EPS were used in the production of blocks for masonry sealing. It was also used bottles of PET (Poly Ethylene Terephthalate) inside of the produced blocks called in this work, GESSOPET. It has been found that the gypsum composite blocks of residues, both EVA as EPS showed better related to the thermal performance when compared with block without waste additions, manufactured only with plaster. Finally, this paper aims to contribute to the development of construction technologies using raw materials with low environmental impact and promote more economic construction.

Keywords: gypsum plaster, waste recovery, thermal behavior, social interest house.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Protótipo desenvolvido por Santos.....	30
Figura 2 - Unidade habitacional desenvolvida por Gomes	31
Figura 3 - Protótipo elaborado por Silva	32
Figura 4 – Edifício construído com blocos de concreto e garrafas PET	34
Figura 5 – Exemplo do encaixe horizontal do bloco construtivo de concreto e garrafas PET	34
Figura 6 - Casas construídas com gesso no município de Araripina.....	40
Figura 7 - Construção de habitação de padrão médio com blocos de gesso. (a) Execução da primeira fiada com blocos hidrofugados. (b) Elevação da alvenaria dos blocos. (c) Colocação da laje. (d) Habitação com dois pavimentos e cobertura em telha cerâmica.	41
Figura 8 - Casa com blocos de gesso utilizando coordenação modular	44
Figura 9 - Zoneamento bioclimático brasileiro.....	46
Figura 10 – Etapas do programa metodológico.....	49
Figura 11 – Agregado de EVA. (a) Agregado como coletado. (b) Agregado triturado em moinho de facas.	51
Figura 12 – Agregado de EPS. (a) Agregado como coletado. (b) Agregado triturado em moinho de facas	51
Figura 13 – Garrafas PET coletadas	52
Figura 14 - Composições das misturas	53
Figura 15 - Ensaio de absorção de água	55
Figura 16 - Curvas de níveis de absorção de água para Gesso-EVA.....	56
Figura 17 - Curvas de níveis de absorção de água para Gesso-EPS.....	56
Figura 18 - Ensaio de compressão. (a) Prensa. (b) Detalhe da ruptura do corpo de prova	57
Figura 19 - Curvas de níveis da resistência à compressão axial do Gesso-EVA. .	58
Figura 20 - Curvas de níveis da resistência à compressão axial do Gesso-EPS. .	58
Figura 21 - Misturas trabalhadas.....	59
Figura 22 – Modelo da forma dos blocos de GESSOPET.....	61
Figura 23 - Dimensionamento das tipologias	62
Figura 24 - Processo de produção dos blocos. (a) Molde. (b) Bloco de GESSOPET	63
Figura 25 – Ensaio realizados	64
Figura 26 - Aparelho de Vicat.....	66
Figura 27 - Mesa de espalhamento.....	66
Figura 28 - Ensaio de absorção de água. (a) Corpos de prova simples. (b) Corpos de prova hidrofugado.	67
Figura 29 - Ensaio de resistência à compressão. (a) corpo de prova simples. (b) corpo de prova hidrofugado.....	67
Figura 30 – Representação esquemática do ensaio de perda de massa.....	68
Figura 31 – Equipamento utilizado para a realização do ensaio de perda de massa por erosão	69
Figura 32 - Condutivímetro K30	70

Figura 33 - Amostra para ensaio de condutividade térmica. (a) Molde metálico para fabricação das amostras. (b) Amostra.....	71
Figura 34 – Princípio da medição da condutividade térmica	71
Figura 35 - Ensaio de absorção de água. (a) Pesagem do bloco. (b) Blocos submersos.....	72
Figura 36 - Ensaio de resistência à compressão. (a) Bloco na prensa. (b) Bloco rompido.	72
Figura 37 - Prensa hidráulica com parede para execução de ensaio de compressão.....	74
Figura 38 – Paredes construídas com os blocos de GESSOPET RF, EVA e EPS.....	75
Figura 39 - Planta baixa esquemática da câmara térmica	76
Figura 40 - Interior de câmara térmica. (a) parede instrumentada. (b) painel radiante.	76
Figura 41 - Mini parede	77
Figura 42 - Equipamento para ensaio de choque térmico.....	78
Figura 43 - Interior do equipamento elaborado para realizar ensaio de choque térmico. (a) Quando aquecido. (b) Quando resfriado com água em temperatura ambiente.....	78
Figura 44 - Curva granulométrica do gesso	80
Figura 45 – Curva granulométrica do EVA.....	81
Figura 46 – Curva granulométrica do EPS.....	81
Figura 47 - Tempo de início e fim de pega.....	82
Figura 48 - Ensaio de absorção de água para corpos de prova simples e hidrofugado	84
Figura 49 - Resistência à compressão de CP simples e hidrofugado	84
Figura 50 - Ensaio de absorção de água para blocos simples e hidrofugado	87
Figura 51 - Curva de carga x deslocamento.....	89
Figura 52 - Curva de tensão x deformação	89
Figura 53 - Fissuração da parede	90
Figura 59 - Ruptura da parede	91
Figura 60 - Variação de temperatura média durante o ensaio de condutividade para as amostras de Gesso RF, de Gesso EVA e de Gesso EPS.....	91
Figura 56 - Temperaturas obtidas nos 10 ciclos de aquecimento e molhagem nas mini paredes.....	94
Figura 57 – Temperaturas obtidas para o primeiro ciclo de aquecimento e resfriamento das mini paredes de GESSOPET.....	95
Figura 58 - Deslocamento horizontal da face oposta	96
Figura 59 - Projeto habitação popular da prefeitura municipal de João Pessoa. ..	98
Figura 60 - Projeto proposto para modulação em malha quadriculada.	99
Figura 61 - Ligações entre os blocos de gesso	100
Figura 62 - Perspectiva projeto de modulação com blocos de GESSOPET	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características técnicas das placas de gesso.....	23
Tabela 2 - Misturas dos corpos de prova produzidos.....	54
Tabela 3 – Proporções dos traços das misturas escolhidas	59
Tabela 4 - Exemplos de blocos utilizando garrafas PET na moldagem	60
Tabela 5 - Tipologia dos blocos de GESSOPET (medidas em cm)	62
Tabela 6 - Peso dos blocos de GESSOPET	64
Tabela 7 - Características químicas obtidas por fluorescência	80
Tabela 8 - Ensaio de consistência das amostras simples e hidrofugado	83
Tabela 9 - Perda de massa e profundidade de desgaste das placas.....	85
Tabela 10- Condutividade Térmica das amostras de gesso hidrofugado em estudo e de referências da literatura.....	85
Tabela 11 - Resistência à compressão dos blocos de GESSOPET.....	87
Tabela 12 – Valores admissíveis para resistência à compressão de blocos.....	88
Tabela 13- Comparação da diferença de temperatura externa e interna das paredes de GESSOPET hidrofugado das amostras em estudo e de referências da literatura	92
Tabela 14 - Valores de resistência térmica, capacidade térmica, transmitância térmica, atraso e fator de calor solar para Gesso-RF, Gesso-EVA e Gesso-EPS.	93
Tabela 15 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa.....	93
Tabela 16- Comparação da diferença de temperatura das paredes de GESSOPET através do ensaio de choque térmico e do ensaio de condutividade	95
Tabela 17 - Resumo dos resultados.....	96
Tabela 18- Estimativa de custo para alvenaria de blocos de GESSOPET RF....	102
Tabela 19 - Tabela com o preço de alvenaria de cerâmica, de bloco de vazado de concreto e bloco de gesso compacto.	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABRAPEX	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
AESA	Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba
a/g	Relação água/gesso
c	Calor específico do material
CP	Corpo de prova
CT	Capacidade térmica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPS	Poliestireno Expandido
EVA	Etileno Acetato de Vinila
FSO	Fator solar
GESSOPET	Bloco proposto em gesso com garrafa PET no interior
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMI	Instituto de Estudos e Marketing Industrial
ISO	International Standardization Organization
ITEP	Instituto Tecnológico de Pernambuco
LABEME	Laboratório de Ensaio de Materiais e Estruturas
NBR	Norma Brasileira Registrada
PET	Poli-Tereftalato de etileno
PMJP	Prefeitura Municipal de João Pessoa
PMMA	Polimetilmetacrilato
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PVA	Acetato de polivinila
PVC	Policloreto de polivinila
RF	Referência
Rt	Resistência térmica
SBR	Borracha de butadieno estireno
SI	Sistema Internacional
SINAT	Sistema Nacional de Avaliações Técnicas
SINDUSGESSO	Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco
SVVIE	Sistemas de vedações verticais internas e externas
U	Transmitância térmica
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
λ	Condutividade térmica
φ	Atraso térmico
ρ	Densidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	OBJETIVOS	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	GESSO	20
2.1.1	Gesso hidrofugado	23
2.2	RESÍDUOS POLIMÉRICOS	24
2.2.1	EVA	25
2.2.2	EPS	28
2.2.3	PET	33
2.3	MATERIAIS COMPÓSITOS EM MATRIZES DE GESSO	35
2.4	HABITAÇÃO POPULAR	39
2.5	SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR	42
2.6	NORMA DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES	44
2.6.1	Desempenho térmico em elementos de vedação	45
3	PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	49
3.1	MATERIAIS	50
3.1.1	Gesso	50
3.1.2	EVA	50
3.1.3	EPS	51
3.1.4	PET	52
3.1.5	Aditivo hidrofugante	52
3.1.6	Água	52
3.2	COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS	52
3.2.1	Planejamento para a escolha das composições	52
3.3	PROJETO E FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE GESSOPET	59
3.4	ENSAIOS REALIZADOS	64
3.4.1	Material	65
3.4.2	Pasta	65
3.4.3	Corpo de prova	67
3.4.4	Bloco	71
3.4.5	Parede (prisma)	73
4	RESULTADOS	80
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS	80
4.1.1	Gesso	80
4.1.2	EVA	81
4.1.3	EPS	81
4.2	PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS NO ESTADO FRESCO (PASTA)	
	82	
4.2.1	Tempo de pega	82
4.2.2	Consistência	82

4.3	PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS NO ESTADO ENDURECIDO	83
4.3.1	Corpos de prova	83
4.3.2	Bloco.....	86
4.3.3	Parede	88
4.4	RESUMOS DOS RESULTADOS	96
4.5	PROJETO DE MODULAÇÃO	97
4.6	ESTIMATIVA DE CUSTO DA ALVENARIA EM BLOCOS DE GESSOPET 102	
5	CONCLUSÕES.....	104
5.1	ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS.....	104
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um crescimento da produção de habitação popular no Brasil. Não obstante, as baixas condições de habitabilidade e a degradação ambiental são características de grande parte das habitações produzidas. As limitações financeiras têm sido o principal argumento que justificam essas deficiências. Nesse contexto, muitas pesquisas de materiais estão sendo desenvolvidas na busca de boas soluções para aliar a habitabilidade, baixo impacto ambiental e custos na habitação popular. Um material que tem ganhado destaque é o gesso.

Visando soluções técnicas, preocupadas no que concerne às questões ambientais e econômicas para o setor da construção civil, o uso do gesso apresenta vantagens por se tratar de um aglomerante menos agressivo ao meio ambiente, comparado com o cimento e a cal, sendo utilizado devido as suas propriedades de aderência, demonstrando excelente resistência ao fogo e aos isolamentos térmico e acústico.

Todavia, o pré-moldado de gesso é um material frágil, isto é, sofre ruptura sem, previamente, ter deformações plásticas significativas. Tal característica pode ser solucionada a partir da inserção de fibras na matriz do gesso, tornando o material mais dúctil. Outra desvantagem que pode ser resolvida é a solubilidade na água, portanto, não é indicado para vedação externa ou áreas molhadas e molháveis, porém, através da utilização de aditivo hidrofugante no gesso a capacidade de absorção de água é reduzida.

Entretanto, estudos relacionados à análise de matrizes de gesso para a produção de compósitos, utilizando fibras de vidro, de celulose, de bambu, de juta, de sisal, assim como, vermiculita, cortiça e resíduos industriais, tendem a melhorar as propriedades mecânicas, como o aumento da resistência à tração, à flexão e ao impacto, e também a ampliar a capacidade de absorver energia e o desempenho térmico e acústico das edificações (AGOPYAN e SANTOS, 1991; JOHN, 2000; SAVASTANO JUNIOR *et al.*, 1997; SAVASTANO JUNIOR, PIMENTEL, 2000; JOHN, CINCOTTO, 2007; OLIVEIRA, 2009).

Dentre os materiais utilizados em compósitos de gesso, verifica-se o uso de resíduos poliméricos, a exemplo do Etileno Acetato de Vinila (EVA), Poliestireno Expandido (EPS), Cloreto de Polivinila (PVC), Borracha SBR, Poliésteres e Poliamidas. Estes tem se apresentado como uma boa alternativa para melhorar as propriedades do gesso destinado às construções de interesse social, em razão do baixo custo e de serem materiais com alto potencial de uso, devido a abundância e a boa adaptação ao setor da construção civil.

Para Kanno (2009), os resíduos poliméricos procedentes de diversas indústrias podem ser aproveitados na fabricação de novos produtos, explorando as várias possibilidades que já existem, realizando assim uma interação e uma integração entre segmentos e cadeias produtivos, no sentido de aproveitamento e de reuso de materiais. Essas vantagens dos resíduos poliméricos são decorrentes das suas propriedades específicas, visto que possuem baixa massa específica, são estáveis, inertes, não suscetíveis a fungos, podendo ser aproveitados como agregados sintéticos para elaboração de compósitos leves. Um dos seus usos mais promissores é a produção de elementos pré-fabricados com a melhoria do isolamento térmico.

Para Izquierdo (2011), é imprescindível o desenvolvimento de materiais alternativos como um novo caminho para a sustentabilidade. Neste sentido, a busca de um material que possa ser usado nessas edificações e que seja um isolante térmico tem merecido destaque em pesquisas científicas, visando um material que tenha as características de boa eficiência térmica, boa resistência e baixo custo.

Com base no exposto, este estudo visa perscrutar sobre o desempenho térmico, assim como as alterações nas propriedades físicas e mecânicas, de compósitos de matrizes de gesso com a incorporação de resíduos poliméricos, como o EVA, proveniente da indústria calçadista, e o EPS, vulgarmente conhecido como isopor, oriundos do descarte de embalagens (de eletrodomésticos, de eletrônicos e de móveis). Os compósitos de gesso, os resíduos de EVA e os de EPS são utilizados na produção de blocos para a alvenaria de vedação, no interior dos quais são utilizadas garrafas PET (Poli Tereftalato de Etileno). A denominação deste bloco, neste trabalho, é GESSOPET, um nome que alia a junção dos materiais utilizados. Visando possibilitar o

uso, tanto em sistemas de vedação verticais internas como externas, realizou-se uma análise comparativa dos compósitos com e sem a inserção de aditivo hidrofugante.

Neste trabalho também foi estudado o processo de construção racionalizada, visando apresentar uma alternativa de um projeto de modulação para habitação popular, considerando as dimensões e o formato dos blocos de GESSOPET. Para tal tarefa, utilizou-se como base a adaptação do modelo padrão para projetos de habitação popular, produzidos pela prefeitura municipal de João Pessoa – PB, nos últimos anos. Destarte, a modulação de projetos concorre para a redução de custo com a mão de obra, do tempo de execução e, conseqüentemente, do custo final da obra.

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir para o desenvolvimento de tecnologias construtivas, utilizando matéria-prima com reduzido impacto ambiental, bem como promover construções mais econômicas e populares.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral verificar o desempenho térmico de blocos construtivos, para alvenaria de vedação (GESSOPET), produzidos com gesso e resíduos poliméricos de EVA, de EPS e de garrafas PET, tendo em vista seu uso para a produção de habitação popular.

Como objetivos específicos têm-se:

- (i) Determinar a proporção mais indicada para formulação dos compósitos de gesso-EVA e gesso-EPS, a partir da caracterização das propriedades físicas e mecânicas;
- (ii) Definir dimensão, peso, geometria e encaixes dos blocos GESSOPET;
- (iii) Determinar as propriedades físicas e mecânicas dos blocos GESSOPET;
- (iv) Comparar os resultados obtidos em relação ao desempenho térmico entre os blocos de GESSOPET-EVA, de GESSOPET-EPS e de GESSOPET-RF (sem resíduos);
- (v) Avaliar o comportamento mecânico de alvenarias de vedação executadas com blocos de GESSOPET em função de cargas verticais;
- (vi) Propor projeto de modulação voltado à habitação popular, utilizando os blocos de GESSOPET.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo discorre, inicialmente, sobre o gesso, abordando suas características, propriedades físicas e mecânicas. Em seguida, versa sobre as características do gesso hidrofugado. Explana-se acerca dos compósitos com matrizes de gesso, principalmente, em relação à incorporação de resíduos poliméricos. Trata-se sobre políticas públicas voltadas para a construção de habitação popular, utilização de resíduos industriais na produção de materiais alternativos para construção civil, desempenho das edificações e processo de racionalização de alvenaria. Esse leque de assuntos foi definido como forma de embasar o leitor a respeito do tema.

2.1 GESSO

O gesso representa um dos insumos mais antigos utilizados na construção civil, há registros arqueológicos do uso do gesso em ruínas na Síria e na Turquia há cerca de 8.000 anos a.C. e dos egípcios na construção de pirâmides há 2.000 anos a.C. (GOURDIN e KINGERY, 1975)

O gesso tem destaque por ser um material ligante de maior eficiência energética. Produzido pelo aquecimento do minério gipsita em pó convertido em semi-hidrato de sulfato de cálcio, através de decomposição térmica. Durante o seu processo de fabricação, ele pode ser obtido com menos de 170°C, liberando H₂O para a atmosfera, evidenciando sua eficiência em comparação ao cimento Portland que necessita de elevadas temperaturas (aproximadamente 1.450°C) e emite CO₂ em grande quantidade.

O Brasil possui uma das maiores reservas de gipsita, considerada a de melhor qualidade do mundo por apresentar alto teor de pureza, variando de 88% a 98% (BALTAR *et al.*, 2006).

Contudo, conforme o *Mineral Commodity Summaries 2016*¹, desenvolvido pelo *United States Geological Survey*, a produção e o consumo per capita do Brasil são baixos quando comparados com os da China, o maior produtor mundial, seguido pelo

Irã e a Turquia, em segundo e terceiro lugar, respectivamente. Já os Estados Unidos ocupam o quarto lugar, e em quinto lugar, a Espanha, líder europeia.

Segundo a mesma fonte, em referência aos dados do ano de 2014, verifica-se que o consumo per capita nos Estados Unidos é de 105 kg/hab./ano e representa seis vezes mais do que o consumo do Brasil, de aproximadamente 17 kg/hab./ano. Esses dados mostram que existe um potencial latente de uso do gesso a ser explorado pelo Brasil.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (BRASIL, 2014)², o estado de Pernambuco é o principal produtor de gipsita do Brasil, sendo responsável por 87,6% da produção nacional que gira em torno de 3,3 milhões de toneladas por ano. Destaca-se o “polo gesseiro do Araripe”, situado no extremo oeste pernambucano e formado pelos municípios de Araripina, Trindade, Ipubi, Bodocó e Ouricuri. Os demais estados produtores de gipsita são: Maranhão (9,1%), Ceará (2,5%), Amazonas (0,6%) e Pará (0,2%).

Conforme dados do Sindusgesso (2009), a produção de gesso de fundição é destinada em 61% para produção de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos.

Os gessos nacionais normatizados têm suas características químicas e propriedades físicas e mecânicas especificadas pela NBR 13.207 (ABNT, 1994) e seus métodos de ensaios determinados pelas NBR 12.127 (ABNT, 1991a), NBR 12.128 (ABNT, 1991b), NBR 12.129 (ABNT, 1991c) e NBR 12.130 (ABNT, 1991d).

Os blocos de gesso, constituídos por peças pré-moldadas em forma de paralelepípedo e sistema de encaixe macho-fêmea, são utilizados para a execução de alvenarias modulares. Para Raad e Martins (2005), a perda de material durante o

¹ O Sumário do Mercado de Minerais de 2016, do Instituto de Pesquisa Geológica dos Estados Unidos, que foi desenvolvido baseado nos dados de 2011 a 2015, conforme disponibilizado no link: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2016/mcs2016.pdf>, acessado em: 11 de dezembro de 2015.

² Produzido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral, o Sumário Nacional 2014 tem o intuito de descrever o comportamento de mercado das principais substâncias minerais produzidas no Brasil com base na seguinte estrutura: oferta mundial, produção interna, importação, exportação, consumo interno, projetos em andamento e/ou previstos e fatores relevantes no país e no mundo em 2013. Link: <http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014/view>, acessado em: 11 de dezembro de 2015.

processo construtivo é reduzida, devido à natureza modular das peças resultantes, minimizando os resíduos produzidos na edificação.

De acordo com a Diretriz SINAT N°008 – Vedações verticais internas em alvenaria não-estrutural de blocos de gesso (BRASIL, 2012b), o processo construtivo consta das etapas de: (i) locação da alvenaria; (ii) assentamento dos blocos, com gesso-cola; e (iii) rejuntamento e acabamento, com pasta ou massa de gesso.

Os blocos de gesso são elementos de vedação vertical, utilizados para a execução de paredes e divisórias internas nas edificações. São constituídos por uma mistura de água e gesso, com ou sem adições de forma a conferir as propriedades necessárias a seu uso (PERES *et al.*, 2008).

Segundo a Associação Brasileira do *Drywall* (DRYWALL, 2016), o uso do gesso na construção civil brasileira vem crescendo a partir de meados da década de 1990, com a introdução da tecnologia da fabricação de chapas de drywall nas vedações internas e do uso do gesso como material de revestimento, aplicado diretamente em paredes e tetos, assim como, material de fundição, utilizado na produção de placas de forro e blocos de vedação.

Em consonância com a afirmação anterior, Steuer e Dresel (2015) afirmam que devido às suas características e propriedades, o gesso possui diversas aplicabilidades na construção civil como: revestimentos de paredes e tetos, revestimento para decoração de interiores, forros de placas, matéria prima para painéis termo-acústicos, fechamento com blocos leves, para paredes internas e construção de casa com blocos de gesso, forro para paredes de fechamento em gesso acartonado, placas de rebaixamento de teto e painéis para divisórias.

No Brasil, o uso desta tecnologia de blocos de gesso para vedação é recente e restrito a algumas regiões (PINHEIRO, 2011). Entretanto, é crescente o número de pesquisas visando desmitificar alguns preconceitos na utilização do gesso na construção civil, normalmente desenvolvidas através de parcerias públicas e privadas, que tendem a incentivar a construção de casas de gesso. Todavia, não existem normas regulamentadoras em se tratando de blocos de gesso para vedações externa. Para efeito de análise neste trabalho fez-se uso das determinações da referida Diretriz SINAT N°008 (BRASIL, 2012b).

Segundo Peres *et al.* (2008), no Brasil são produzidos três tipos de placas de gesso: BS= placas simples; B-GRG= placas reforçadas com fibra de vidro e B-Hidro= placas resistentes à umidade, utilizadas em áreas molhadas e molháveis, cujas características técnicas são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características técnicas das placas de gesso

Nomenclatura	B-S	B-GRG	B-HIDRO
Composição química	Gesso	Gesso e fibras de vidro	Gesso e aditivos hidrofugantes
Densidade (kg/m ³)	950 – 1.100	950 – 1.100	950 – 1.100
Resistência à flexão (MPa)	2,00	3,00	3,00
Resistência à compressão (MPa)	3,00	3,00	3,00
Peso do bloco (kg)	19 – 34	19 – 34	19 – 34
Dimensões (mm)	666 x 500	666 x 500	666 x 500
Espessura (mm)	70 e 100	70 e 100	70 e 100
Absorção d'água (%)	sem limite	sem limite	5
Volume de vazio (%)	25	25	25
Cor	Branco	Verde	Azul
Resistência térmica (m ² C/W)	0,20 – 0,29	0,20 – 0,29	0,20 – 0,29
Resistência ao fogo (h)	3 - 4	3 - 4	3 - 4

Fonte: PERES *et al.*, 2008; BRASIL, 2012b.

Apesar do crescimento na utilização do gesso na construção civil, em função da sustentabilidade, do baixo custo e da fácil produção, o material apresenta como principal desvantagem a solubilidade na água, que pode ser minimizada, a partir da inserção de aditivos hidrofugantes.

2.1.1 Gesso hidrofugado

Para diminuir a capacidade de absorção de água do gesso faz-se uso de aditivos hidrofugantes. Destarte, a influência negativa da água nas propriedades dos materiais tem feito com que os hidrofugantes sejam cada vez mais requisitados na construção civil.

Os hidrofugantes apresentam uma tensão superficial inferior a da água e, por isso, possuem a capacidade de repeli-la. Atuam de maneira a aumentar o ângulo de contato entre a gota d'água e a superfície, que está diretamente ligado à

permeabilidade do material. Quanto maior o ângulo de contato menor a sua permeabilidade a partir da adição de hidrofugantes em sua composição.

De acordo com a Diretriz SINAT N°008 (BRASIL, 2012b), os blocos de gesso hidrofugados devem ser apresentados na cor azul, utilizados na construção de paredes divisórias de áreas molháveis, molhadas e na primeira fiada de todas as paredes.

As características dos blocos de gesso são semelhantes para blocos de gesso simples e hidrofugado, diferenciando-se apenas em relação à absorção de água de 5% para o último, assim como a cor.

2.2 RESÍDUOS POLIMÉRICOS

Atualmente, um dos grandes problemas enfrentados nas cidades é o destino adequado dos resíduos sem causar impacto ao meio ambiente, pois a quantidade gerada tem crescido significativamente, em decorrência do aumento da produtividade e do consumo, propiciada pela utilização de novos materiais e modernos processos de industrialização.

A entrada em vigor do conjunto de normas ambientais, ISO 14000, série de normas desenvolvidas pela *International Standardization Organization*, que estabelecem diretrizes sobre a área de gestão ambiental dentro de empresas, veio fortalecer ainda mais essa preocupação com o meio ambiente. Dentre os aspectos importantes deve-se ressaltar a questão da reciclagem, pois a falta de preocupação com o meio ambiente por parte das indústrias pode vir a trazer enormes prejuízos à população presente e futura.

Desta forma, a reciclagem por meio da reutilização ou recuperação dos resíduos ou de seus constituintes é uma das formas mais atraentes de solucionar os problemas de destino final dos resíduos, tanto do ponto de vista empresarial como dos órgãos de proteção ambiental (GARLET, 1998).

No mesmo sentido, Kern (1999) aduz que a reciclagem de resíduos na forma de materiais e componentes de construção civil tem sido uma alternativa bem sucedida em diversos casos e, nessa incursão, beneficiando a sociedade de várias maneiras, como pela economia de uso de matérias primas extraídas da natureza, pela redução do consumo de energia na produção de materiais e pela diminuição da poluição ambiental.

Dentre os resíduos utilizados para tais fins, a inserção de polímeros, em elemento construtivo, destaca-se por promover a redução do peso da edificação, além de proporcionar potencial econômico, por minimizar o crescimento na participação do lixo urbano, onde possui características como degradação lenta e volumetria elevada (KANNO, 2009).

Para a execução desse trabalho, utilizaram-se os resíduos poliméricos para formulação de um bloco de vedação em gesso para construção civil, mais especificamente, empregando, o EVA, o EPS e o PET, conforme apresentados a seguir.

2.2.1 EVA

O etileno acetato de vinila (EVA), é um copolímero micro-poroso, formado por resina de poli-(etileno-co-vinil acetato), agentes reticulantes e de expansão, cargas ativadoras e auxiliares de processo, além de outros polímeros, como a borracha. Sua formação ocorre através da polimerização do etileno com acetato de vinila, via radicais livres, em reatores de alta pressão. Pode ser utilizado como termoplástico ou elastômero, as características diferentes ocorrem devido ao percentual de acetato de vinila utilizado na polimerização (AZEVEDO *et al.*, 2009).

De modo geral, o EVA apresenta boa processabilidade, estabilidade térmica, boa resistência ao impacto e à fadiga, boa resiliência, boa tenacidade e boa flexibilidade. Além disso, é amplamente utilizado pela indústria calçadista na confecção de solas, saltos, contrafortes e palmilhas.

De acordo com dados do Instituto de Estudos e Marketing Industrial (IEMI, 2015), o Brasil é o terceiro maior produtor de calçados do mundo, atrás da China e da Índia. A Paraíba é o sexto maior estado produtor de calçados e o segundo maior exportador calçadista do Brasil, onde a cidade de Campina Grande é a maior produtora nacional de sandálias sintéticas (ABICALÇADOS, 2015).

Garlet e Greven (1997) apontam que a incidência do resíduo de EVA proveniente da indústria calçadista variava entre 12% a 20% sobre o consumo deste copolímero. De acordo com Zattera *et al.* (2005), apenas na região sul do Brasil, quantidades de resíduos são superiores a 200 toneladas/mês.

Durante o processo de fabricação de calçados são gerados dois tipos de resíduos. Os primeiros são inevitáveis, sobras das placas expandidas oriundas do processo de obtenção dos formatos dos calçados e possíveis refugos de solado, entressola ou palmilha do calçado. O segundo é o pó oriundo do lixamento do calçado na fase de acabamento. Esse pó é relativamente fácil de processar, mas os resíduos das placas expandidas são de difícil e lento reaproveitamento (BEZERRA, 2002).

O volume de resíduos excedentes de EVA tem-se mostrado como um problema ambiental nas regiões que possuem polos industriais de calçados, pois não são biodegradáveis e não podem ser reprocessados, o que torna a reação irreversível. A armazenagem ou deposição a céu aberto desse tipo de material causa problemas que vão desde a poluição visual, até a possibilidade de proliferação de insetos. Além disso, sua incineração não é recomendada devido à liberação de gases tóxicos (LIMA FILHO, 2008).

Conforme Garlet (1998), o volume excedente de EVA, proveniente das indústrias de calçados, demanda alternativas para um tratamento mais adequado e nobre, evitando o depósito em aterros ou a queima nos fornos das cimenteiras, que provoca a emissão de gases danosos ao meio ambiente.

Em relação à produção de elementos pré-moldados de concreto leve com EVA observa-se um crescimento de pesquisas acadêmicas. Buscando consolidar o aproveitamento dos resíduos de EVA provenientes das indústrias calçadistas na confecção de pré-moldados de concreto leve com potencial de utilização na construção civil, o grupo de pesquisa coordenado pelo professor doutor Aluísio Braz de Melo, da Universidade Federal da Paraíba, já desenvolveu pesquisas relacionadas à confecção de pré-moldados com inserção de EVA em diversos tipos de elementos construtivos, como piso intertravado, piso flutuante, blocos de vedação e blocos para telhado verde (GOMES, 2015; MENDONÇA, 2015; SANTOS, 2013; MAIA, 2013; ROCHA, 2008; LIMA FILHO, 2008; LYRA, 2007; POLARI FILHO, 2005; PIMENTEL, 2005; BEZERRA, 2002).

Para Polari Filho (2005), o EVA é um produto que possui características físico-químicas diferenciadas dos demais elementos utilizados na construção civil, e como resíduo, tem grande potencial na formação de novos produtos. O autor destaca como vantagens a baixa densidade e o bom isolamento acústico e térmico.

Entretanto, pesquisas relacionadas à utilização do resíduo de EVA incorporado às matrizes de gesso ainda são reduzidas, indicando a necessidade de estudos relacionados ao tema.

Contudo, a dissertação desenvolvida por Kern (1999) analisou a viabilidade da adição do resíduo de polímeros termoplásticos, utilizados na fabricação de contrafortes de calçados, em matriz de gesso, utilizando teores de até 25% (massa de resíduo moído em relação à massa de gesso da matriz), não exigindo tecnologia sofisticada para moldagem. Os resultados de ensaios realizados para caracterização do compósito indicam que o resíduo adicionado tem comportamento semelhante ao de uma fibra, incrementando de forma significativa a resistência ao impacto e à flexão, como também ao comportamento pós-fissuração. Apresentando, também, aumento na tenacidade da matriz, evitando rupturas bruscas e proporcionando uma deformação plástica considerável. O compósito gerado é resistente ao manuseio, sendo adequado para uso na construção civil.

Kazmierczak *et al.* (2000) estudaram o comportamento mecânico de compósitos à base de gesso com adição de resíduos de contraforte de calçados. O teor de adição do resíduo variou de 10% a 25% mantendo-se constante a relação água/gesso de 0,57. O resíduo melhorou as propriedades mecânicas do compósito, com alterações nas propriedades físicas resultantes.

Da mesma forma, Oliveira (2009) fez uma análise comparativa na produção de revestimentos com compósitos à base de gesso contendo EVA e vermiculita, visando à produção de elementos para proteção térmica de alvenarias a fim de reduzir o consumo energético em edificações. Como resultado verificou-se que a incorporação de resíduo à matriz de gesso dos compósitos otimizados melhoraram suas propriedades mecânicas bem como seu desempenho em relação à água mediante o tratamento superficial. O estudo teórico demonstrou que as placas propostas reduzem a carga térmica incidente em alvenarias. A autora ressaltou a possibilidade de uso do EVA como agregado leve na elaboração de blocos de vedação, sem função estrutural na construção civil.

Apesar da busca em diversos periódicos da área, não se verificou pesquisas acadêmicas voltadas ao uso de EVA em matrizes de gesso para uso em blocos de vedação, demonstrando a inovação tecnológica do material proposto.

2.2.2 EPS

O poliestireno expandido (EPS) trata-se de um polímero celular rígido com uma variedade de formas e aplicações, resultante da polimerização do estireno em água, apresenta-se como uma espuma moldada constituída por um aglomerado de grânulos impermeáveis (MANO e MENDES, 2004). É uma resina do grupo dos termoplásticos, cuja característica reside na sua fácil flexibilidade ou moldabilidade, sob ação do calor, que a deixa em forma líquida ou pastosa. Pode ser decomposto pela radiação solar e considerado um material não poluente.

Para sua produção, a matéria prima passa por um processo de transformação física constituída de três etapas: pré-expansão, armazenamento intermediário e moldagem, em que o pentano é o agente expensor no seu processo produtivo. Ao final do processo geram-se, por meio de expansão por vapor, esferas impermeáveis compostas de 98% de ar e apenas 2% de massa corpórea constituída de poliestireno. Suas características inodoras e não contaminantes possibilitam seu reaproveitamento.

Sua presença no mercado consumidor, onde sua participação tem sido crescente, é fortalecida pelas suas características: a leveza e a capacidade de isolamento térmico, às quais se associa o baixo custo. É bastante utilizado na confecção de caixas térmicas para acondicionamento de alimentos e bebidas, e em construção civil. No mundo, são produzidos anualmente cerca de 2,95 milhões de toneladas de EPS, dos quais 50% se destinam à construção civil (ABRAPEX, 2007).

A reciclagem consiste na transformação do EPS, porém com as mesmas características iniciais do poliestireno envolvido no processo inicial da produção. Entretanto, o custo de investimento em uma unidade de revalorização para posterior comercialização é muito alto, sendo inviável em pequena escala (ABRAPEX, 2007).

Para o reaproveitamento do EPS utiliza-se apenas a trituração para formar flocos que podem ser aplicados na: agricultura, em que o EPS é misturado ao solo deixando-o mais poroso auxiliando a penetração de água e dos adubos no subsolo, fazendo com

que as raízes se desenvolvam mais facilmente sem necessitar maior aeração; no artesanato por ser inodoro e atóxico, emprega-se o EPS como enchimento de estofados e bichos de pelúcia (KANNING, 2008).

Na construção civil, as características do EPS, de isolamento térmico e a sua baixa massa específica na ordem de 35 kg/m^3 , favorecem sua utilização como agregado leve em concretos e argamassas aplicáveis em diversos elementos construtivos (TESSARI, 2006).

Segundo definição de Mehta e Monteiro (2008), concreto leve é aquele cuja massa específica não deve ultrapassar 1840 kg/m^3 , possibilitando com isso vantagens como alívio da carga sobre a estrutura e isolamento térmico. As desvantagens são o alto custo e a baixa resistência. Entretanto, o custo pode ser minimizado com a utilização de resíduos de EPS.

Para estes autores, o concreto leve tem custo maior, mas traz benefícios econômicos devido à redução do peso próprio da estrutura, aliviando assim as fundações. O concreto leve apresenta propriedades similares ao concreto normal, porém, devem-se tomar alguns cuidados com a trabalhabilidade, evitando desta forma a segregação dos materiais. Devido à textura áspera e a baixa densidade dos agregados, os trabalhos de lançamento, compactação e acabamento, necessitam de menor esforço e, por conseguinte, de menor abatimento. No caso de um alto abatimento e vibração excessiva, ocorrerá um fenômeno chamado flutuação do agregado graúdo, aonde a argamassa, pela maior massa específica, irá se concentrar na parte inferior da estrutura, prejudicando o acabamento da peça.

De acordo com a pesquisa desenvolvida por Bezerra (2003), o sistema construtivo fabricado com blocos de concreto leve com EPS como agregado graúdo, comparou os resultados obtidos com bloco de concreto comum, demonstrando a viabilidade do uso de bloco de vedação em concreto leve no que diz respeito à resistência mecânica e desempenho térmico.

Nos trabalhos realizados por Kanning (2007 e 2008), verificou-se a viabilidade da produção de blocos confeccionados em concreto leve com EPS reciclado e garrafas PET inteiras no seu interior, posicionadas na horizontal ou na vertical. Estes blocos apresentam encaixes laterais em forma de macho e fêmea que geram o intertravamento

dos blocos. Quando submetidos a ensaios experimentais, foram obtidos resultados satisfatórios em relação às normas da ABNT, para determinação de absorção de água, porosidade e resistência à compressão.

A produção de matrizes de gesso com incorporação de resíduos de EVA, ainda é pequena se comparado com número de pesquisas com matrizes cimentícias. O mesmo fenômeno acontece na inserção de resíduos pós-consumo de EPS, verificando maior número de pesquisas relacionadas à produção de concreto leve.

Alguns trabalhos sob orientação do professor doutor Luiz Guilherme Meira Souza, desenvolvidos no programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, utilizam o EPS triturado na composição de matrizes de gesso (SANTOS, 2008; GOMES, 2010; SILVA, 2010; LEITE, 2011; SANTANA, 2011; MACEDO NETO, 2011; LIMA, 2012; SANTOS, 2015).

No trabalho desenvolvido por Santos (2008) foi produzido um protótipo, conforme Figura 1, utilizando compósito à base de gesso, areia, cimento e EPS triturado. Foram utilizadas duas técnicas de construção usando blocos, com tubos de PVC no interior para moldagem dos furos, e enchimento *in loco*, com garrafas PET no interior. O bloco proposto apresenta funções estruturais, de isolamento térmico e baixo custo. Os resultados da análise térmica demonstraram o conforto térmico proporcionado pelo compósito através da obtenção de gradiente entre as superfícies interna e externa das paredes mais expostas ao sol em torno de 7,0°C, com a temperatura média do ar no interior da edificação, em torno de 28,0°C.

Figura 1 - Protótipo desenvolvido por Santos



Fonte: Santos, 2008.

Semelhante ao trabalho de Santos (2008), Gomes (2010) construiu uma unidade habitacional usando compósito constituído de gesso, EPS, borracha triturada, areia e água, realizando estudos de conforto térmico e de materiais, como mostra a Figura 2. Utilizou a técnica de construção do lançamento *in loco*. No interior do molde foram colocadas garrafas PET com o intuito de se obter resistência térmica e mecânica nas paredes construídas. Demonstrou-se o conforto térmico proporcionado pelo compósito a partir da diferença de temperatura entre as superfícies internas e externas nas paredes de até 11,4°C.

Figura 2 - Unidade habitacional desenvolvida por Gomes



Fonte: Gomes, 2010.

Na pesquisa de Silva (2010) foi construída uma casa experimental, apresentada na Figura 3, com blocos confeccionados utilizando compósito de cimento, gesso, EPS, borracha triturada e areia. Foram utilizadas garrafas PET no interior dos blocos a fim de proporcionar resistência térmica e a função de servir de encaixe entre os blocos, onde as extremidades das garrafas saíam de cada bloco tanto na parte superior, como também na inferior, sendo a extremidade inferior seccionada, permitindo o encaixe das extremidades superiores das garrafas de um bloco nos orifícios inferiores de outro bloco. Os blocos atenderam as exigências mínimas de resistência à compressão para blocos de vedação. Os blocos confeccionados proporcionaram isolamento térmico adequado para o ambiente, apresentando as paredes, diferenças de até 11,7°C entre

as faces externa e interna, ficando a temperatura máxima interna da casa em torno de 31°C.

Figura 3 - Protótipo elaborado por Silva



Fonte: Silva, 2010.

Leite (2011) fabricou blocos com material compósito formado por cimento, gesso, EPS triturado, pneu triturado, barro, areia e água, destinados à construção de residências populares. Foram realizados testes de resistência à compressão para várias formulações do compósito que atenderam a norma específica para blocos utilizados na construção civil. Foi também avaliada a condutividade térmica do compósito para posterior estudo de conforto térmico gerado em uma residência construída com o compósito proposto. O bloco confeccionado apresentou bom isolamento térmico do ambiente, obtendo diferenças de até 12,6°C entre as faces externa e interna. Foi demonstrada a viabilidade de utilização do compósito para o fim proposto.

Na tese desenvolvida por Santos (2015), foram fabricados blocos utilizando materiais compósitos a partir de resíduos gerados nos processos de obtenção de placas de granito e mármore, cimento, gesso, areia, EPS triturado e água. Foram confeccionados diversos blocos a partir de composições variadas e foram efetuados testes preliminares de resistência mecânica e térmica, escolhendo-se a proporção mais apropriada. A resistência mecânica dos blocos produzidos esteve acima de 3,0 MPa. A resistência térmica dos blocos foi comprovada pela diferença máxima entre as paredes interna e externa dos cômodos edificadas em torno 8,0°C. Demonstrou-se a viabilidade

de utilização dos blocos fabricados com o material compósito proposto para a construção civil.

Em pesquisas a nível internacional verificaram-se alguns trabalhos com a incorporação de EPS Madariaga e Macia (2008) desenvolveram compósitos com matriz de gesso e incorporação de EPS, para produção de placas e painéis com melhor desempenho térmico. Foram realizados ensaios de resistência à flexão e à compressão, condutividade térmica, absorção de água por imersão, resistência ao fogo e massa específica. Como principal vantagem do material proposto, os autores destacam desenvolvimento sustentável com a reciclagem do EPS, assim como redução do peso do bloco em 50% em relação ao bloco comercial com mesma espessura.

2.2.3 PET

O politereftalato de etileno (PET) é um polímero termoplástico, formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol. Foi desenvolvido em 1941, pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson (FORMIGONI, 2006) e é utilizado na forma de fibras para tecelagem e embalagem de bebidas. Entretanto, as garrafas produzidas com este polímero só começaram a ser fabricadas na década de 70, após cuidadosa revisão dos aspectos de segurança e meio ambiente. No começo dos anos 80, os Estados Unidos e o Canadá iniciaram a coleta destas garrafas, reciclando-as inicialmente para fazer enchimento de almofadas (MANO e MENDES, 2004).

As garrafas PET são produtos agressivos ao meio ambiente, devido a sua grande quantidade lançada em locais inadequados e, além disso, os polímeros de que são feitas podem levar até 500 anos para serem biodegradáveis. Conforme dados da Associação Brasileira da Indústria do PET (ABIPET, 2012), o consumo de embalagens é em torno de 550.000 toneladas por ano. A solução para dar uma destinação correta a essas embalagens é a reciclagem ou a reutilização. Ainda segundo esta publicação, apenas 58% das embalagens de PET são recicladas.

O uso das garrafas PET na indústria da construção civil proporciona algumas vantagens como: redução do volume de lixo nos aterros sanitários e melhoria nos processos de decomposição de matérias orgânicas nos mesmos, pois as garrafas PET

prejudicam a decomposição por impermeabilizarem certas camadas de lixo impedindo que gases e líquidos circulem.

No município de Petrolina – PE tem-se o exemplo da fabricação de elementos construtivos com garrafas PET na construção de um prédio de cinco pavimentos, sendo oito apartamentos e área construída total de 1.500 m² (Figura 4). Para erguer a estrutura foi necessário o uso de mais de 200 mil garrafas PET, estando presentes não apenas nas paredes, e também, teto, laje e até no piso. As garrafas PET foram utilizadas na moldagem dos blocos que apresentaram encaixe horizontal, como observado na Figura 5.

Figura 4 – Edifício construído com blocos de concreto e garrafas PET



Fonte: www.mobilizadores.org.br. Acessado em 30 de novembro de 2015.

Figura 5 – Exemplo do encaixe horizontal do bloco construtivo de concreto e garrafas PET



Fonte: www.mobilizadores.org.br. Acessado em 30 de novembro de 2015

De acordo com o relato do engenheiro civil e professor Sérgio Luís de Oliveira, a obra aprovada apresenta como vantagens, relacionadas ao uso desse material, a diminuição do peso, quando comparado com materiais convencionais. Outro aspecto favorável diz respeito ao isolamento térmico, visto que no Vale do São Francisco verificam-se altas temperaturas e como a condutibilidade térmica dos blocos com PET, devido ao vazio no interior da garrafa, é menor do que a do tijolo ou bloco cerâmico, transmitindo menos calor para o interior da edificação. Como também, através do reaproveitamento das garrafas PET tem-se um ganho elevado em se tratando do ponto de vista ambiental.

No trabalho realizado por Viegas (2012), a autora propôs o uso de blocos incorporando garrafas PET para a execução de alvenarias de vedação que proporcionem isolamento termo acústico visando seu emprego em habitação de interesse social. As garrafas PET foram inseridas e centralizadas em formas de madeira, que foram posteriormente preenchidas com argamassas. Os desempenhos térmico e acústico foram superiores comparados com blocos cerâmicos convencionais. A autora justificou que os blocos furados apresentam um bom comportamento quanto ao isolamento térmico e acústico, devido ao ar que permanece aprisionado no interior dos seus furos.

2.3 MATERIAIS COMPÓSITOS EM MATRIZES DE GESSO

Atualmente está sendo cobrada uma demanda maior de desenvolvimento de pesquisas que enfoquem a inovação tecnológica. No setor habitacional, almeja-se uma melhoria dos problemas de escassez da oferta de moradias, existência de níveis elevados de informalidade habitacional, elevado preço da moradia, projetos racionais e materiais de construção alternativos.

A produção de resíduos gerados tem impulsionado diversas pesquisas para o seu reaproveitamento e o desenvolvimento de materiais alternativos. O estudo desses materiais visa à preservação do meio ambiente, a redução do impacto gerado pelo setor da construção civil no consumo de matéria prima e da geração de resíduos, além de possibilitar a redução do custo, favorecendo habitações de interesse social.

Muitas vezes, a inserção de materiais sintéticos pode acarretar no aumento do custo do produto. Entretanto, o uso de materiais que são dispostos como resíduos proporcionam a possibilidade de economia dos recursos naturais, pois são eficientes e disponíveis, reforçando a proposta de sustentabilidade na construção civil (CINCOTTO, 1988).

Em muitos países desenvolvidos industrialmente, a produção de subprodutos industriais e resíduos supera a demanda para uso em outros produtos como cimento e concreto. Desse modo, a inserção de resíduos e uso de materiais que consumam menos matéria prima e energia de produção são temas frequentes em pesquisas acadêmicas.

A exigência de energia nos edifícios está diretamente relacionada à tecnologia da sua construção e ao tipo e quantidade de materiais de construção usados, especialmente os materiais de isolamento térmica. Pajchrowski *et al.* (2014) apontaram a necessidade de introduzir fatores ambientais para a tomada de decisão de processos construtivos.

Briga-Sá *et al.* (2013) alertaram para o alto consumo de energia e água do setor de construção civil, sendo essencial adotar ações mais eficientes durante todas as fases do processo de construção, incluindo o uso de materiais mais sustentáveis. Defenderam que a reutilização de diferentes tipos de resíduos na construção ou reabilitação de edifícios pode contribuir significativamente para a sustentabilidade. Um resíduo têxtil em matrizes de gesso foi estudado como elemento para produzir maior resistência térmica para blocos para construção civil. Como resultado verificou-se que o valor de condutividade térmica do material proposto é melhor que o gesso comum.

Hernández-Olivares *et al.* (1999) estudaram as propriedades mecânicas e térmicas de um compósito gesso cortiça em diferentes percentuais de cortiça. Com uma relação água-gesso de 0,8, a resistência à flexão foi de 2,26 MPa e a resistência à compressão foi de 2,27 MPa. Com a relação água-gesso igual a 0,6, as resistências à flexão e à compressão foram de 2,28 MPa e 2,34 MPa, respectivamente, ratificando o potencial de uso.

Rubio-Avalos *et al.* (2005) produziram um material compósito orgânico-inorgânico mais flexível com baixa densidade, obtido utilizando borracha de butadieno

estireno (SBR) em uma matriz de gesso. Em seguida, as propriedades de flexão e de microestrutura do novo compósito foram estudadas, verificando que através da adição de borracha de SBR na matriz de gesso, ou uma rede de polímero (PN) ou uma película de polímero fina, resultou em aumento da elasticidade, ou seja, do comportamento à flexão em comparação ao gesso normal.

No trabalho desenvolvido por Çolak (2006), observaram-se as alterações nas propriedades de porosidade, mecânicas (módulo de elasticidade, resistência à compressão e à flexão) do gesso a partir da inserção de polímeros, como acetato de polivinila (PVA), borracha de butadieno estireno (SBR) e polimetilmetacrilato (PMMA). Como resultados tem-se que o fator água-gesso pode ser reduzido com a incorporação de polímeros ao gesso, entretanto, ocorrem reduções no tempo de pega e na resistência à compressão das amostras modificadas comparadas ao gesso comum.

Com a incorporação de resíduos, como cortiça, celulose e pneu, em compósitos de gesso, Eires *et al.* (2007) verificaram a aplicabilidade de resíduos nas pastas de gesso, promovendo construções ambientalmente corretas. Apesar de constatarem uma redução nas propriedades mecânicas, em compensação, houve uma diminuição da propriedade de absorção de água por imersão e melhoria no desempenho térmico e acústico.

Mohandesi *et al.* (2011) analisaram o gesso reforçado com fibras curtas para produção de materiais de construção com alta resistência à tração, resultando em materiais fortes e leves. A resistência à tração dos compósitos de gesso com fração de volume de fibras diferentes de polipropileno (PP) e poliparafenileno-tereftalamida (PPTA) superior a 15% acarretou em resistência significativamente maior ao gesso puro. Além disso, melhorou o desempenho térmico.

No trabalho realizado por Gutiérrez-González *et al.* (2012), ao utilizarem misturas de gesso com diferentes proporções de resíduos de poliamida, fibras sintéticas, para a produção de um novo material de gesso leve. Os autores verificaram que o aumento na quantidade de poliamida afeta as propriedades do gesso, diminui a densidade e as propriedades mecânicas, bem como aumentam sua permeabilidade e resistência térmica.

Em outra pesquisa, Gutiérrez-González *et al.* (2013) avaliaram o comportamento térmico do material compósito a base de gesso e resíduos de poliamida por termogravimetria e análise de condutividade térmica. Os resultados mostraram que o aumento na quantidade de poliamida afeta as propriedades do gesso, diminuindo a densidade e propriedades mecânicas de resistência à compressão, como também aumentando a permeabilidade e a resistência térmica, ratificando que rebocos produzidos com poliamida reciclada são comparáveis ao gesso comum.

Segundo Camões *et al.* (2012), a incorporação de granulado de cortiça ou fibras têxteis de pneu usado nas pastas e nas placas de gesso prensado é possível, mas reduz o seu desempenho mecânico. Contudo, esta limitação pode ser compensada, considerando a redução da densidade e a melhoria do gesso convencional em termos de comportamento térmico e acústico.

Gencel *et al.* (2014) estudaram as propriedades de compósitos de gesso contendo vermiculita expandida e fibras de polipropileno (PU) para a produção de gesso leve. Verifica-se que as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos são melhoradas pela incorporação de fibras de polipropileno. Um modelo de elementos finitos de flexão não-linear de três pontos e um *design* de análise dos experimentos foram desenvolvidos para avaliar e otimizar as concentrações dos aditivos e também para compreender os efeitos proporcionados pelos aditivos na resistência mecânica. Como resultado observa-se que a condutividade térmica dos compósitos diminuiu com a adição de vermiculita, assim como, as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos são melhoradas por incorporação de fibras de polipropileno.

Martias *et al.* (2014) trabalharam com o efeito da adição de fibras de vidro, mica e vermiculita nas propriedades mecânicas de um compósito à base de gesso. Como resultados da pesquisa foram produzidos painéis de compósitos de gesso com aditivos leves, propiciando reforço mecânico e isolante térmico.

Verifica-se vasto número de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de materiais alternativos com inserção de resíduos poliméricos, sem tratar das inúmeras pesquisas utilizando compósitos de matrizes de gesso com resíduos vegetais e com resíduos minerais.

Todavia, materiais compósitos à base de gesso utilizando polímeros podem melhorar o desempenho em relação a materiais de gesso tradicional. Entretanto, polímeros são caros e, portanto, comercialmente pouco atraente. Por isso, é desejável desenvolver uma abordagem alternativa e menos dispendiosa para a realização deste objetivo.

2.4 HABITAÇÃO POPULAR

Conforme o Déficit Habitacional no Brasil (BRASIL, 2012a), do Ministério das Cidades, o conceito de déficit habitacional está ligado diretamente às deficiências de moradias, devido à precariedade das construções, a coabitação familiar forçada, ônus excessivo com aluguel e ao adensamento excessivo em imóveis.

Ainda segundo a publicação anterior, o déficit habitacional no Brasil é de 6,490 milhões de unidades, o correspondente a 12,1% dos domicílios do país. Apesar da significativa diminuição do valor do déficit habitacional brasileiro em relação a 2007, em torno de 10%, a população brasileira cresceu 5,5%, conseqüentemente, diminui o alcance do aumento de unidades habitacionais construídas.

Na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (Pnad) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2007 a 2012, no estado da Paraíba ocorreu uma diminuição de 0,6% no número de domicílios em situação de déficit habitacional, número ainda baixo quando comparado aos demais estados do Brasil.

Portanto, nos últimos anos, verificou-se o crescimento da produção de habitação popular no Brasil. O programa Minha Casa Minha Vida do Governo Federal foi um dos principais responsáveis pela diminuição do déficit habitacional no país, mediante a construção de novas moradias populares e ao incentivo de financiamento.

Entretanto, a qualidade do ambiente construído tem sido questionada, seja devida à mão-de-obra não qualificada, à falta de preocupação com conforto ambiental, degradação ambiental, inacessibilidade e/ou qualidade dos produtos empregados.

Neste sentido, a busca de materiais adequados à realidade local para produção de casas tem merecido destaque em pesquisas científicas. Visando um material que tenha as características como boa eficiência térmica, boa resistência e baixo custo. Desta forma, o uso do gesso se destaca por apresentar tais características.

O Governo de Pernambuco, através da Secretaria de Desenvolvimento Urbano, tem apostado nessa tecnologia na área habitacional, e passou a utilizar o gesso na construção de casas populares. A iniciativa, que representa uma economia de 30% no custo total de uma obra, foi colocada em prática em Araripina, a 692 km do Recife. No município, foi inaugurado, em novembro de 2004, o conjunto residencial Asa Branca, formado por 70 moradias (Figura 6) erguidas com gesso e habitadas por famílias desabrigadas.

Figura 6 - Casas construídas com gesso no município de Araripina



Fonte: www.pe.gov.br. Acessado em 02 de fevereiro de 2016.

Verificam-se também empresas no estado de São Paulo especializadas em construção em gesso para casa de médio padrão que utilizam de aditivos para melhorar o desempenho do material. Como representado na Figura 7, casa de dois pavimentos construída com blocos de gesso na cidade de Cotia, São Paulo.

Figura 7 - Construção de habitação de padrão médio com blocos de gesso. (a) Execução da primeira fiada com blocos hidrofugados. (b) Elevação da alvenaria dos blocos. (c) Colocação da laje. (d) Habitação com dois pavimentos e cobertura em telha cerâmica.



Fonte: www.vexconstruções.com.br. Acessado em 13 de março de 2016..

A utilização de alvenaria em blocos de gesso em substituição as tradicionais alvenarias em blocos cerâmicos ou de concreto se constitui em uma alternativa viável na vedação vertical de edifícios.

Do ponto de vista do comportamento estrutural, as vedações em alvenaria em blocos de gesso mostram resistência mecânica superior, que as construídas com blocos cerâmicos argamassados, correspondendo a um melhor comportamento no travamento as movimentações horizontais da estrutura. Além disso, por serem mais

leves, sobrecarregam menos a estrutura conduzindo a uma economia em torno de 30% no concreto da fundação e 15% das armaduras da superestrutura (PIRES SOBRINHO, 2007).

Os autores ainda citam como outro atrativo para o emprego de blocos de gesso na produção de habitação popular a celeridade do processo construtivo, sendo estimado metade do tempo e reduzida mão-de-obra.

Dessa forma, os blocos de gesso apresentam destaque maior quando associado a utilização de resíduos, propiciando habitação popular através do desenvolvimento de tecnologias apropriadas, que possibilitam a produção sustentável de novos assentamentos, com a utilização de insumos não agressivos ao meio ambiente.

2.5 SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR

Essa pesquisa defende a proposta de componentes e sistema construtivo para alvenaria de vedação à base de gesso segundo a teoria da coordenação modular, que por meio da padronização de medidas e dos vários produtos, contribui consideravelmente para a racionalização construtiva.

Segundo Sabbatini e Barros (2002), a racionalização construtiva é definida como um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em todas as suas fases do processo.

Dentre os métodos para racionalização voltados ao sistema de vedação pode-se destacar o sistema coordenado modularmente, que visa acelerar a construção, garantindo uma entrega em um menor espaço de tempo, reduzindo perdas, e com economia de recursos que podem ser revertidos para a construção de novas moradias.

De acordo com Agopyan e John (2011), as paredes de alvenaria de blocos cerâmicos são os elementos mais frequentemente empregados no processo construtivo tradicional brasileiro, sendo muitas vezes responsáveis por parcela expressiva do desperdício verificado nas obras de construção de edifícios, verificando perdas de tijolos/blocos em torno de 15% a 20%.

A alvenaria de vedação é um conjunto de unidades dispostas em camadas e unidas por cola ou encaixes, resultando em um elemento rígido e coeso (SABBATINI e BARROS, 2002). Podendo apresentar ou não função estrutural, as alvenarias possuem a função de proteger os habitantes contra intempéries, efeitos externos sonoros e ação de fogo. Além disso, a vedação vertical possui interface com vários outros subsistemas do edifício, como a estrutura, as instalações, as vedações horizontais, impermeabilizações, entre outros. Ela é também um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício, sendo a principal responsável por características ligadas ao conforto térmico e acústico, pela segurança de utilização e frente a ações excepcionais, como em caso de incêndios (BARROS, 1996).

Já no caso da alvenaria racionalizada utiliza-se de um sistema de blocos modulares com várias dimensões, formatos e diferentes finalidades. Este sistema é conhecido como a “família” de blocos modulares, possuindo diferentes peças que se adequam a determinadas proposições do projeto. Estes blocos são montados por encaixe, e unidos por argamassa ou cola, formam o conjunto de paredes e vãos, dando forma ao ambiente e vedando a edificação (SABBATINI e BARROS, 2002).

De acordo a definição da NBR 15873 (ABNT, 2010b), a coordenação modular para edificações é uma técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um reticulado espacial modular de referência.

Greven e Baldauf (2007) creditam à coordenação modular a promoção da construtividade, o que significa, de forma simplificada, facilitar a etapa de execução que passa a ser uma montagem tipificada, pois utiliza componentes padronizados e intercambiáveis. No tocante à sustentabilidade, a coordenação modular propicia redução no consumo de matéria prima e aumenta a capacidade de troca de componentes da edificação, facilitando a sua manutenibilidade, praticamente eliminando perdas de materiais e componentes.

A coordenação modular tem como objetivo a racionalização da construção civil. No trabalho de Rodrigues (2008) foi proposto um sistema construtivo modular a partir de blocos de gesso desenvolvidos para a construção de uma unidade habitacional de interesse social, como apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Casa com blocos de gesso utilizando coordenação modular



Fonte: Rodrigues, 2008.

Sustentabilidade, racionalização e redução de custos são questões bastante discutidas no âmbito da construção civil. Considerando esse contexto, acredita-se que a técnica da coordenação modular associada a um esquema simples de pré-fabricação, pode melhorar significativamente a produtividade e a qualidade dos produtos, ainda mais, quando integrada a utilização de materiais novos.

2.6 NORMA DE DESEMPENHO DAS EDIFICAÇÕES

Diante da necessidade da parametrização relacionada ao desempenho das edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em conjunto com as inúmeras entidades da Construção Civil, desenvolveram a NBR 15575 (ABNT, 2013b)³. Foram estabelecidas as exigências dos usuários, referente aos sistemas que compõem edificações habitacionais, independentemente dos seus materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado, com a finalidade de alcançar patamares mínimos de qualidade da edificação.

Com o intuito de promover edificações com maior preocupação na qualidade da habitação, a norma de desempenho de edificações recomenda sistemas construtivos avaliados conforme materiais e estrutura, segurança estrutural, contra incêndio e uso e

³ A NBR 15575 foi publicada em 12 de maio de 2008, só entrando em vigência em 19 de julho de 2013 visto a necessidade de adaptação do mercado para os requisitos preconizados na referida norma.

operação, como também quanto a aspectos ligados à habitabilidade e sustentabilidade, tais como estanqueidade à água, conforto térmico e acústico, lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, durabilidade e manutenibilidade. Essa abordagem possibilita conhecer, com certa antecedência, o comportamento em uso da edificação e seus sistemas.

Neste trabalho será utilizada a parte 4 da NBR 15575 (ABNT, 2013b) que trata do desempenho dos sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) das edificações habitacionais, focando mais especificamente no tocante ao desempenho térmico do sistema.

2.6.1 Desempenho térmico em elementos de vedação

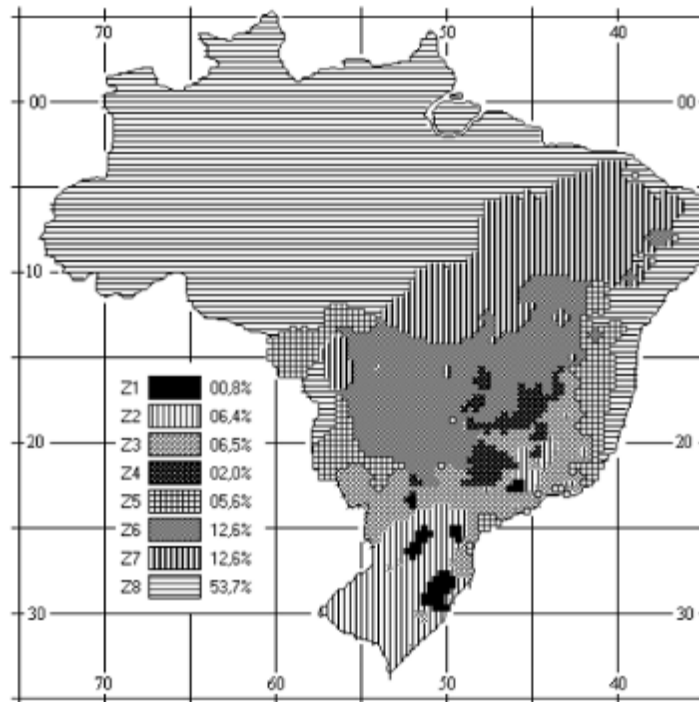
A avaliação de desempenho térmico é complexa, pois deve considerar todos os componentes do sistema inseridos no conjunto do edifício. Dentre os elementos envolvidos, o comportamento das vedações verticais exerce a principal influência sobre a resposta térmica do edifício.

De acordo com Gomes (2015), os ganhos térmicos adquiridos pelas vedações verticais e o desconforto térmico dos ambientes construídos são perceptíveis, principalmente, devido à escolha do material para alvenaria inadequada ao clima local, conseqüentemente, gerando problemas de conforto térmico através da perda, ou do ganho excessivo de calor.

Na região nordeste do Brasil verifica-se ganho excessivo de calor devido o clima ser predominantemente quente seco e quente úmido. Portanto, a escolha de materiais adequados à realidade local é importante para minimizar o impacto da radiação solar que atinge o invólucro da edificação (BITTENCOURT e CÂNDIDO, 2015).

Conforme NBR 15220-3 (ABNT, 2005c): Desempenho térmico de edificações, as paredes externas devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem desempenho térmico mínimo de acordo com a região. Esta norma, assim, divide o território brasileiro em oito zonas bioclimáticas (Figura 9). Para cada zona são estabelecidas diretrizes construtivas para aperfeiçoar o desempenho térmico das edificações. Desta forma, a edificação tende a apresentar melhor conforto térmico em seu interior, utilizando o clima em seu favor.

Figura 9 - Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: ABNT, 2005c.

Contudo, para clima quente e úmido, no qual se enquadra o município de João Pessoa - PB, inserida na zona bioclimática 8, as diretrizes construtivas da norma NBR 15220 (ABNT, 2005c) direcionam ao uso de grandes aberturas sombreadas para ventilação, fechamentos opacos leves, emprego de pés direitos generosos, proteção da radiação solar e a preservação dos canais de ventilação do entorno.

Para Lamberts *et al.* (2014), os sistemas de vedações verticais internas e externas dos edifícios habitacionais integram-se de forma muito estreita aos demais elementos da construção. O tipo e a espessura do material constituinte das vedações verticais influenciam o desempenho térmico da edificação.

Ainda conforme estes autores, o consumo energético residencial responde por cerca de 40% da energia produzida no Brasil. Por sua vez, a climatização de ambientes é responsável por parcela significativa dessa demanda. Contribuem para isso o clima, as soluções arquitetônicas e os materiais inadequados.

Segundo Ruas (1999), o conforto térmico corresponde à sensação de bem-estar do indivíduo, consequência da combinação dos agentes climáticos, como, temperatura, umidade relativa do ar e ventilação, as atividades desenvolvidas e a vestimenta

utilizada. Portanto, o autor ressalta a importância da escolha adequada dos materiais utilizados na edificação, devido à influência do mesmo na condução de calor para o ambiente interno.

A temperatura da face externa do ambiente construído eleva-se em relação à temperatura inicial e, como a temperatura da face interna é menor, ocorrerá um fluxo de calor por condução na direção desta última. A intensidade desse fluxo dependerá, entre outros fatores, da espessura da parede, da capacidade calorífica do material, da densidade e da condutividade térmica. Em consequência da elevação da temperatura, haverá um fluxo de calor da face interna da parede para o ambiente interno, através dos mecanismos de radiação e de convecção (BEZERRA, 2002).

No mesmo sentido, Incropera *et. al.* (2008) aduzem sobre a influência que o tipo de material tem sobre a intensidade de fluxo através da parede, utilizando-se a propriedade térmica denominada de condutividade térmica. Para materiais bons condutores de calor têm-se valores de condutividade elevados e quanto maior o valor, maior será o fluxo de calor através da parede e, portanto, maior a temperatura da face interna.

As três propriedades térmicas dos materiais, a condutividade, a massa específica aparente e o calor específico, são as propriedades mais importantes do ponto de vista de cálculos térmicos (MOURA *et al.*, 1993). De acordo com Xu e Chung (2000), um alto valor do calor específico é desejável devido à habilidade de reter calor, e um baixo valor da condutividade térmica é necessário para propiciar o isolamento térmico.

Segundo Peres *et al.* (2008), o gesso apresenta baixo coeficiente de condutividade térmica. Elementos pré-moldados de gesso apresentam densidade na ordem de 900 kg/m^3 a 1000 kg/m^3 e condutividade de $0,35 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, sendo considerado um ótimo isolante térmico quando comparado com outros materiais de construção, por exemplo, o concreto apresenta condutividade térmica de $1,75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Considerando o desconforto térmico dos ambientes devido à má utilização dos elementos apropriados nas alvenarias das edificações, assim como a problemática da destinação dos resíduos poliméricos, este trabalho visa à caracterização do desempenho térmico dos blocos de GESSOPET com EPS e com EVA, comparados com blocos de referência, sem incorporação de resíduos.

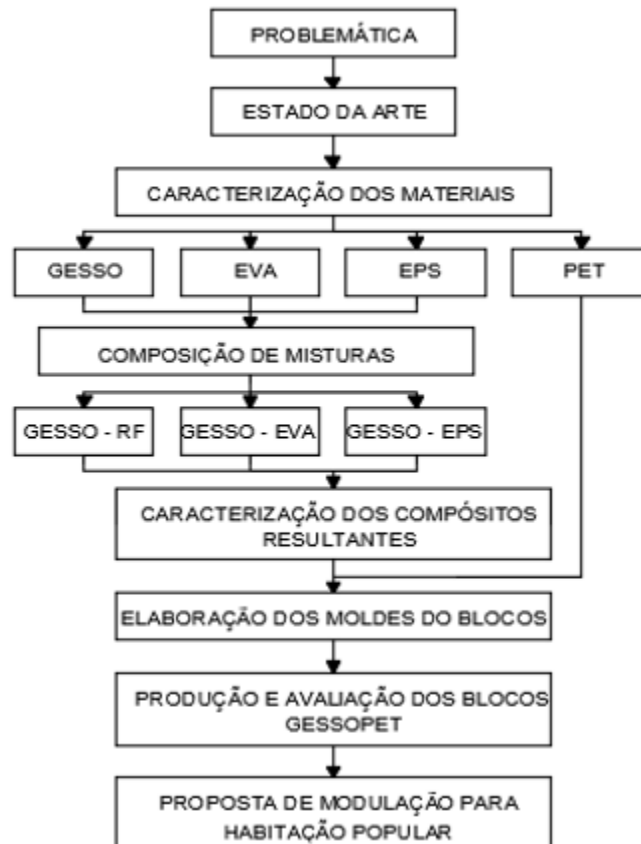
Por fim, o trabalho aqui exposto corrobora para o desenvolvimento de tecnologias construtivas relacionadas ao desenvolvimento de novos produtos e redução do desconforto térmico em habitações.

3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos, adotados para desenvolvimento do presente trabalho, baseados no levantamento do estado da arte que teve o intuito de nortear a pesquisa, partiu-se para a escolha dos procedimentos metodológicos do presente trabalho. O planejamento experimental inicia-se com a descrição dos materiais a serem utilizados na produção dos blocos de GESSOPET. Depois, com base na literatura, são estimadas proporções a serem estudadas, através de uma análise estatística chegou-se na otimização do processo, escolhendo as melhores misturas, em relação ao desempenho mecânico e absorção de água por imersão. Posteriormente, apresenta-se o projeto e processo de produção dos blocos. Por fim, são descritos os métodos de ensaios desenvolvidos ao longo do trabalho.

O estudo experimental foi realizado conforme quadro esquemático apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Etapas do programa metodológico



3.1 MATERIAIS

Ao longo da pesquisa utilizaram-se os seguintes materiais: gesso, resíduos poliméricos (EVA, EPS e PET), aditivo hidrofugante, pigmento e água. Segue a descrição e os métodos para caracterização dos mesmos.

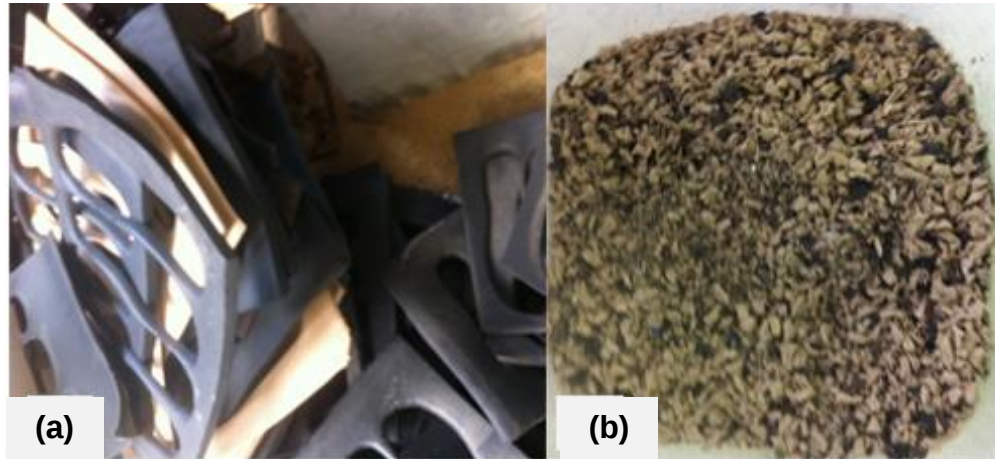
3.1.1 Gesso

O gesso utilizado foi adquirido no comércio local, proveniente do polo do Araripe, Pernambuco. O material foi caracterizado conforme determinações das normas NBR 12127 (ABNT, 1991) – Gesso para Construção – Determinações das propriedades físicas do pó- Método de ensaio, e NBR 13207 (ABNT, 1994) – Gesso para Construção – Especificações. Para determinação de água livre e de cristalização foi utilizada a NBR 12130 – Gesso para construção – Determinação de água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico (ABNT, 1991d). Entretanto, os teores de óxido de cálcio (CaO) e anidrido sulfúrico (SO₃) foram obtidos através do ensaio de fluorescência de raios X.

3.1.2 EVA

O resíduo de EVA (Figura 11) foi coletado em uma indústria de calçados na cidade de Campina Grande – PB. O material foi triturado em moinho de facas com o material passando em peneira metálica com malha de diâmetro igual a 8,0 mm. A caracterização do material foi a partir da adaptação da NBR NM248 (ABNT, 2003) – Ensaio de composição granulométrica para agregado e da NBR NM45 (ABNT, 2006) – Determinação da massa unitária e volume de vazios. A adaptação ocorreu no sentido de reduzir a massa analisada para 200 g, visto a menor densidade do material.

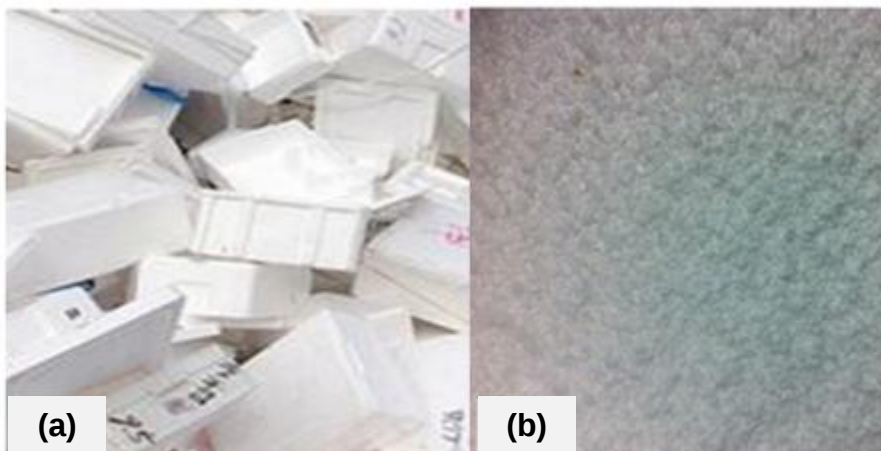
Figura 11 – Agregado de EVA. (a) Agregado como coletado. (b) Agregado triturado em moinho de facas.



3.1.3 EPS

O EPS utilizado foi proveniente do descarte de embalagens de equipamentos eletrônicos coletados na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), conforme Figura 12 (a). Similar ao EVA, o material foi triturado em moinho de facas com o material passando em peneira metálica com malha de diâmetro igual a 8,0 mm, Figura 17(b). A caracterização do material foi a partir da adaptação, devido à densidade do material, utilizou-se uma massa de 20 g de agregado para realização do ensaio, conforme a NBR NM248 (ABNT, 2003) – Ensaio de composição granulométrica para agregado e a NBR NM45 (ABNT, 2006) – Determinação da massa unitária e volume de vazios.

Figura 12 – Agregado de EPS. (a) Agregado como coletado. (b) Agregado triturado em moinho de facas



3.1.4 PET

As garrafas PET de 2 litros (Figura 13) foram obtidas a partir de coletas programadas em uma casa de festa na cidade de João Pessoa – PB e através de um posto de coleta na UFPB. Antes de sua utilização, elas passaram por um processo de lavagem e retirada dos rótulos.

Figura 13 – Garrafas PET coletadas



3.1.5 Aditivo hidrofugante

Para a produção e análise dos blocos de GESSOPET hidrofugado foram adquiridos aditivo hidrofugante e pigmento na cor azul, para diferenciar os blocos hidrofugados dos simples. Todos fabricados e adquiridos em uma indústria especialista em gesso, localizada no município de Trindade, Pernambuco.

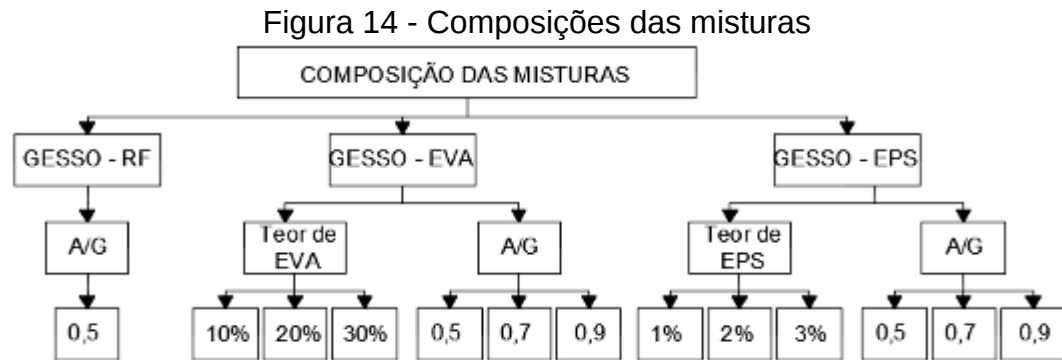
3.1.6 Água

A água potável utilizada nas misturas foi proveniente do sistema de abastecimento da UFPB.

3.2 COMPOSIÇÃO DAS MISTURAS

3.2.1 Planejamento para a escolha das composições

Para determinar a influência da relação água/gesso nas propriedades de resistência à compressão e absorção de água, foram adotados três diferentes percentuais da relação água/gesso (a/g), sendo utilizadas as três proporções (0,5, 0,7 e 0,9), visando tornar a mistura com formulação final mais líquida e pastosa, ficando-a mais apropriada para ser moldada. Em relação às adições de resíduos de EVA e de EPS, foram adotados, também, em três percentuais para cada resíduo, sendo de EVA (10%, 20% e 30%) e de EPS (1%, 2% e 3%). Foi moldada uma amostra sem a adição de resíduos e relação a/g 0,5, determinada com base na literatura, denominada de gesso referência (RF), que servirá para comparação com as demais amostras. Na Figura 14, podem-se observar as composições das misturas estudadas.



Os critérios para escolha dos teores limites de adição e relação água/gesso foram de acordo com a trabalhabilidade de cada compósito, como também fundamentadas na literatura, com base em Kern (1999), Santos (2008) e Oliveira (2009).

Com auxílio de planejamento estatístico por meio do *software* STATISTICA 8.0, da empresa Statsoft, cuja licença de uso foi adquirida pela Universidade Federal da Paraíba, foram determinadas a análise estatística de 21 amostras para cada resíduo (Tabela 2), assim como três amostras do gesso referência, sem adições de resíduos. Desta forma, foram produzidos no total 21 amostras de Gesso-EVA, 21 de Gesso-EPS e 3 Gesso-RF, totalizando 45 corpos de prova (CP).

Tabela 2 - Misturas dos corpos de prova produzidos

	Teor de Resíduo (%)	Relação A/G	Quantidade de CP
RF	-	0,5	3
	10	0,5	3
	10	0,7	3
	10	0,9	3
EVA	20	0,7	3
	30	0,5	3
	30	0,7	3
	30	0,9	3
	1	0,5	3
	1	0,7	3
EPS	1	0,9	3
	2	0,7	3
	3	0,5	3
	3	0,7	3
	3	0,9	3

Para determinar as melhores composições para a fabricação dos blocos de GESSOPET, foram executados os ensaios de resistência à compressão e de absorção de água, sendo moldados corpos de prova cúbicos, com aresta de 50 mm, em formas metálicas com capacidade para três corpos de provas por moldagem. Uma vez moldados e transcorrido o tempo necessário para a cura, cerca de 1 hora, os corpos de prova foram retirados dos moldes, tempo suficiente para que adquirissem resistência ao manuseio, acondicionados em temperatura ambiente durante 24 horas e, posteriormente, colocados em estufa a $45 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para acelerar o processo de secagem, até se obter uma massa constante.

Realizou-se um tratamento térmico nos resíduos de EVA, já triturados, baseado em uma adaptação de Garlet (1998), que consiste em colocar o agregado em recipiente com água, a 100°C , por 30 minutos. No caso dos resíduos de EPS, foram colocados em recipiente com água a temperatura ambiente por 30 minutos, para posterior utilização. Esses tratamentos provocam redução no volume inicial, deixando o agregado mais denso, com melhoras importantes nas propriedades (absorção de água e resistência à compressão) dos blocos fabricados.

3.2.1.1 Ensaio de absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com a norma NBR 14715-2 (ABNT, 2010a), para chapas de gesso acartonado, que estabelece a determinação da massa inicial dos corpos de prova cúbicos, de 125 cm³, depois do processo de cura. Em seguida, foram submergidos em recipiente com água durante 120 minutos (Figura 15). Decorridos esse tempo, os corpos de prova são retirados da água e removidos o excesso de água com um pano úmido, e determinada sua massa final.

Figura 15 - Ensaio de absorção de água



Desta forma, o percentual de água absorvida por cada corpo de prova foi calculado, conforme a Equação 1.

Equação 1 - Absorção de água

$$a = \frac{(m_f - m_i)}{m_i} \times 100$$

Em que:

a - absorção d'água (%)

m_f - massa final (g)

m_i - massa inicial (g)

De acordo com a análise das curvas relativas aos resultados do ensaio de absorção de água (Figura 16 e Figura 17), pode-se verificar que o aumento do relação a/g é diretamente proporcional ao potencial de absorção de água do corpo de prova. Assim como, o aumento da proporção de resíduos dos polímeros provoca também aumento da porosidade, com uma significância menor se comparado ao relação a/g. Observa-se uma certa semelhança entre as curvas de Gesso-EVA e de Gesso-EPS.

Figura 16 - Curvas de níveis de absorção de água para Gesso-EVA

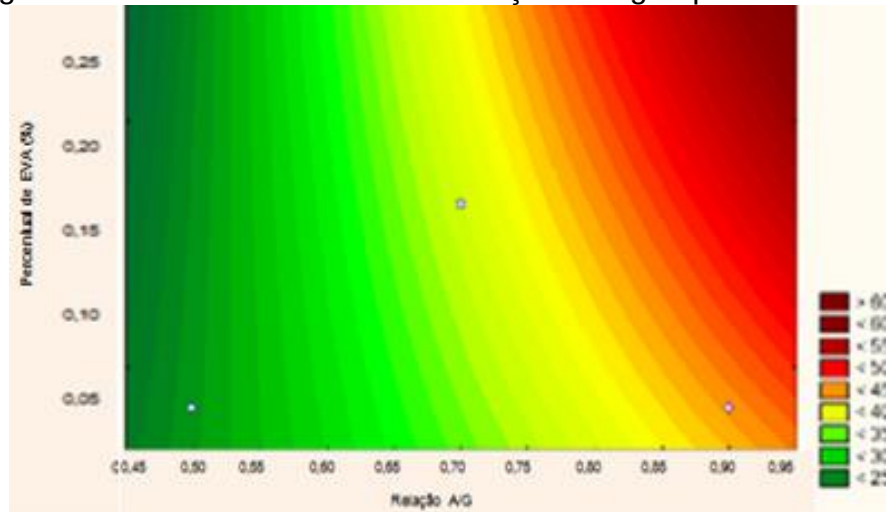
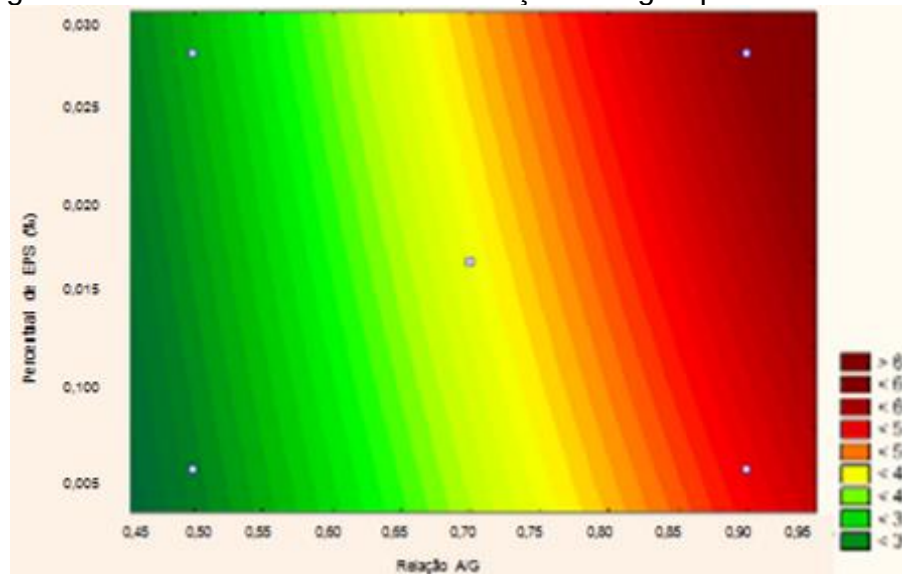


Figura 17 - Curvas de níveis de absorção de água para Gesso-EPS

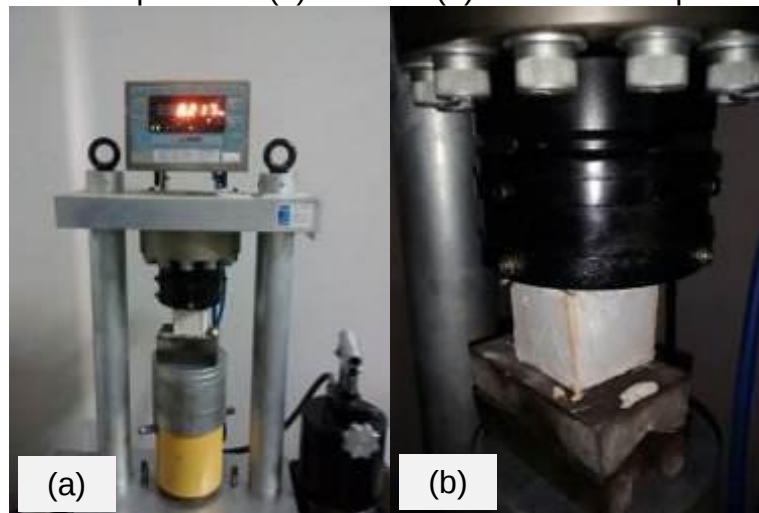


Desta forma, a análise corrobora com a afirmação de Souza (2006), quando este autor afirma o endurecimento da pasta o aquecimento provoca evaporação da água excedente. Portanto, quanto maior a quantidade de água para formação da pasta maior a porosidade formada e, conseqüentemente, maior o potencial de absorção de água do material. Entretanto, a redução da quantidade de água fica condicionada à obtenção da trabalhabilidade das misturas, ou seja, a redução da água influencia na fluidez da pasta.

3.2.1.2 Ensaio de resistência à compressão

A resistência à compressão axial dos corpos de prova foi determinada de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005b). O ensaio foi realizado no Laboratório de Estruturas e Materiais (LABEME) da UFPB, em prensa hidráulica com capacidade de carga de 100kN. Os corpos de prova analisados são os mesmos que tinham sido utilizados nos ensaios de absorção de água, depois de secagem realizada em estufa a 50°C (Figura 18).

Figura 18 - Ensaio de compressão. (a) Prensa. (b) Detalhe da ruptura do corpo de prova



Nos gráficos gerados no software STATISTIC 8.0 para o ensaio de resistência à compressão, verificou-se que o aumento do percentual de resíduos, tanto EVA como EPS, provocou decréscimo da resistência à compressão. Conforme Figura 19, a resistência à compressão diminuiu devido à adição de EVA e aumentada relação a/g. Entretanto, na Figura 20 observa-se que a resistência à compressão nas amostras com Gesso-EPS é mais influenciada pelo percentual de EPS incorporado na amostra do que pelo aumento da relação a/g.

Figura 19 - Curvas de níveis da resistência à compressão axial do Gesso-EVA.

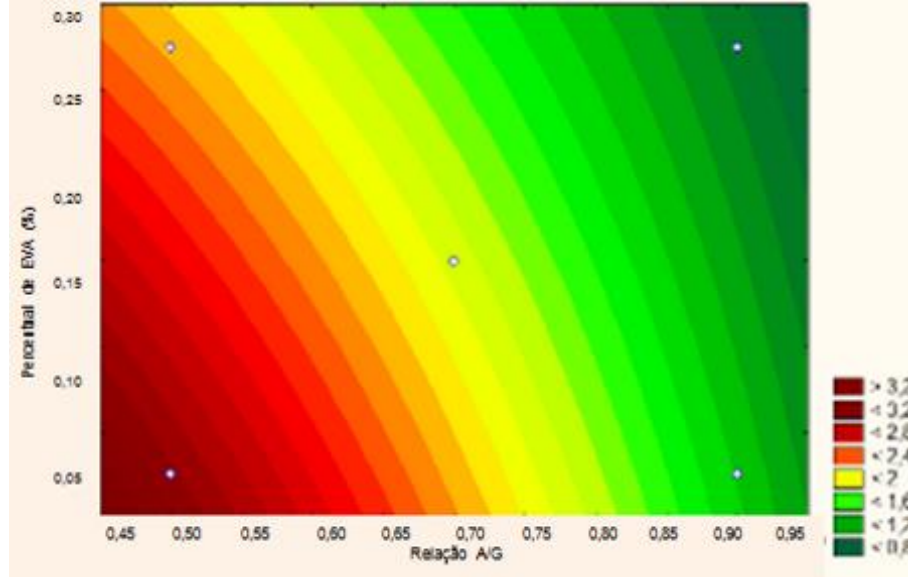
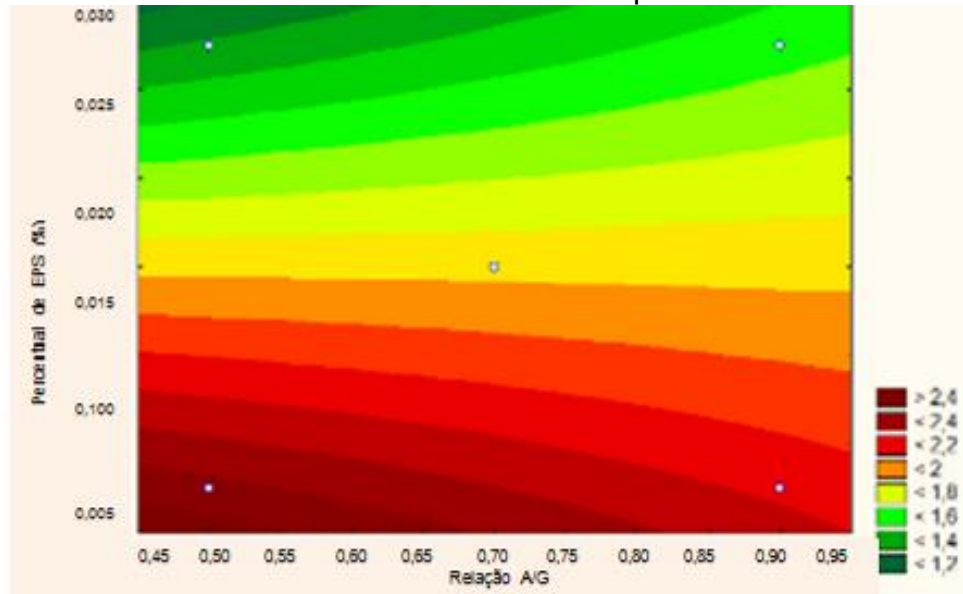


Figura 20 - Curvas de níveis da resistência à compressão axial do Gesso-EPS.



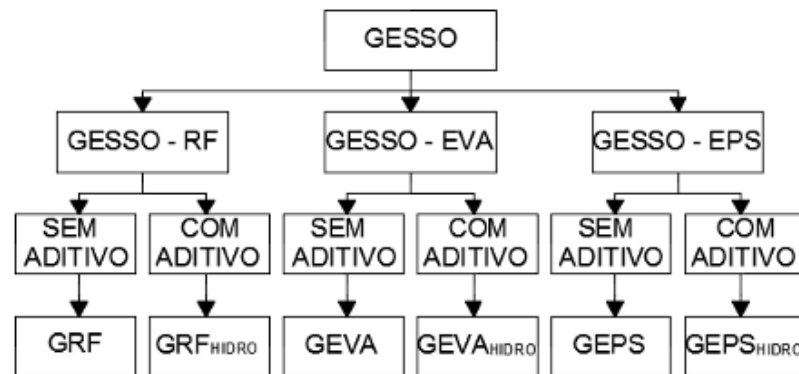
Portanto, após análise das curvas para os ensaios citados acima, escolheu-se trabalhar com percentual de resíduos de EVA de 10%, e de EPS igual a 1%, com relação a/g de 0,7, conforme resumido na Tabela 3.

Tabela 3 – Proporções dos traços das misturas escolhidas

Referência	Gesso	EPS	EVA	A/G
RF	1,00	-	-	0,5
GESSO-EPS	1,00	0,01	-	0,7
GESSO-EVA	1,00	-	0,10	0,7

Escolhidas as composições para a produção dos três materiais a serem estudados, comparou-se os blocos simples (sem aditivo) e hidrofugado (com aditivo hidrofugante), indicados para sistema de vedações verticais externas. Desta forma, têm-se seis misturas para análise, conforme Figura 21.

Figura 21 - Misturas trabalhadas



A proporção do aditivo hidrofugante seguiu a determinação do fabricante utilizando 0,4% em relação à massa do gesso. O aditivo foi adicionado em recipiente limpo com água potável e depois de misturado bem, colocou-se o pigmento na cor azul no gesso hidrofugado, para diferenciá-lo do gesso simples.

3.3 PROJETO E FABRICAÇÃO DOS BLOCOS DE GESSOPET

Depois de definidas as misturas a serem trabalhadas, iniciou-se o projeto para confecção dos blocos. Como já mencionado anteriormente, o desenvolvimento desta pesquisa foi direcionado para o projeto do bloco GESSOPET, produzido com gesso e resíduos poliméricos de EVA e de EPS, assim como gesso sem resíduos para fins comparativos, com dimensões e mecanismos de encaixe coerentes com as propriedades do material de estudo. Além disto, a peça criada precisava atender a

padrões arquitetônicos mínimos dos ambientes, levando-se em conta a dimensão e altura dos componentes da construção, tais como: portas, janelas e pé direito.

Para o projeto de modulação dos blocos utilizou-se o princípio estabelecido pela NBR 15873 (ABNT, 2010b) que adota módulos de 10 cm desconsiderando-se as dimensões de blocos de gesso comerciais que possuem 66,6 x 50,0 x 10,0 cm. Como também, seguiram-se as dimensões estabelecidas em pesquisas acadêmicas consagradas que utilizam garrafas PET, com altura de 35 cm e diâmetro de 10 cm, no interior dos blocos, conforme utilizados nas pesquisas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Exemplos de blocos utilizando garrafas PET na moldagem

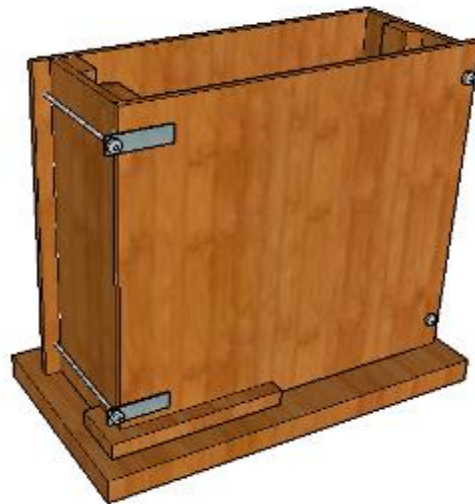
Autor	Dimensão(cm)	Bloco
KANNING <i>et al.</i> (2003)	40 x 40 x 14,5 (bloco grande) 40 x 20 x 14,5 (bloco pequeno)	
SILVA (2010)	50 x 35 x 13	
VIEGAS (2012)	37,5 x 12 x 12 (bloco grande) 18,7 x 12 x 12 (bloco pequeno)	

Portanto, o projeto do bloco GESSOPET foi definido a partir de estudo de um repertório de blocos pré-moldados consagrados que utilizam garrafa PET no seu interior. De acordo com Rocha (2008), foram analisados para isso questões como:

- (i) Tipo e formato dos encaixes;
- (ii) Forma de produção dos blocos (moldagem e desmoldagem);
- (iii) Forma de instalação da peça no canteiro de obra;
- (iv) Relação entre as dimensões, massa e encaixes com o projeto arquitetônico (possibilidade de modulação).

Após serem definidos os encaixes macho-fêmea na vertical entre os elementos, no estudo dimensional do pré-moldado, foram elaboradas as formas para produção dos mesmos, de acordo com a Figura 22. No processo de moldagem, os blocos foram confeccionados e avaliados em função da facilidade no processo de desforma.

Figura 22 – Modelo da forma dos blocos de GESSOPET



Outra condição importante para a definição geométrica do bloco foi a largura padrão das alvenarias, que geralmente possuem 15 cm com acabamento. Assim como, em razão da dimensão das garrafas PET de 2 litros, com diâmetro de 10 cm e altura de 35 cm (Figura 23). Desta forma, considerou-se que esse tipo de bloco dispensa a necessidade da camada de revestimento, apenas utilizando tratamento superficial à base de massa de nivelamento e tinta.

Os blocos GESSOPET foram confeccionados em 3 (três) tipologias, com o objetivo de racionalizar o processo construtivo de residências (Tabela 5), onde se colocou transparência para a visualização das garrafas PET no interior dos blocos, que foram utilizadas com o intuito de melhorar o comportamento térmico.

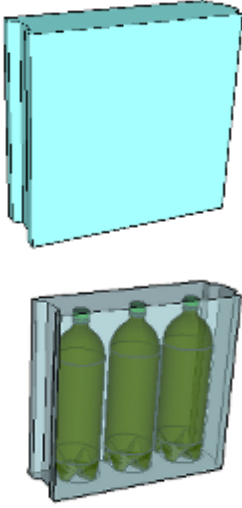
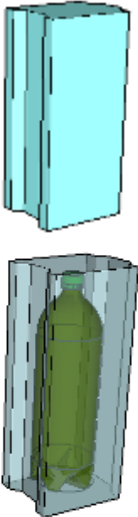
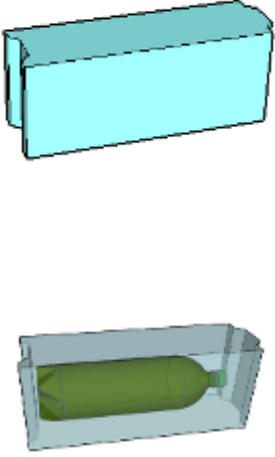
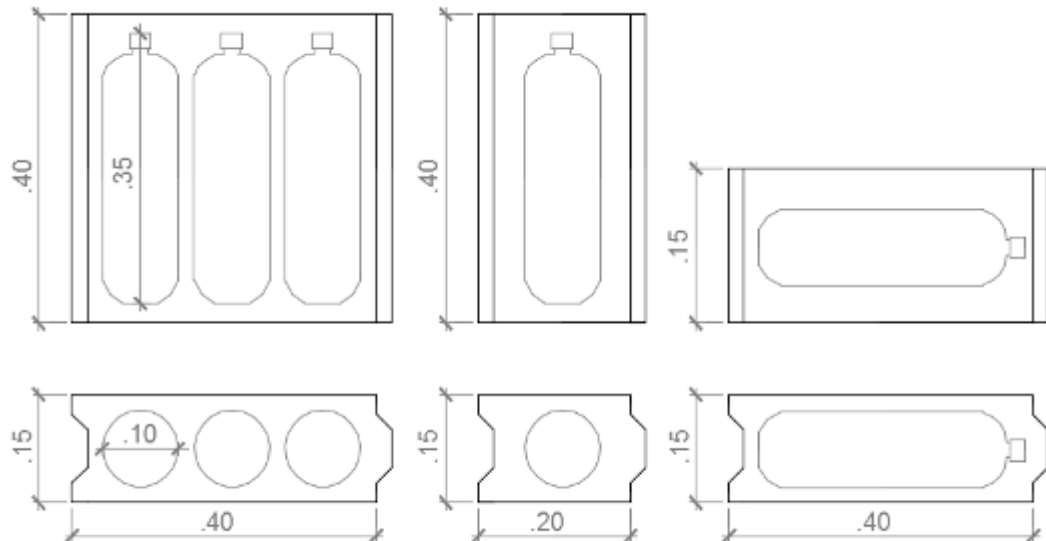
Tabela 5 - Tipologia dos blocos de GESSOPET (medidas em cm)		
GESSOPET - TIPO A	GESSOPET - TIPO B	GESSOPET - TIPO C
Posição Vertical 40 x 40 x 14	Posição Vertical 20 x 40 x 14	Posição Horizontal 40 X 20 x 14
		

Figura 23 - Dimensionamento das tipologias

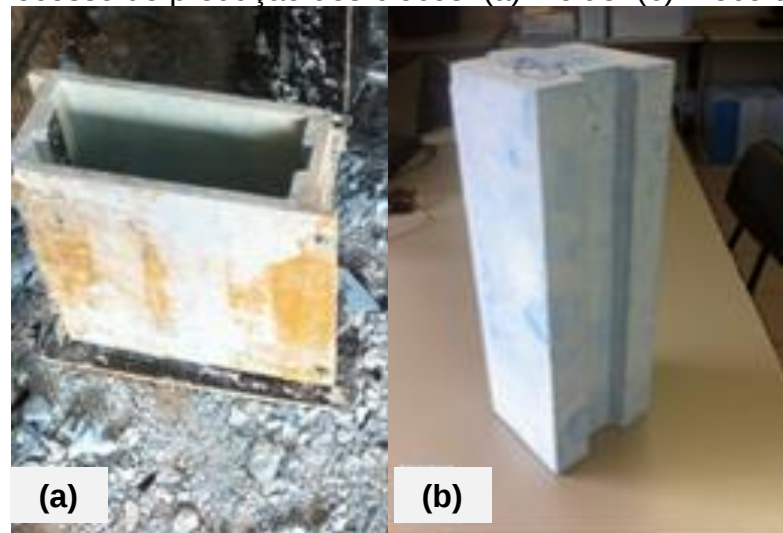


A produção dos blocos foi realizada em uma fábrica de pequeno porte, localizada no bairro de Portal do Sol, município de João Pessoa. Como o interesse do trabalho é a análise voltada ao conforto térmico para sistemas de vedação vertical externa, fabricaram-se apenas os blocos de GESSOPET hidrofugados, embora o mesmo processo pode ser realizado para os blocos de GESSOPET simples.

A partir da dosagem escolhida para os blocos de GESSOPET RF, EVA e EPS, executou-se pesagem, mistura e homogeneização dos materiais, para a obtenção de uma mistura fluida, que é utilizada no preenchimento das formas de madeira com garrafas PET no interior.

Após alguns minutos, os blocos de gesso, já endurecidos, foram desmoldados e transportados para o local da secagem natural, ao ar livre. A Figura 24 ilustra o processo de fabricação dos blocos de GESSOPET.

Figura 24 - Processo de produção dos blocos. (a) Molde. (b) Bloco de GESSOPET



Após o período de cura dos blocos, realizou-se a pesagem dos mesmos comparando os pesos em relação ao material constituinte das três amostras (RF, EVA e EPS), conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Peso dos blocos de GESSOPET

Bloco	Material	Peso (g)	Massa Unitária (g/cm³)	Redução em relação à RF (%)
GESSOPET - TIPO A Posição Vertical 40 x 40 x 14	RF	18.500	0,83	-
	EVA	17.500	0,78	5,4
	EPS	16.050	0,72	13,2
GESSOPET - TIPO B Posição Vertical 20 x 40 x 14	RF	9.150	0,82	-
	EVA	8.450	0,75	7,7
	EPS	7.150	0,64	21,9
GESSOPET - TIPO C Posição Horizontal 40 x 20 x 14	RF	8.550	0,76	-
	EVA	7.900	0,71	7,6
	EPS	6.800	0,61	20,5

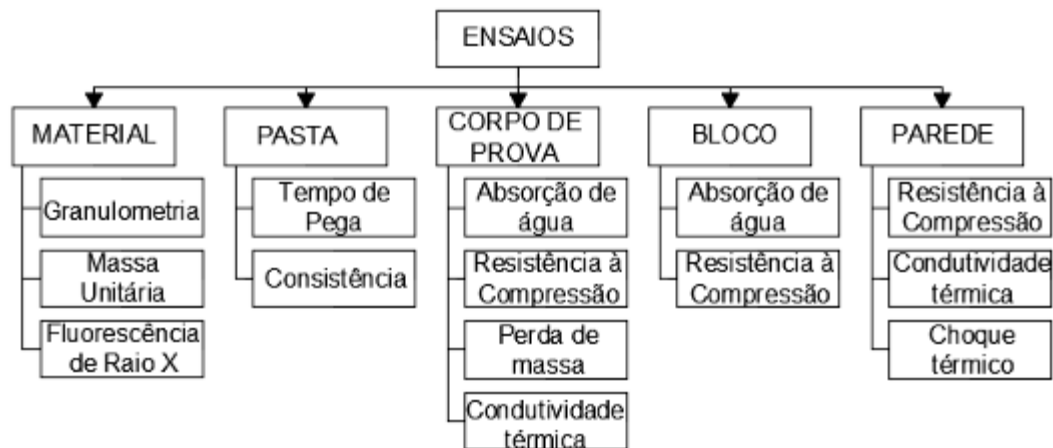
Desta forma, a inserção de resíduos reduz o peso dos blocos e também diminui o consumo de gesso.

3.4 ENSAIOS REALIZADOS

A Figura 25 apresenta um programa esquemático com os ensaios realizados nos materiais empregados, nas pastas, nos corpos de prova, nos blocos e nas paredes.

Os ensaios de absorção de água e resistência à compressão foram realizados em corpos de prova e nos blocos como forma de comparar os resultados conforme variação da escala e características das amostras.

Figura 25 – Ensaio realizados



3.4.1 Material

3.4.1.1 Granulometria

O ensaio de distribuição granulométrica do gesso foi estabelecido de acordo com a norma NBR 12127 (ABNT, 1991a), em que o material seco em estufa ($40 \pm 4^\circ\text{C}$) foi submetido ao peneiramento mecânico sequencial, em peneiras normatizadas com aberturas de 0,840mm, 0,420mm, 0,210mm e 0,105mm. A massa retida do material em cada peneira foi registrada para representação gráfica (curva granulométrica) do percentual que passa de massa acumulada, em função da abertura das peneiras utilizadas. A obtenção da curva granulométrica dos resíduos de EPS e EVA foi determinada a partir de adaptação da norma NBR NM248 (ABNT, 2003), Ensaio de composição granulométrica para agregado.

3.4.1.2 Massa unitária

O ensaio de massa unitária do gesso foi obtido a partir da norma NBR 12127 (ABNT, 1991a). Já para determinação da massa unitária dos resíduos de EPS e EVA utilizou-se uma adaptação da norma NBR NM45 (ABNT, 2006) – Determinação da massa unitária e volume de vazios.

3.4.1.3 Fluorescência de raios-X

A análise química foi realizada no Laboratório de Solidificação Rápida da UFPB, através do equipamento XRF-1800 da Shimadzu. Os teores de óxidos de cálcio (CaO) e anidrido sulfúrico (SO₂) foram obtidos através da fluorescência de raios-X. O ensaio de fluorescência de raios-X é um método analítico para determinação da composição química dos materiais. As amostras foram analisadas no estado em pó, através de pastilhas prensadas.

3.4.2 Pasta

3.4.2.1 Tempo de pega

Para os ensaios de início e fim de pega, foram moldados corpos-de-prova específicos conforme estabelecido pela norma NBR 12128 (ABNT, 1991b), em temperatura ambiente, utilizando o aparelho de Vicat (Figura 26).

A pasta foi polvilhada sobre a água no período de 1 minuto, ficando em repouso por 2 minutos, sendo misturada no próximo minuto subsequente, em movimentos circulares, até obter uma pasta uniforme.

O tempo considerado foi computado, em minutos, a partir do momento que o gesso entrou em contato com a água, até o instante que a agulha do aparelho de Vicat não penetrou no fundo da pasta, ficando a 1 mm acima da base. O final de pega foi caracterizado no período que a agulha não penetrou mais a pasta.

Figura 26 - Aparelho de Vicat



3.4.2.2 Consistência

Para a obtenção da consistência das pastas, comparativamente, utilizou-se a mesa de espalhamento (Figura 27), a partir da adaptação da norma NBR 13276 (ABNT, 2005a). O ensaio consiste em medir o espalhamento horizontal da pasta de gesso moldada em forma de tronco de cone padrão, onde o material é submetido a sucessivos impactos após a retirada do cone. Desta forma, verifica-se o diâmetro, em mm, da pasta após cinco golpes, visando, de forma indireta, avaliar a trabalhabilidade das amostras.

Figura 27 - Mesa de espalhamento

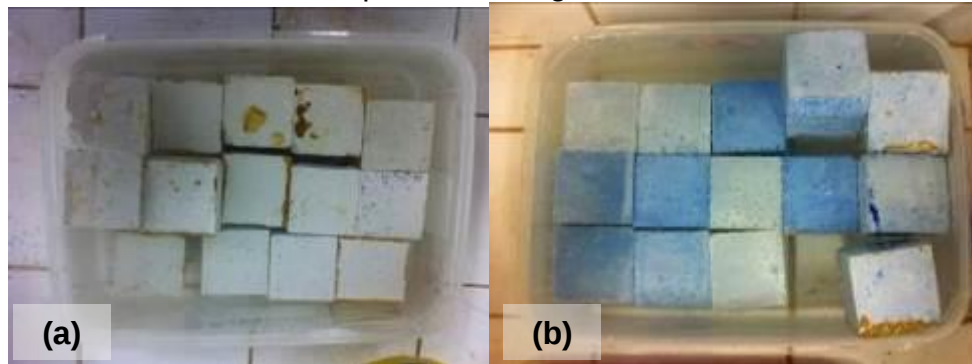


3.4.3 Corpo de prova

3.4.3.1 Absorção de água

Procedimento similar ao descrito no item 3.3.1.2. Entretanto, foram comparados os resultados obtidos nas amostras de gesso simples e hidrofugado (Figura 28).

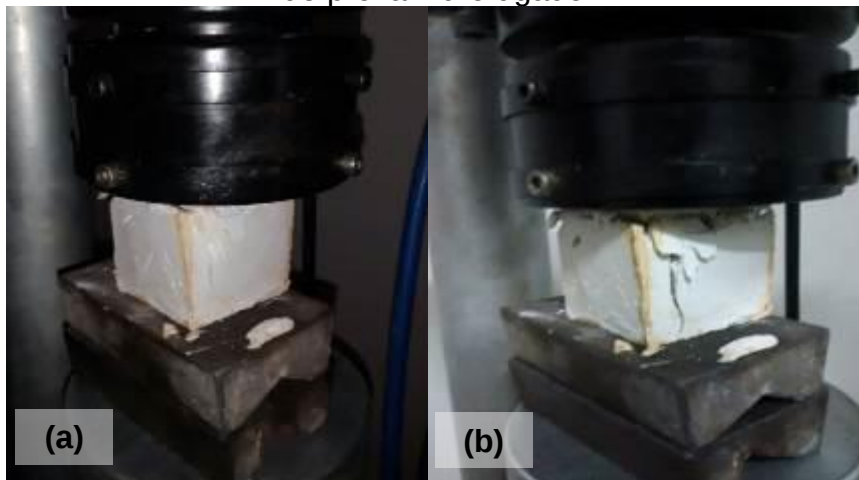
Figura 28 - Ensaio de absorção de água. (a) Corpos de prova simples. (b) Corpos de prova hidrofugado.



3.4.3.2 Resistência à compressão

Procedimento similar ao descrito no item 3.3.1.1. Foram comparadas as amostras de gesso simples e hidrofugado (Figura 29).

Figura 29 - Ensaio de resistência à compressão. (a) corpo de prova simples. (b) corpo de prova hidrofugado.



O resultado foi obtido a partir da Equação 2, sendo expresso em MPa.

Equação 2 - Resistência à Compressão

$$R_c = \frac{P}{10 \times A_{liq}}$$

Em que: P - carga (kgf)

A_{liq} - área líquida da seção transversal (cm²)

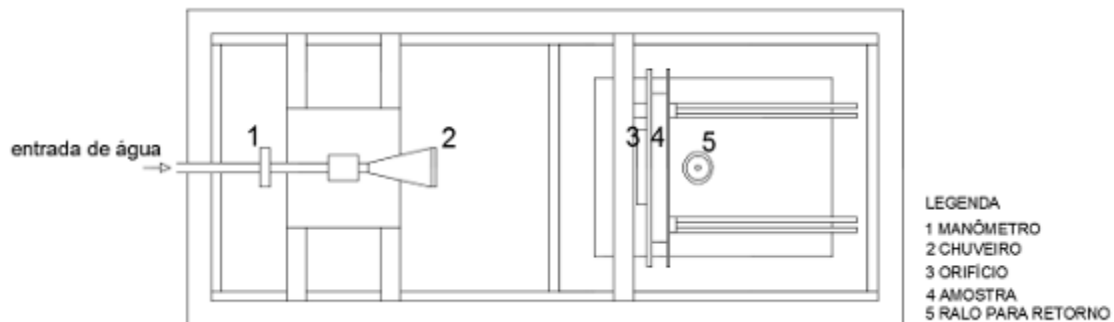
3.4.3.3 Perda de massa por erosão

A medição da perda de massa por erosão foi realizada com base no método formulado pelo Spray Test, Bulletin 5, do Building Code of Austrália⁴, com modificações previstas por Heathcote (2002), Obonyo *et al.* (2010) e Nogueira (2012) que fornecem parâmetros para determinação da durabilidade dos corpos de prova.

O ensaio consistiu em submeter três placas, com dimensões de 15 x 15 x 3 cm, a um jato d'água com pressão de 50 kPa, durante 60 min, provindo de um chuveiro padrão disponível no comércio de João Pessoa, com 37 furos, cada furo com 1,3 mm de diâmetro. O jato d'água pressurizado é produzido pelo chuveiro com vazão de 10 l/min. Com o intuito de minimizar o consumo de água foi elaborado um sistema a parte do reaproveitamento, onde a água que saia pelo ralo retornava para o tanque, através de uma bomba. A distância entre os corpos de prova e o chuveiro foi de 470 mm, conforme Figura 30 e Figura 31.

Com base no experimento, foi possível aferir o desgaste conferido a cada placa por uma precipitação de aproximadamente 60 mm/hora, conforme estabelecido por Heathcote (2002).

Figura 30 – Representação esquemática do ensaio de perda de massa



⁴ O boletim 5 – Teste de pulverização (Spray Test) é uma norma estabelecida pelo Código de construção da Austrália que foi desenvolvido para simular a erosão provocada pela chuva.

Figura 31 – Equipamento utilizado para a realização do ensaio de perda de massa por erosão



O ensaio estabelece que o grau de erosão é dado pela profundidade do desgaste provocado pelo impacto da água no corpo de prova, onde, para profundidades superiores a 15 mm, os corpos de prova devem ser rejeitados.

O desgaste médio da amostra foi calculado pela média de 3 corpos de prova da mesma composição. Para tal, foi observado o peso do corpo de prova após seco em estufa durante 24 horas, a uma temperatura média de 55°C, antes e depois de cada ensaio, com base no cálculo de perda de massa através da Equação 4.

Equação 3 - Perda de massa por erosão

$$p = \frac{(p_i - p_f)}{p_i} \times 100$$

Em que:

p- perda de massa

p_i – peso do corpo de prova antes do ensaio

p_f – peso do corpo de prova após exposição ao jato d'água

Para Torgal e Jalali (2010), este ensaio estima o desgaste da parede durante uma vida útil de 50 anos. Entretanto, os autores reconhecem que a chuva não é o único fator que impacta na durabilidade da parede, mas é o mais relevante.

3.4.3.4 Condutividade térmica

Os ensaios de condutividade térmica foram realizados baseados na medição da resistência térmica pelo método fluxométrico, através do equipamento Condutivímetro K30 (Figura 32), em regime estacionário, conforme a NBR 15220-5: Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico (ABNT, 2005).

Figura 32 - Condutivímetro K30

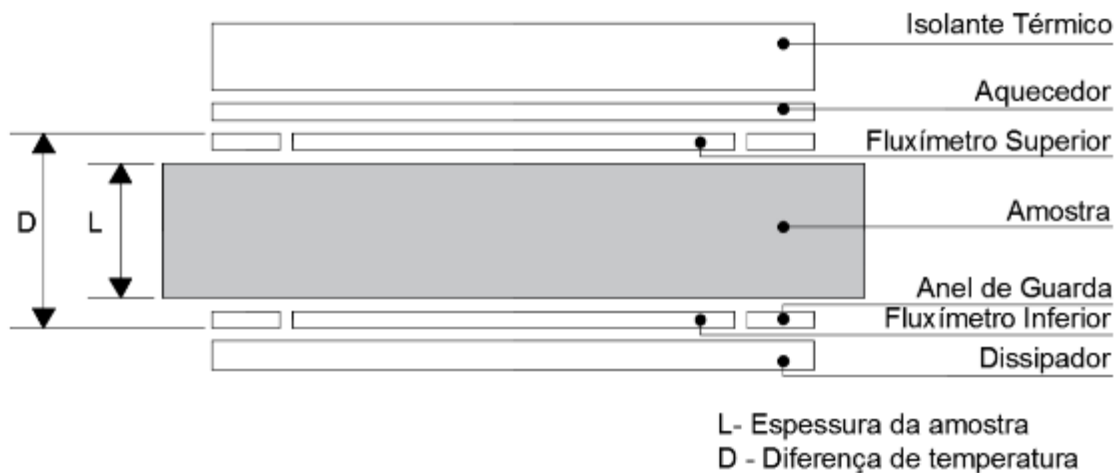


O princípio do método de condutividade baseia-se na medição da resistência térmica com a aplicação de uma densidade de fluxo de calor, constante e unidirecional, a partir de superfícies isotérmicas, mantidas a variação de temperaturas constantes e diferentes uma da outra, através da zona central de medição de um fluxímetro e da zona central de uma amostra em forma de placa. Para tal, foram moldadas placas planares com as seguintes dimensões: 30 cm x 30 cm, sendo 3 cm de espessura (Figura 33). A Figura 34 mostra um esquema do dispositivo.

Figura 33 - Amostra para ensaio de condutividade térmica. (a) Molde metálico para fabricação das amostras. (b) Amostra



Figura 34 – Princípio da medição da condutividade térmica

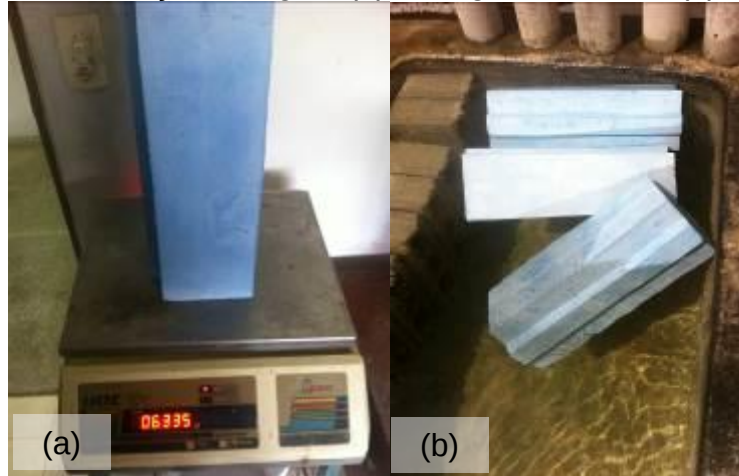


3.4.4 Bloco

3.4.4.1 Absorção de água

O ensaio de absorção de água foi realizado a partir da determinação da massa inicial das três tipologias de blocos GESSOPET, depois do processo de cura, foram submergidos em tanque com água (Figura 35). Após imersão por 120 minutos removeram-se os blocos de gesso da água, drenando-os por 5 minutos e pesando-os outra vez. O resultado da absorção de água de cada bloco foi obtido a partir da média aritmética dos valores de três amostras ensaiadas.

Figura 35 - Ensaio de absorção de água. (a) Pesagem do bloco. (b) Blocos submersos.



3.4.4.2 Resistência à compressão

A resistência do bloco é determinada através da carga normal aplicada sobre a área transversal do corpo de prova, utilizaram-se os blocos remanescente do ensaio de absorção, baseada na adaptação das normas NBR 15270-3 (ABNT, 2005e) para componentes cerâmicos e NBR 12118 (ABNT, 2013a) para blocos vazados de concreto simples para alvenaria. Para o ensaio de resistência à compressão foi realizado o capeamento de todos os blocos, feito isso eles foram rompidos como mostra a Figura 36. A resistência média de compressão de cada traço, em MPa, foi considerada como sendo a média aritmética dos valores dos três corpos de prova ensaiados.

Figura 36 - Ensaio de resistência à compressão. (a) Bloco na prensa. (b) Bloco rompido.



3.4.5 Parede (prisma)

3.4.5.1 Resistência à compressão

A resistência à compressão da alvenaria está ligada diretamente a resistência dos blocos, que varia de acordo com a sua forma e composição. Para Corrêa e Ramalho (2003), a determinação da resistência de blocos é importante, visto que o principal esforço atuante nas alvenarias é o de compressão, embora elas também sejam submetidas a esforços de tração, flexão e cisalhamento. Diversas pesquisas foram produzidas para estabelecer de maneira analítica a resistência à compressão da alvenaria em relação à resistência dos blocos e prismas.

Para Mohamad *et al.* (2011), o ensaio de resistência em paredes é a melhor forma de ilustrar a situação real do projeto, pois as unidades constituintes possuem características diferentes devido a anisotropia das peças e influência das juntas. Os autores afirmam que a resistência à compressão diminui com a altura do corpo de prova, onde a ruptura da unidade é causada pela iniciação e propagação de fissuras.

Para a realização do ensaio de resistência à compressão foram utilizadas as três paredes, analisadas inicialmente na câmara térmica para avaliação do desempenho térmico. O ensaio de compressão ocorreu 24 horas depois das paredes serem retiradas da câmara térmica para estabilizar a temperatura. Posteriormente, a parede era colocada no pórtico com prensa hidráulica instalado no LABEME, sendo colocado perfil metálico sobre as paredes para melhor distribuição da carga, como mostra a Figura 37.

Utilizou-se uma célula de carga adequada, dois transdutores de deformação (extensômetros) calibrados e logger compatível, a carga centrada teve velocidade controlada em aproximadamente 1 kN a cada 10 segundos.

Foram utilizados dois extensômetros colocados centralizados um em cada face da amostra. Desta forma, foi possível determinar as deformações em cada lado da parede e as cargas atuantes. Os transdutores eram retirados quando ocorriam as primeiras fissurações, entretanto, a carga era estabelecida até a ruptura total da parede.

Figura 37 - Prensa hidráulica com parede para execução de ensaio de compressão



Quando da ocorrência dos primeiros indícios de ruptura, os extensômetros eram retirados e as cargas eram incrementadas até a ruptura.

A determinação da NBR 15961 (ABNT, 2011) é que o ensaio de resistência à compressão para paredes de alvenaria estrutural seja com corpos de prova de dimensões mínimas 1,20 m x 2,60 m. Entretanto, para o ensaio em questão foram utilizadas amostras com 1,00 m x 1,20 m, justifica-se a adaptação porque refere-se a uma análise para alvenaria de vedação.

3.4.5.2 Comportamento térmico

Os ensaios de comportamento térmico nas três amostras de paredes simples foram realizados em uma câmara térmica do LABEME - UFPB. Foram construídas três paredes de 1,0 m x 1,20 m (Figura 38), de acordo com as composições estudadas Gesso-RF, Gesso-EVA e Gesso-EPS. Os blocos foram assentados utilizando gesso cola hidrofugado, em seguida as paredes foram pintadas com tinta acrílica na cor branca. As paredes foram executadas utilizando blocos de GESSOPET com as

seguintes dimensões: bloco grande com 40 cm x 40 cm x 15 cm e bloco pequeno com 40 cm x 20 cm x 15 cm.

Figura 38 – Paredes construídas com os blocos de GESSOPET RF, EVA e EPS



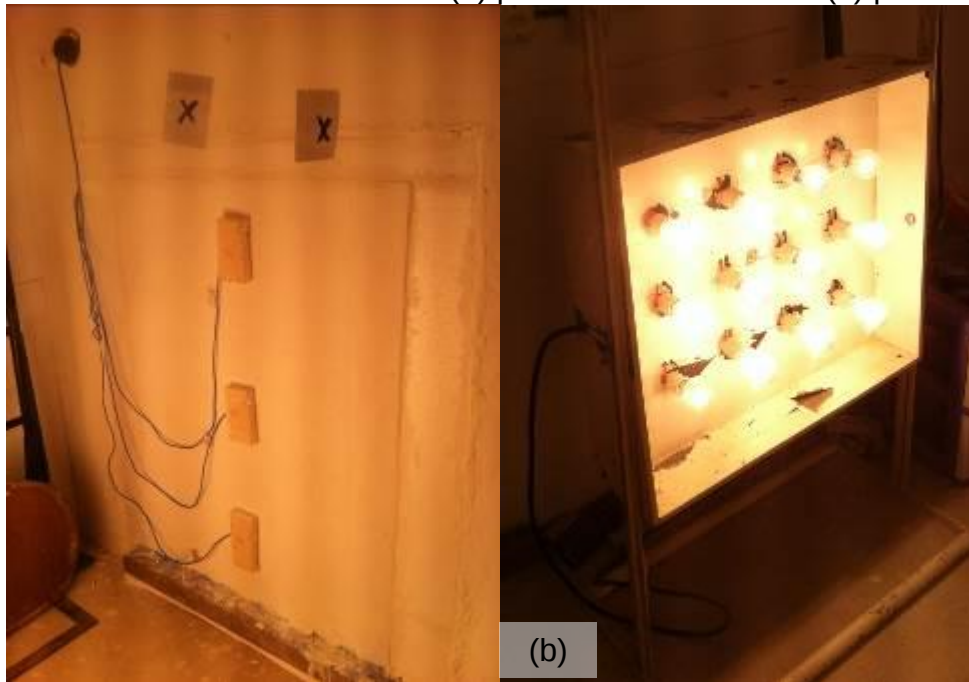
As amostras de paredes foram instrumentadas na câmara térmica, composta por dois ambientes, um aquecido e outro refrigerado, separadas por uma divisória isolante, composta por *drywall* com manta de fibra de vidro no interior. Nessa divisória existe um espaço para a amostra ser inserida. Todas as paredes da câmara térmica no ambiente aquecido são revestidas com placas de isopor, com 2 cm de espessura.

A instrumentação foi realizada com o uso de 3 termopares instalados nas superfícies de paredes e de dois termômetros de globo negro, de cada lado da câmara térmica (Figura 39). Utilizou-se como fonte de calor um dispositivo composto de uma caixa metálica, contendo 12 lâmpadas incandescentes, que totalizam 1.400 W de potência, que foi posicionado sempre a uma distância de 1,0 m da amostra (Figura 40).

Figura 39 - Planta baixa esquemática da câmara térmica



Figura 40 - Interior de câmara térmica. (a) parede instrumentada. (b) painel radiante.



3.4.5.3 Choque térmico

Conforme adaptação das diretrizes estabelecidas pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) realizou-se ensaio em escala reduzida para verificar a resistência ao choque térmico de sistemas de vedação vertical externa (SVVE) com blocos em estudo. Foram avaliados experimentalmente o comportamento de três mini paredes (60 cm x 40 cm), de gesso com resíduos de EVA e de EPS e sem resíduos, sem revestimento, apenas

com pintura com tinta acrílica na cor branca (Figura 41). Para uma análise comparativa, tomou-se como base os trabalhos de QUEIROGA et al. (2014), para bloco de concreto com EVA e de tijolos cerâmicos, e VARISCO (2014), para blocos concreto autoclave. Justifica-se a redução do tamanho das amostras para possibilitar a economia de uso de materiais durante os experimentos e a existência de um equipamento adaptado para simular os 10 ciclos de choque térmico de forma automatizada.

Figura 41 - Mini parede



O ensaio consistiu em submeter o SVVIE a ciclos sucessivos de calor proveniente de fonte radiante e resfriamento por meio de jatos de água, em uma câmara térmica em escala reduzida através de um sistema automatizado, considerando a simulação da ação da chuva e do sol (Figura 42).

No tocante à instrumentação das mini paredes, foram utilizados seis sensores de temperatura, instalados na superfície que simula a face externa da alvenaria (um central e 4 periféricos), o outro ficou localizado na face oposta. Foi colocado também, no centro da amostra, um transdutor para medir os deslocamentos horizontais. Os sensores de temperatura, termopares do tipo T (cobre + constantan), e o transdutor de deslocamento foram conectados a um Sistema de Aquisição de Dados 840AMX, o que possibilitou a geração de gráficos que comprovam o padrão das temperaturas antigidas nos ciclos de calor e choque térmico e os deslocamentos horizontais.

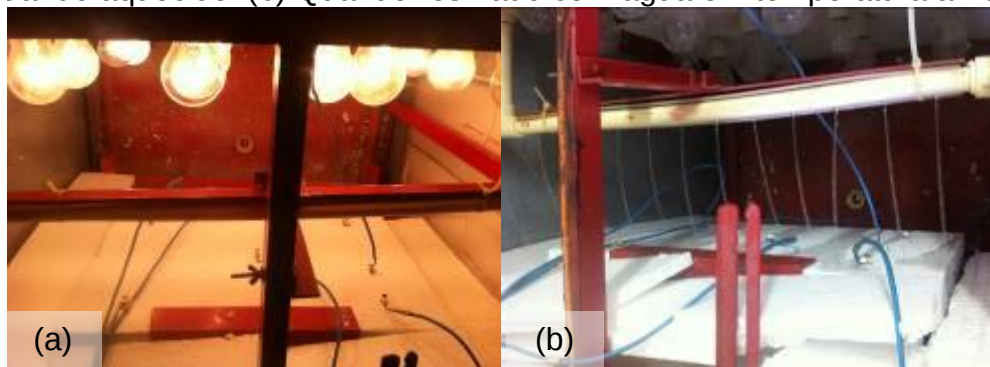
A câmara possibilita a realização dos ensaios de choque térmico da seguinte forma: a radiação é gerada através de um painel radiante composto por 16 lâmpadas incandescentes, com potência de 1800 W, posicionado a uma distância de 30 cm da face externa da mini parede, capaz de fornecer calor em quantidade tal que a face externa

da parede atinja a temperatura igual a $(80 \pm 3)^{\circ}\text{C}$, com duração de 1 hora, quando foi mantida nesta temperatura por mais 1 hora, totalizando um período de radiação de 120 minutos por ciclo (Figura 43a). Já, a aspersão da água foi realizada através de uma tubulação horizontal em PVC, de 20 mm, perfurada que permitiu a completa molhagem da face externa da amostras. Aspersão de água iniciou-se, imediatamente após a supressão da radiação de calor. Se estabeleceu um período de 15 minutos, até a mini parede atingir a temperatura superficial igual a $27^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (Figura 43b). Desta forma, totalizando 135 minutos por ciclo, sendo um total de 10 ciclos dessa forma o ensaio completo teve uma duração de 1350 minutos.

Figura 42 - Equipamento para ensaio de choque térmico



Figura 43 - Interior do equipamento elaborado para realizar ensaio de choque térmico.
(a) Quando aquecido. (b) Quando resfriado com água em temperatura ambiente.



Estes ensaios objetivaram verificar se após tais ciclos de calor seguidos de molhagem com água, as vedações apresentaram fissuras, trincas entre outras patologias que afetam a durabilidade da vedação e se ocorreram alterações no desempenho do sistema de alvenaria, decorrente da movimentação diferenciada entre os materiais.

Foi efetuada uma inspeção visual, cuja ocorrência de falhas, ou seja, fissuras, trincas, descolamentos ou outras deteriorações em ambas as faces do corpo de prova, informando tais ocorrências junto aos resultados. De acordo com Varisco (2014), entende-se:

- (i) Falha: Ocorrência que prejudica a utilização do sistema ou do elemento, resultando em desempenho aquém do requerido.
- (ii) Fissura: greta superficial, com espessura de até 0,5mm.
- (iii) Trinca: greta mais profunda, podendo transpassar até a outra face, com abertura entre 0,5 e 1,0mm.
- (iv) Descolamentos: Perda de aderência entre o componente de acabamento e sua respectiva base.

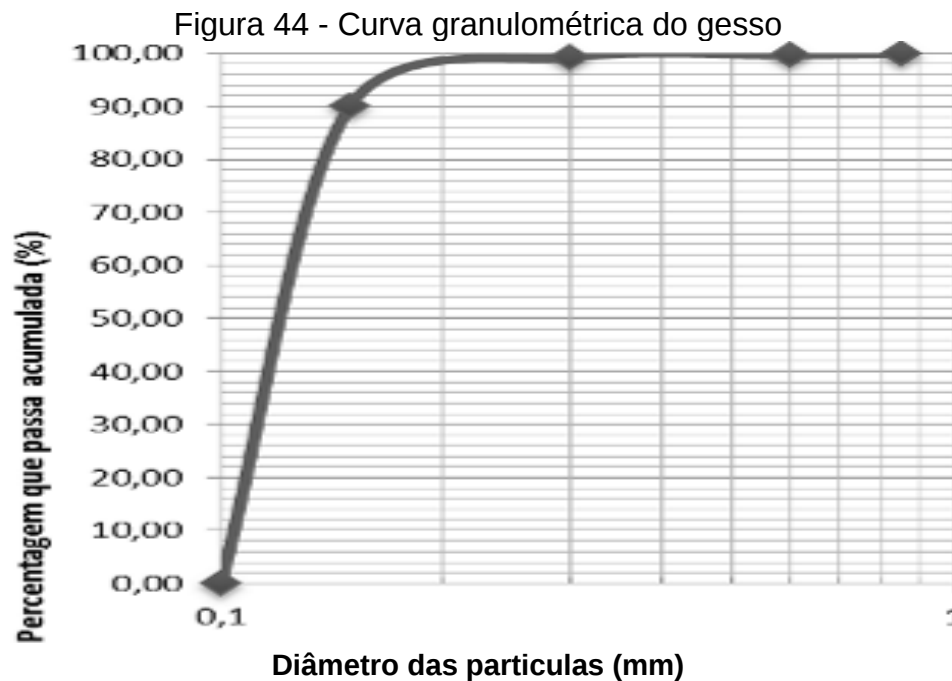
4 RESULTADOS

De acordo com os ensaios realizados, têm-se a apresentação dos resultados obtidos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

4.1.1 Gesso

O gesso apresentou massa unitária de 0,701 g/cm³. A curva de distribuição granulométrica conforme Figura 44.



A partir dos dados obtidos, apresentados na Tabela 7, verificou-se que a amostra está dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 13207 (ABNT, 1994).

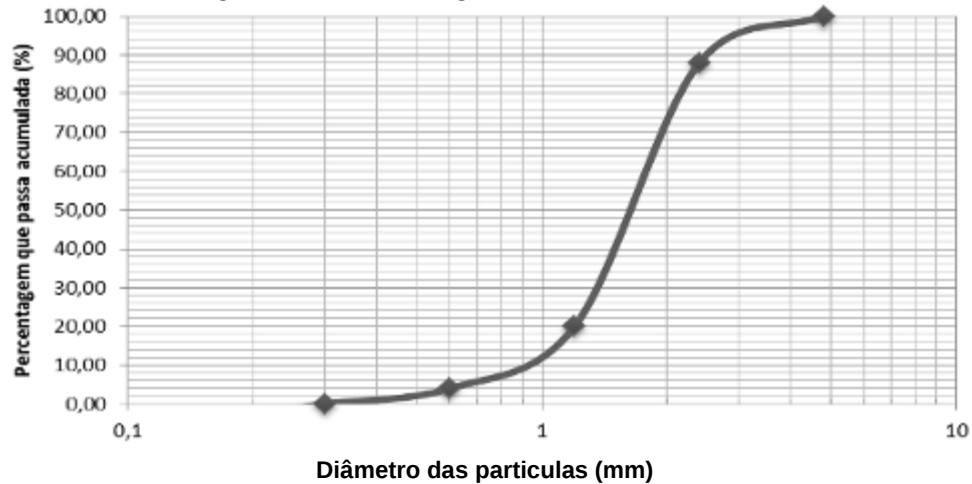
Tabela 7 - Características químicas obtidas por fluorescência

Determinações químicas	Valores obtidos	Limite da NBR 13207/1994
Água livre	1,18	Máx. 1,3
Água de cristalização	5,64	4,2 a 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	40,98	Mín. 38
Anidrido sulfúrico (SO ₃)	56,79	Mín. 53

4.1.2 EVA

O resíduo de EVA apresentou massa unitária de $0,150 \text{ g/cm}^3$. Na Figura 45 tem-se a curva de distribuição granulométrica. Conforme resultado do ensaio de granulometria, o diâmetro máximo característico é de 4,5mm.

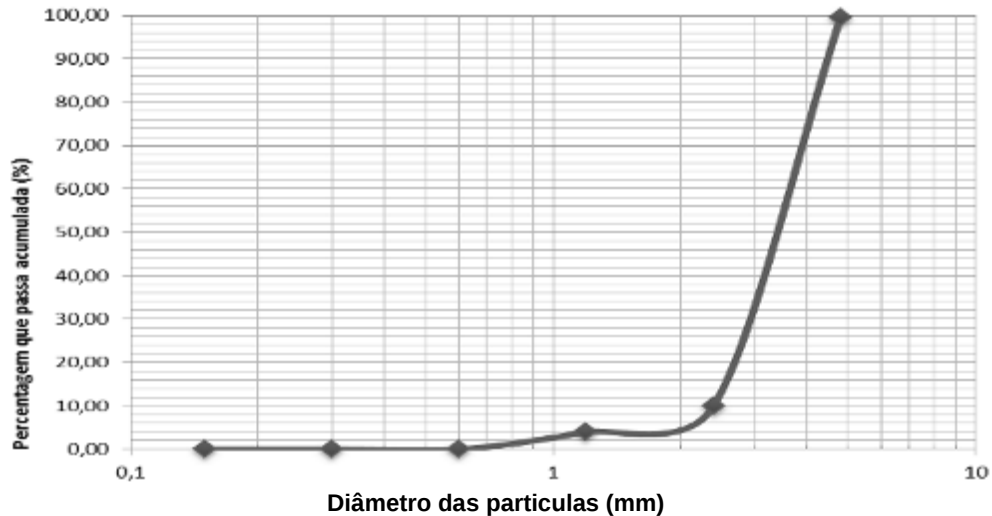
Figura 45 – Curva granulométrica do EVA



4.1.3 EPS

A massa unitária do agregado foi de $0,015 \text{ g/cm}^3$ e granulometria apresentada na Figura 46. Conforme resultado do ensaio de granulometria, o diâmetro máximo característico é de 4,5mm.

Figura 46 – Curva granulométrica do EPS



4.2 PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS NO ESTADO FRESCO (PASTA)

4.2.1 Tempo de pega

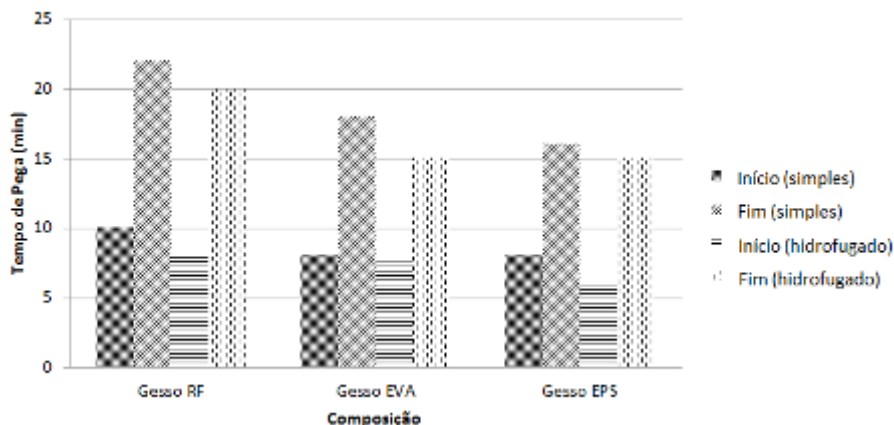
O ensaio demonstrou que a penetração da sonda do aparelho de Vicat, para obtenção dos tempos de início e de fim de pega, diminuiu com a inserção dos resíduos, de EVA e de EPS, conforme Figura 47.

Corroborando com a afirmação de Antunes e John (2000) que o tempo de início de pega diminuiu com o incremento no percentual de adição de resíduos em compósito de gesso.

O tempo final de pega, quando a agulha do aparelho não penetra na pasta, o que limita a utilização do gesso para a fabricação de peças pré-moldados, para o Gesso RF foi de 22 minutos, para a mesma composição sendo acrescentado o aditivo hidrofugante ocorreu uma diminuição no tempo de pega para 20 minutos.

De acordo com os resultados obtidos do ensaio de tempo de pega, verifica-se que todas as amostras apresentaram uma redução do tempo de pega com inserção de aditivo hidrofugante.

Figura 47 - Tempo de início e fim de pega



4.2.2 Consistência

As consistências das amostras estudadas estão apresentadas na Tabela 8, de acordo com o diâmetro de espalhamento.

Tabela 8 - Ensaio de consistência das amostras simples e hidrofugado

Corpos de prova		Diâmetro (cm)
Simples	Gesso RF	14,3
	Gesso EVA	11,8
	Gesso EPS	10,7
Hidrofugado	Gesso RF	13,5
	Gesso EVA	12,2
	Gesso EPS	10,4

Desta forma, foi possível verificar a plasticidade das amostras. Verificou-se que as amostras sem inserção de aditivo hidrofugante apresentaram melhor plasticidade. Assim como, a amostra sem resíduos apresentou resultado melhor quando comparado às amostras com resíduos de EVA e de EPS.

4.3 PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS NO ESTADO ENDURECIDO

4.3.1 Corpos de prova

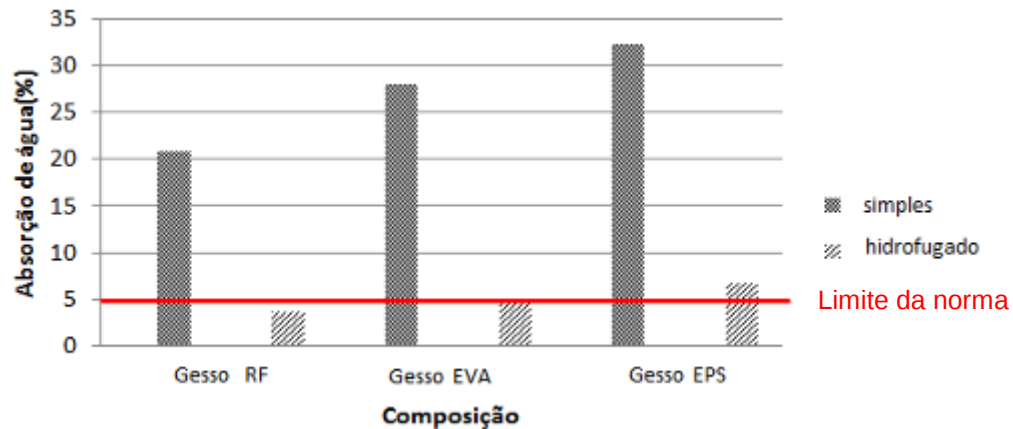
4.3.1.1 Absorção de água

Na Figura 48 tem-se que a absorção de água, tanto a matriz de gesso referência quanto a dos compósitos com EVA e com EPS, sem uso de aditivo hidrofugante, foi em média de 25% maior a do corpo de prova simples. Devido à porosidade, as matrizes com resíduos apresentaram maior percentual de absorção de água.

Divergindo da análise feita por Eires et al. (2007), que observaram redução no percentual de absorção de água por imersão a partir da inserção de resíduos de cortiça, pneu e celulose, nas pastas de gesso.

Em relação às amostras com uso de aditivo, o percentual de absorção reduz drasticamente para uma média de 5%, limite máximo estabelecido pela SINAT nº008 (BRASIL, 2012b). Entretanto, a amostra de gesso com resíduos de EPS ficou com percentual de 7% de absorção de água.

Figura 48 - Ensaio de absorção de água para corpos de prova simples e hidrofugado

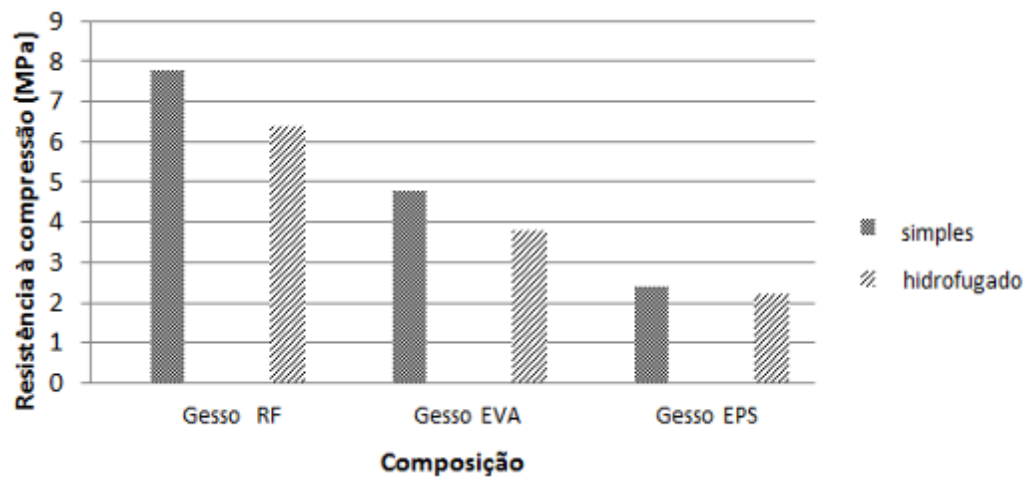


4.3.1.2 Resistência à compressão

O adensamento das partículas de EPS e EVA durante o processo de moldagem dos CP pode acarretar uma variação na resistência à compressão do gesso.

Na Figura 49 observa-se que o aumento da proporção de resíduos e da relação a/g acarreta em diminuição da resistência. A redução se deve ao aumento de porosidade.

Figura 49 - Resistência à compressão de CP simples e hidrofugado



4.3.1.3 Perda de massa por erosão

A Tabela 9 apresenta os resultados da perda de massa por erosão das amostras de matriz de gesso simples e hidrofugado, com e sem adições de resíduos poliméricos de EVA e de EPS.

Tabela 9 - Perda de massa e profundidade de desgaste das placas

	Placas	Perda de Massa (%)	Profundidade (mm)
Simples	Gesso RF	3,8	2
	Gesso EVA	8,3	5
	Gesso EPS	9,4	8
Hidrofugado	Gesso RF	2,7	1
	Gesso EVA	4,8	3
	Gesso EPS	6,2	4

De acordo com os resultados obtidos, as profundidades de desgastes foram satisfatórias, visto que todas as amostras ficaram abaixo do limite máximo de 15 mm, estabelecido pelo Boletim 5.

Heathcote (2002) considera que a perda de massa máxima para o ensaio deve ser de 10%, caso contrário haverá danos à estrutura do material. Nesse sentido, a perda de massa máxima obtida foi de 9,4% para o gesso simples com resíduos de EPS.

4.3.1.4 Condutividade térmica

Os valores para a condutividade térmica do gesso referência e dos compósitos com EVA e com EPS estão representados na Tabela 10.

Tabela 10- Condutividade Térmica das amostras de gesso hidrofugado em estudo e de referências da literatura

Corpos de prova	Literatura	Condutividade térmica (W/m.°C)
Gesso-Referência (Hidro)	Autora	0,33
Gesso-EVA (Hidro)	Autora	0,26
Gesso-EPS (Hidro)	Autora	0,20
Gesso-Vermiculita	Oliveira, 2009	0,30
Gesso-EVA	Oliveira, 2009	0,27
Gesso-EPS	Santos, 2008	0,26
Gesso-Areia	Incropera <i>et. al.</i> , 2008	0,22
Gesso-Vermiculita	Incropera <i>et. al.</i> , 2008	0,25
Gesso-Cortiça	Hernández-Olivares <i>et al.</i> , 1999	0,20
Gesso	Noronha, 2014	0,33
Gesso-polpa de bananeira	Noronha, 2014	0,25
Gesso-fibra bananeira	Noronha, 2014	0,45

De acordo com os dados obtidos nas amostras desse estudo, pode-se dizer que a inserção de EVA na matriz pode ter provocado a maior condutividade térmica do que o de EPS, devido à densidade dos mesmos.

Segundo Peres *et al.* (2008), o gesso apresenta baixo coeficiente de condutividade térmica, para elementos pré-moldados de gesso com densidade na ordem de 900 kg/m³ a 1000 kg/m³ e condutividade de 0,35 w/m°C, sendo considerado um ótimo isolante térmico quando comparado com outros materiais de construção. A partir dessa afirmação e da análise dos resultados apresentados na literatura, verifica-se a potencialidade das amostras em estudo no que concerne ao desempenho térmico.

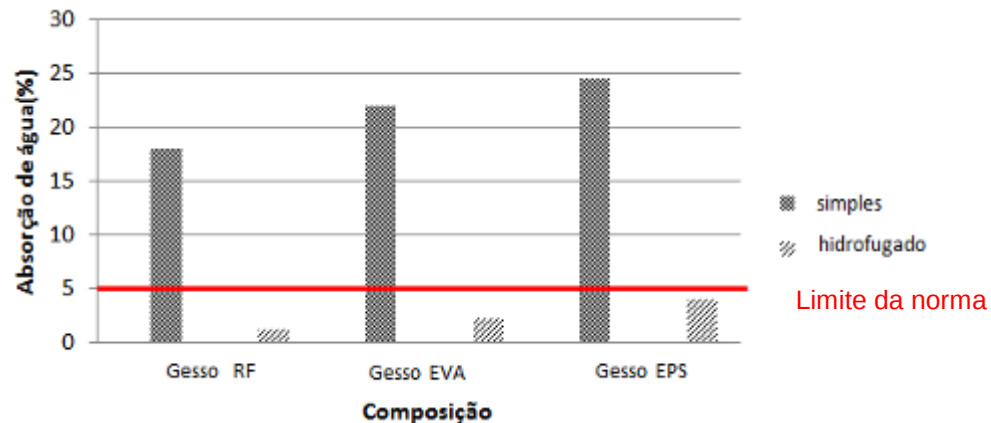
4.3.2 Bloco

Optou-se pela fabricação apenas de blocos de gesso hidrofugado, visto que, a partir das análises realizadas nos corpos de prova, o gesso simples apresenta melhores resultados do que o gesso hidrofugado. Desta forma, se as análises dos blocos hidrofugados fossem satisfatórias, consequentemente, as dos simples também o seriam.

4.3.2.1 Absorção de água

A partir da execução do ensaio de absorção dos blocos hidrofugados, verifica-se que houve uma redução no percentual de absorção de água por imersão, quando comparando com os ensaios dos corpos de prova. Pode-se verificar que o corpo de prova de Gesso-EPS que tinha sido superior ao limite máximo de 5%, para o bloco de Gesso-EPS ficou com percentual de absorção de água igual a 4%, portanto se enquadrando na diretriz SINAT N°008 (BRASIL, 2012b), conforme Figura 50.

Figura 50 - Ensaio de absorção de água para blocos simples e hidrofugado



4.3.2.2 Resistência à compressão

A Tabela 11 apresenta os valores de resistência à compressão obtidos pelos blocos propostos, de acordo com as composições em estudo.

Tabela 11 - Resistência à compressão dos blocos de GESSOPET

Bloco	Material	Resistência à compressão (MPa)
GESSOPET - TIPO A Posição Vertical (40 x 40 x 14)cm	RF	3,5
	EVA	2,3
	EPS	1,9
GESSOPET - TIPO B Posição Vertical (20 x 40 x 14)cm	RF	3,4
	EVA	2,4
	EPS	1,5
GESSOPET - TIPO C Posição Horizontal (40 x 40 x 14)cm	RF	3,0
	EVA	2,2
	EPS	1,4

Comparando os resultados para resistência à compressão dos blocos com os dos corpos de prova, verifica-se a diferença significativa entre os valores obtidos. Entretanto, observa-se uma proporcionalidade na variação dos resultados, onde os blocos de GESSOPET RF apresentam melhores resultados de referência se comparados com blocos com adições de resíduos de EVA e de EPS. Em relação aos blocos com adições de resíduos, os com EVA tiveram desempenho melhor do que o de EPS.

Como esperado, nos blocos do TIPO C, com garrafa PET na posição horizontal, constatarem-se os resultados mais baixo do que os dos blocos do TPO A e TIPO B, onde as garrafas PET ficam na posição vertical.

Quando comparada com as exigências mínimas pelas normas NBR 15270 (ABNT, 2005) para blocos cerâmicos, NBR 6136 (ABNT, 2014) para blocos de concreto e Diretriz SINAT N°008 (BRASIL, 2012b), para vedações verticais internas em alvenaria não-estrutural de blocos de gesso, verifica-se que para todas as tipologias, os blocos RF apresentam resultados satisfatórios. Entretanto, para as amostras com a inserção de resíduos de EVA e de EPS, as amostras só apresentam comportamento adequado se comparadas com o desempenho exigido para blocos de vedação cerâmicos, conforme Tabela 12.

Tabela 12 – Valores admissíveis para resistência à compressão de blocos			
APLICAÇÃO	MATERIAL	NORMA	RESISTÊNCIA MÍNIMA À COMPRESSÃO (MPa)
Estrutural	Concreto	NBR 6136/ 2014	4,0
	Cerâmica	NBR 15270/ 2005	3,0
Vedação	Concreto	NBR 6136/ 2014	3,0
	Cerâmica	NBR 15270/ 2005	1,5
	Gesso	SINAT 008/2012	3,0

4.3.3 Parede

4.3.3.1 Resistência à compressão

As Figura 51 e Figura 52 mostram as curvas de carga x deslocamento e tensão x deformação obtidas através da leitura de dois extensômetros, os dados apresentados correspondem até o momento da primeira fissura, em seguida, os extensômetros foram retirados, para garantir não danificar os mesmos.

Figura 51 - Curva de carga x deslocamento

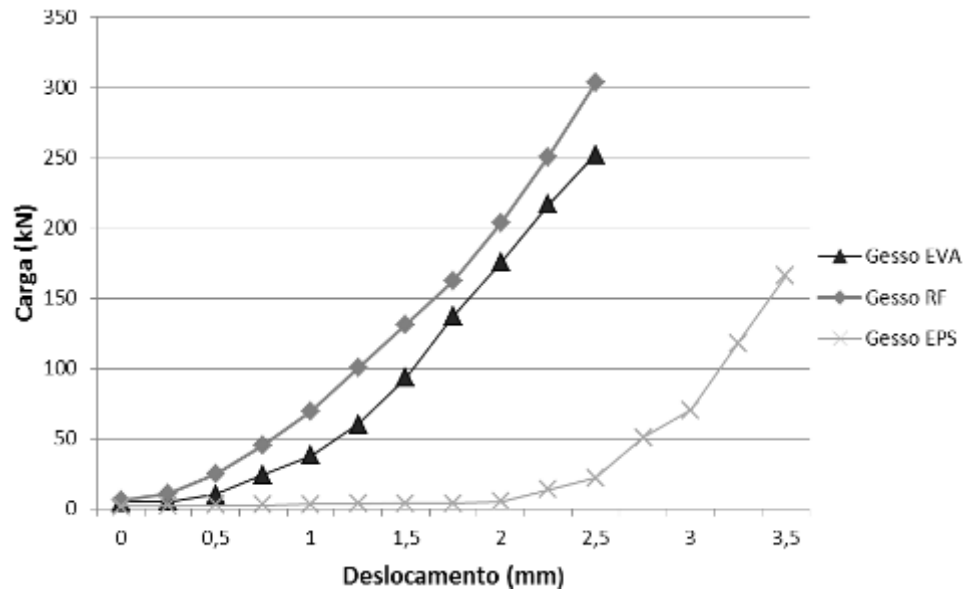
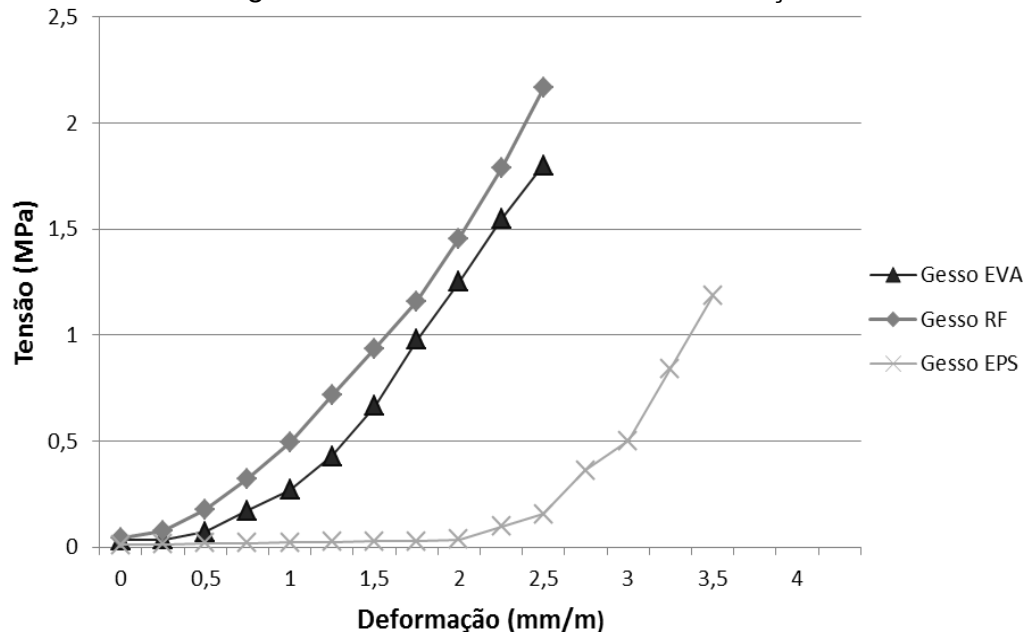


Figura 52 - Curva de tensão x deformação



A partir dos gráficos, é possível entender o comportamento dos materiais durante o ensaio, o Gesso RF suportou a maior tensão de 2,20 MPa; em seguida, o Gesso EVA com 1,75 MPa e; o Gesso EPS, como já esperado devido aos ensaios dos corpos de prova e dos blocos, ficou com 1,30 MPa.

Comparando os resultados das paredes com os materiais propostos com a análise de VIEGAS (2012) para parede com blocos de concreto com PET no interior e parede com altura de 1,20 m e largura de 1,00 m, feitas com tijolos cerâmicos convencionais correspondente ao traço 1:7:0,9 (cimento, areia e água), que obteve resistência à compressão para os primeiros sinais de esmagamento da alvenaria com tensão máxima de 1,0 MPa. Entretanto, as paredes propostas tiveram resultados abaixo do sugerido pela Diretriz SINAT N°008 (BRASIL, 2012b) para blocos que seria de 3,0 MPa.

Contudo, observam-se que as deformações dos blocos de GRF e de GEVA foram de 2,4 mm e de GEPS de 3,5 mm, sendo esta em torno 30% maior que as outras amostras, demonstrando uma maior elasticidade do material.

Na Figura 53, observa-se que a fissuração iniciou no centro da parte superior da alvenaria, através da junta de assentamento, se propagando até a parte inferior da parede. A ruptura por esmagamento na alvenaria em GESSOPET, de todas as amostras, deu-se início na parte inferior, onde a partir das fissuras ocorreu o esmagamento e logo após a ruptura total da alvenaria (Figura 59).

Figura 53 - Fissuração da parede



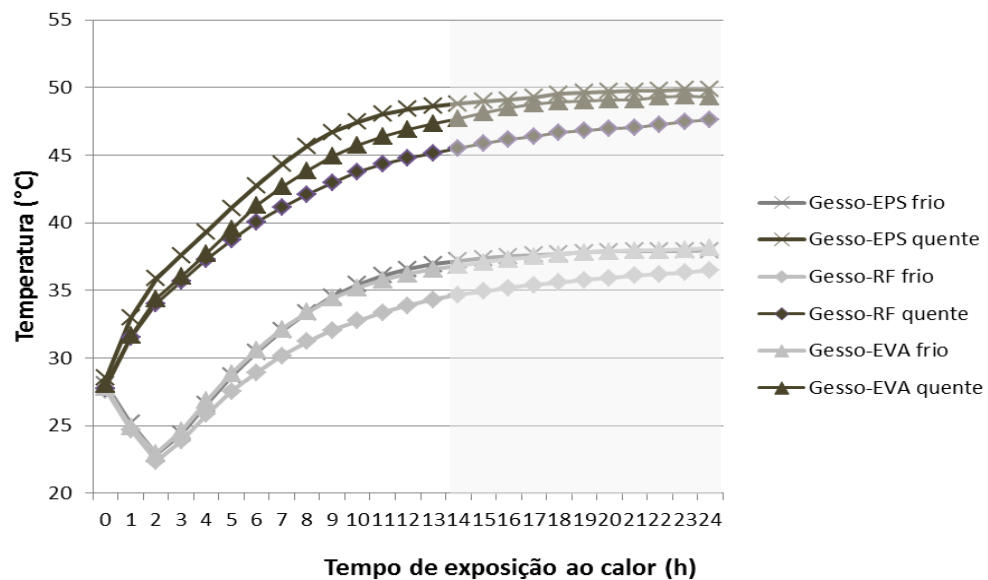
Figura 54 - Ruptura da parede



4.3.3.2 Condutividade térmica

Na Figura 60 observa-se uma comparação do ensaio realizado em câmara térmica de laboratório com as três amostras em estudo, submetidas às mesmas condições de ensaio e temperatura externa semelhante.

Figura 55 - Variação de temperatura média durante o ensaio de condutividade para as amostras de Gesso RF, de Gesso EVA e de Gesso EPS



Na face exposta ao calor durante as primeiras horas de ensaio, a amostra de Gesso-EPS teve maior incremento de temperatura em relação às amostras de Gesso-EVA e Gesso-RF, indicando mais rápida elevação de temperatura da parede. A amostra que obteve menor incremento de temperatura ao longo das 24 horas de ensaio foi o Gesso-RF.

Na superfície oposta ao calor, as amostras tiveram comportamentos semelhantes nas primeiras horas. Entretanto, a amostra de Gesso-RF conseguiu manter sua temperatura mais baixa, na maior parte do ensaio.

Depois das 14 horas iniciais de ensaio, as amostras tenderam a um patamar de estabilização da temperatura, podendo-se verificar o fluxo de calor entre as paredes. O calor ou fluxo de calor é definido como a taxa de energia térmica transferida por unidade de tempo a uma diferença de temperatura, acarretando em uma transferência de energia térmica, no sentido decrescente de temperatura.

A Tabela 13 apresenta os valores da variação de temperatura entre as amostras ensaiadas e resultados da literatura. Frisando que as amostras em estudo obtiveram comportamento satisfatório.

Tabela 13- Comparação da diferença de temperatura externa e interna das paredes de GESSOPET hidrofugado das amostras em estudo e de referências da literatura

Corpos de prova	Literatura	ΔT (°C)
GESSOPET-RF (Hidro)	Autora	11,8
GESSOPET-EVA (Hidro)	Autora	12,2
GESSOPET-EPS (Hidro)	Autora	13,3
Gesso, PET, areia, cimento e EPS triturado	Santos, 2008	7,0
Gesso, EPS, borracha triturada, cimento e areia.	Silva, 2010	11,7
Gesso, EPS, borracha triturada e areia	Gomes, 2010	11,4
Gesso, EPS triturado, pneu triturado, cimento, barro e areia	Leite, 2011	12,6
Gesso, EPS e pneu triturado e cimento	Lima, 2012	12,4
Gesso, cimento, placas de granito e mármore, areia, EPS triturado	Santos, 2015	8,0
Cimento, areia e EVA	Gomes, 2015	15,7

Com base na norma NBR 15220-2 (ABNT, 2008), foi possível calcular o desempenho térmico das amostras. Salientando que as amostras não necessitam de reboco, ficando com espessura final de 15 cm, considerando camada de acabamento e pintura apenas.

Para a realização dos cálculos foi necessário ter conhecimento dos valores de algumas propriedades termofísicas dos materiais que constituíram as paredes, como a condutividade térmica, o calor específico e a densidade. O calor específico do gesso, com ou sem a adição de agregado, é de 0,84 kJ/(kg.K), fornecido pela Tabela B.3 da NBR 15220-2.

Tabela 14 - Valores de resistência térmica, capacidade térmica, transmitância térmica, atraso e fator de calor solar para Gesso-RF, Gesso-EVA e Gesso-EPS.

Vedações Externas		Resistência térmica R_t (m ² .K)/W	Transmitância térmica U W/m ² .k	Capacidade Térmica CT KJ/m ² .K	Atraso Térmico φ Horas	Fator Solar - F_{s_0} %
Paredes	Gesso-RF	0,51	1,95	66	2,82	1,26
	Gesso-EVA	0,56	1,78	48	2,63	1,42
	Gesso-EPS	0,64	1,57	36	2,48	1,26

Na Tabela 15 encontram-se as diretrizes construtivas relativas à transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar para paredes externas.

Tabela 15 - Transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar admissíveis para cada tipo de vedação externa

Vedações Externas		Transmitância térmica U W/m ² .k		Capacidade Térmica CT KJ/m ² .K	Atraso Térmico φ Horas	Fator Solar F_{s_0} %
		NBR 15220	NBR 15575			
Paredes	Leve	$U \leq 3,00$	$U \leq 2,50$	-	$\varphi \leq 4,3$	$F_{s_0} \leq 5,0$
	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$U \leq 3,70$	-	$\varphi \leq 4,3$	$F_{s_0} \leq 4,0$
	Pesada	$U \leq 2,20$	$U \leq 2,50$	-	$\varphi \leq 6,5$	$F_{s_0} \leq 3,5$

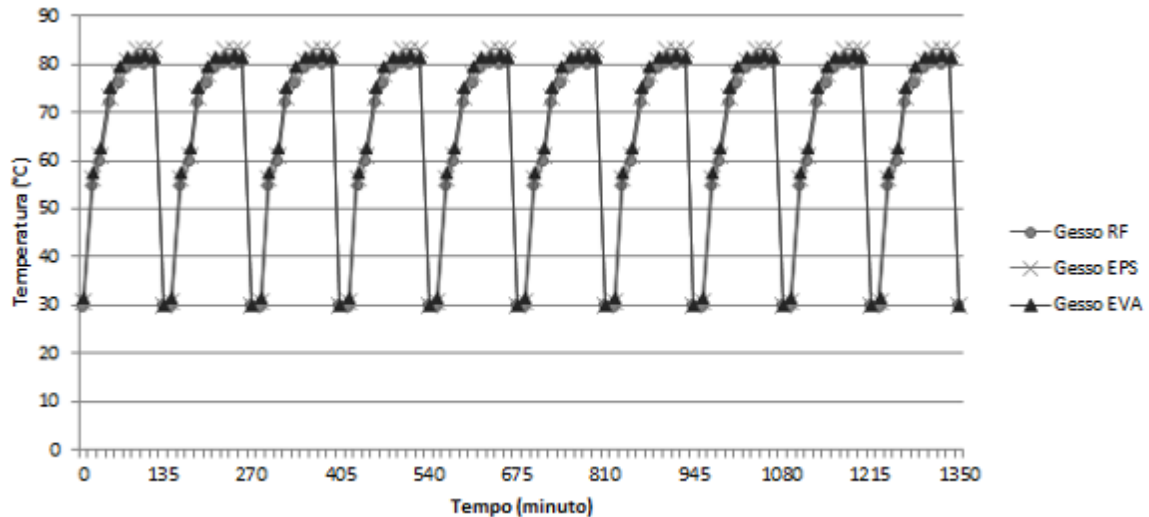
*Para zona bioclimática 8, a capacidade térmica é sem requisitos.

Para a cidade de João Pessoa, que faz parte da zona bioclimática 8, recomenda-se nas vedações externas, o uso de paredes leves refletoras. Desta forma, as amostras em estudo satisfazem aos parâmetros analisados, justificando seu potencial em relação ao desempenho térmico.

4.3.3.3 Choque térmico

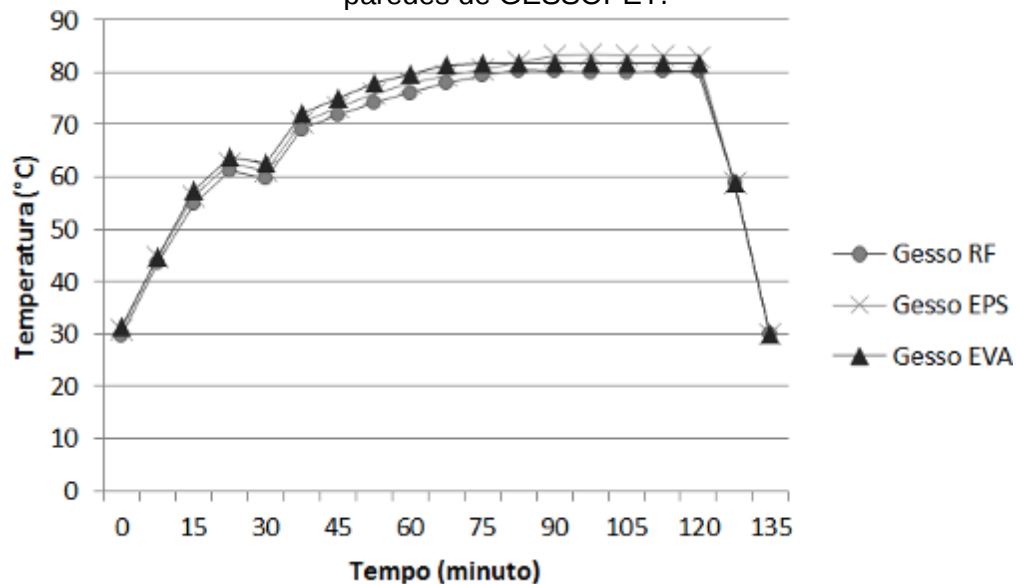
Os resultados obtidos com o ensaio de choque térmico estão representados graficamente na Figura 56, onde observa-se o controle de temperatura no interior do equipamento durante os 10 ciclos em que as amostras foram submetidas.

Figura 56 - Temperaturas obtidas nos 10 ciclos de aquecimento e molhagem nas mini paredes



Na Figura 57 consta-se que as amostras de GESSOPET possuem comportamento semelhante com a variação de temperatura ao longo do tempo. Apresentando período de estabilização da temperatura a partir dos 60 minutos. Permanecendo neste patamar por mais 60 minutos. O período onde ocorre o choque térmico nas mini paredes, ou seja, o momento em que o sistema de radiação é desligado automaticamente e em seguida a amostra é resfriada (molhada) até atingir temperatura abaixo dos 30°C acontece em um período de 15 minutos.

Figura 57 – Temperaturas obtidas para o primeiro ciclo de aquecimento e resfriamento das mini paredes de GESSOPET.



Na Tabela 16 observa-se a comparação da diferença de temperatura, entre a face exposta e a face oposta, dos blocos de GESSOPET submetidos ao ensaio de choque térmico e ao ensaio de condutividade, verificando uma variação de temperatura para as amostras em estudo. Entretanto, constata-se que a variação é proporcional, podendo ter sido causada pela especificidade de cada ensaio.

Tabela 16- Comparação da diferença de temperatura das paredes de GESSOPET através do ensaio de choque térmico e do ensaio de condutividade

Corpos de prova	Diferença de Temperatura Choque térmico (°C)
GessoPET-RF (Hidro)	18,1
GessoPET-EVA (Hidro)	19,3
GessoPET-EPS (Hidro)	20,3

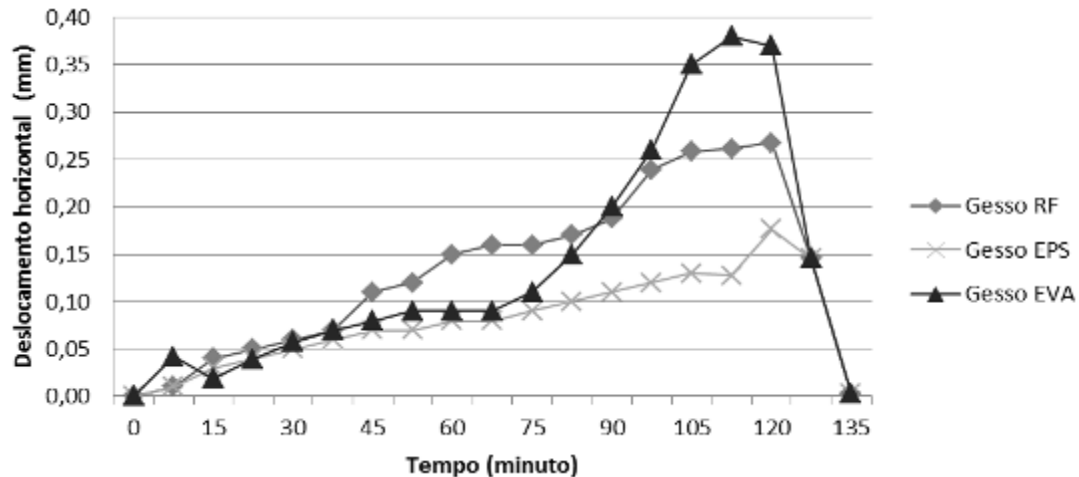
4.3.3.4 Deslocamento horizontal máximo

De acordo com NBR 15575 – 4 (ABNT, 2013), o deslocamento horizontal máximo permitido deve ser calculado a partir do valor da altura da parede dividida por 300. Como a amostra em estudo possui 40 cm, o maior deslocamento permitido será de

1,3 mm, todas as amostras apresentaram resultados satisfatórios, a mini parede de GESSOPET com resíduos de EVA obteve o maior deslocamento de 0,38 mm.

A Figura 58 apresenta o gráfico do deslocamento horizontal da face oposta variando com a tempo.

Figura 58 - Deslocamento horizontal da face oposta



As mini paredes foram observadas através de inspeção visual antes e ao final dos 10 ciclos, apresentando resultados satisfatórios, visto que não ocorreram fissuras e trincas, nem mesmo qualquer outra deterioração em ambas as faces das mini paredes. Considerando que os dados obtidos indicam bom desempenho das mini paredes das amostras em estudo.

4.4 RESUMOS DOS RESULTADOS

Na Tabela 17 tem-se um resumo de todos os ensaios realizados com seus respectivos resultados para as três misturas analisadas.

Tabela 17 - Resumo dos resultados

Ensaio	GRF	GEVA	GEPS
Pasta			
Tempo de Pega Inicial (min)	8	7,5	6
Tempo de pega final (min)	20	15	15
Consistência (cm)	13,5	12,2	10,4
Corpo de Prova			
Absorção de água (%)	4	5	7
Resistência à compressão (MPa)	6,3	3,9	2,1

Perda de massa por erosão (%)	2,7	4,8	6,2
Profundidade de perda de massa (mm)	1	3	4
Condutividade térmica (W/(m.K))	0,33	0,26	0,20
Bloco			
Absorção de água (%)	2,2	2,9	4,2
Resistência à compressão (MPa) – TIPO A	3,5	2,3	1,9
Resistência à compressão (MPa) – TIPO B	3,4	2,4	1,5
Resistência à compressão (MPa) – TIPO C	3,0	2,2	1,4
Parede			
Resistência à compressão (Mpa)	2,2	1,8	1,3
Condutividade Térmica – ΔT (°C)	11,8	12,2	13,3
Condutividade Térmica – Transmitância térmica (W/m ² .k)	1,95	1,78	1,57
Condutividade Térmica – Capacidade Térmica (KJ/m ² .K)	66	48	36
Condutividade Térmica – Atraso Térmico (h)	2,82	2,63	2,48
Condutividade Térmica – Fator solar (%)	1,26	1,42	1,26
Choque térmico – ΔT (°C)	18,1	19,3	20,3
Choque térmico – Deslocamento horizontal (mm)	0,26	0,38	0,18

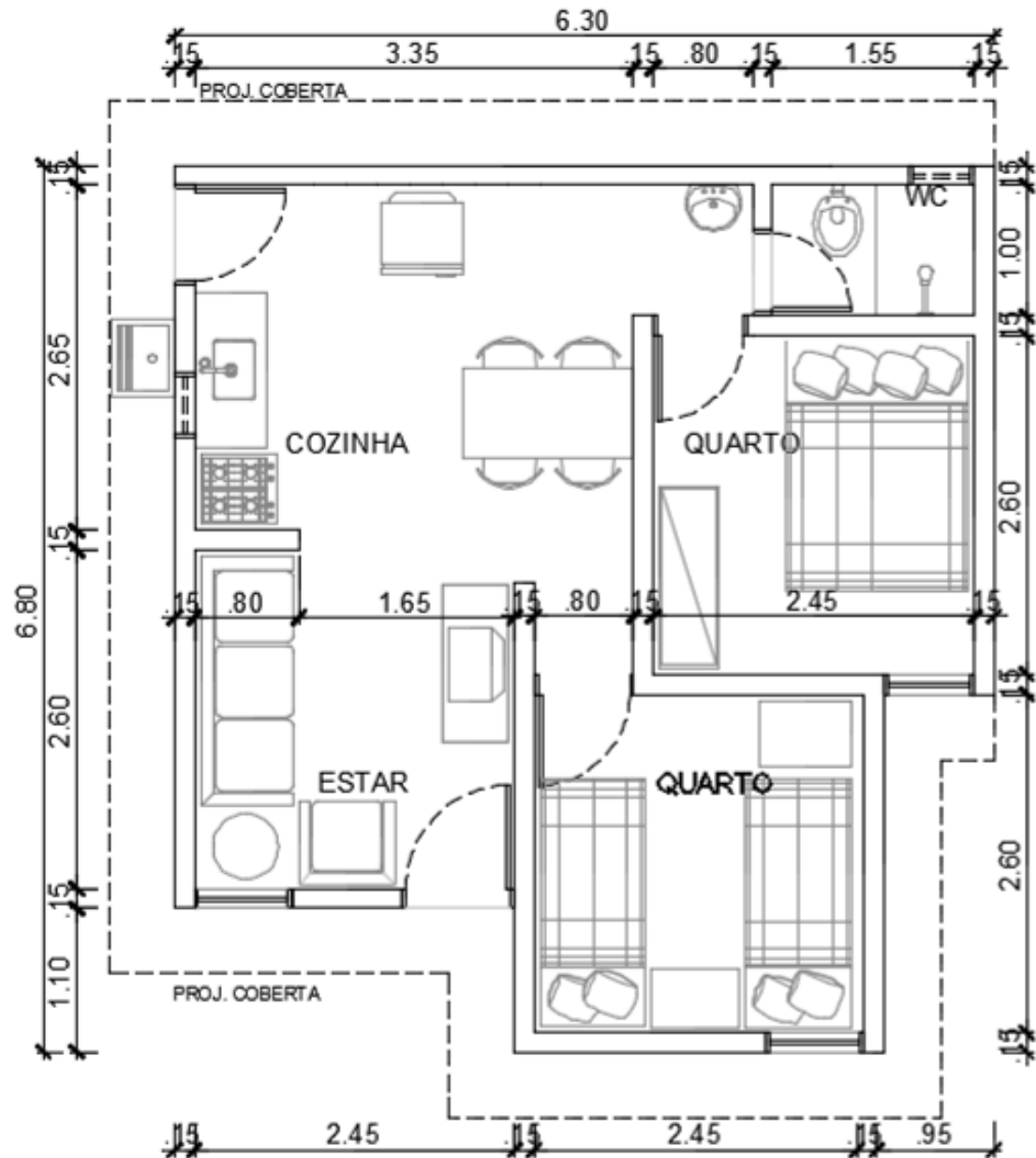
4.5 PROJETO DE MODULAÇÃO

Como mencionado anteriormente, este trabalho visa também, sob a ótica da coordenação modular, propor uma adaptação do modelo padrão para projetos de habitação popular, produzidos pela prefeitura municipal de João Pessoa, Paraíba.

A Figura 59 e a Figura 60 mostram, respectivamente, o projeto original desenvolvido pela PMJP e a proposta de modulação com utilização do bloco GESSOPET. Para tal, utilizou-se a modulação de 2M (20 cm), adaptação da NBR 15873 (ABNT, 2010b) que utiliza módulos M igual a 10 cm.

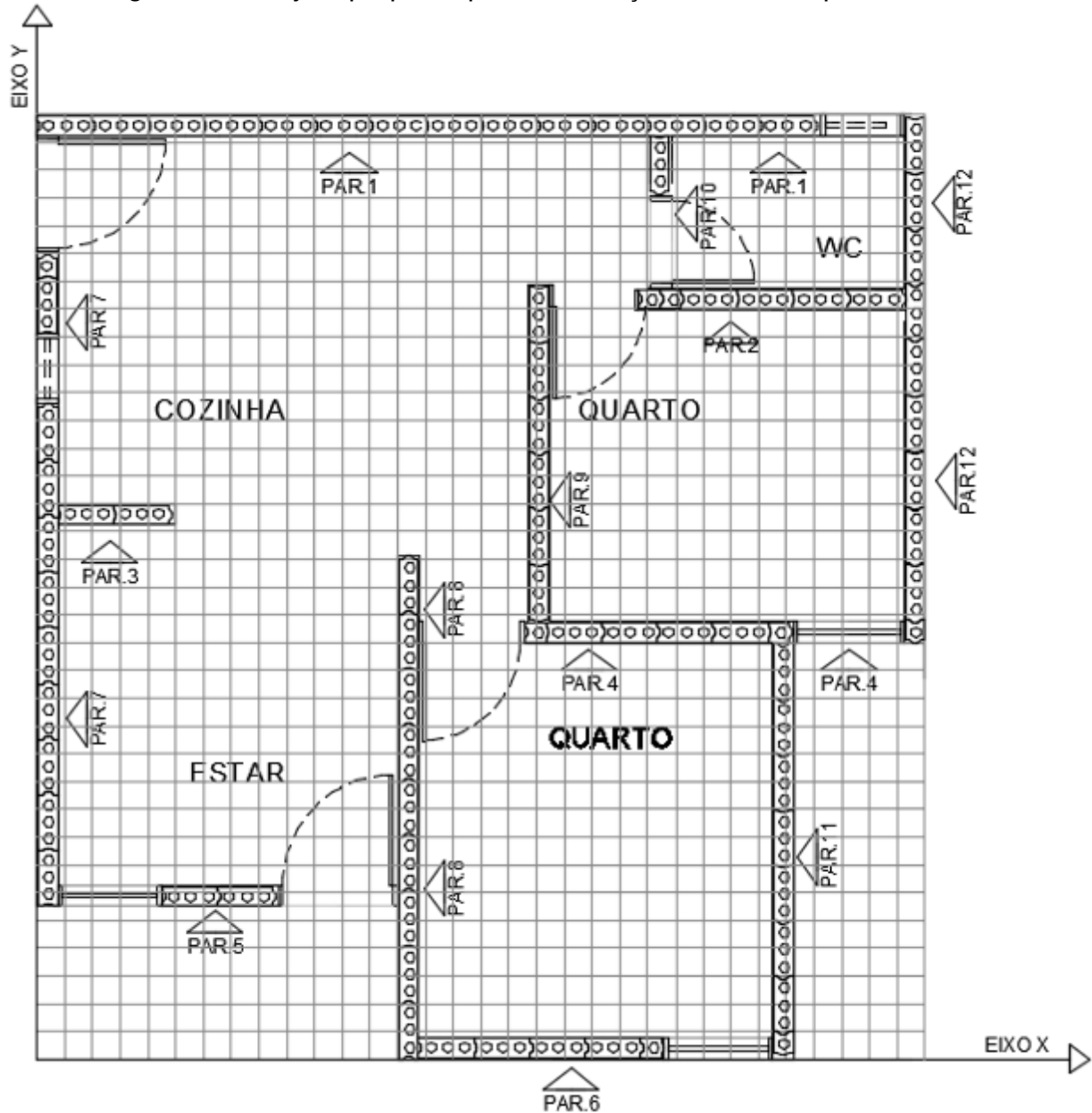
Rodrigues (2008) cita que se inicia o processo de coordenação modular a partir da determinação dos eixos de referência X e Y e padronização dos vãos, compatibilizando o projeto em uma malha de 10 x 10cm, possibilitando coordenar a posição e as dimensões dos componentes de construção. Assim, devido aos tamanhos do bloco de GESSOPET, utilizou-se malha quadriculada para possibilitar a adaptação das medidas.

Figura 59 - Projeto habitação popular da prefeitura municipal de João Pessoa.



Fonte: PMJP, 2012.

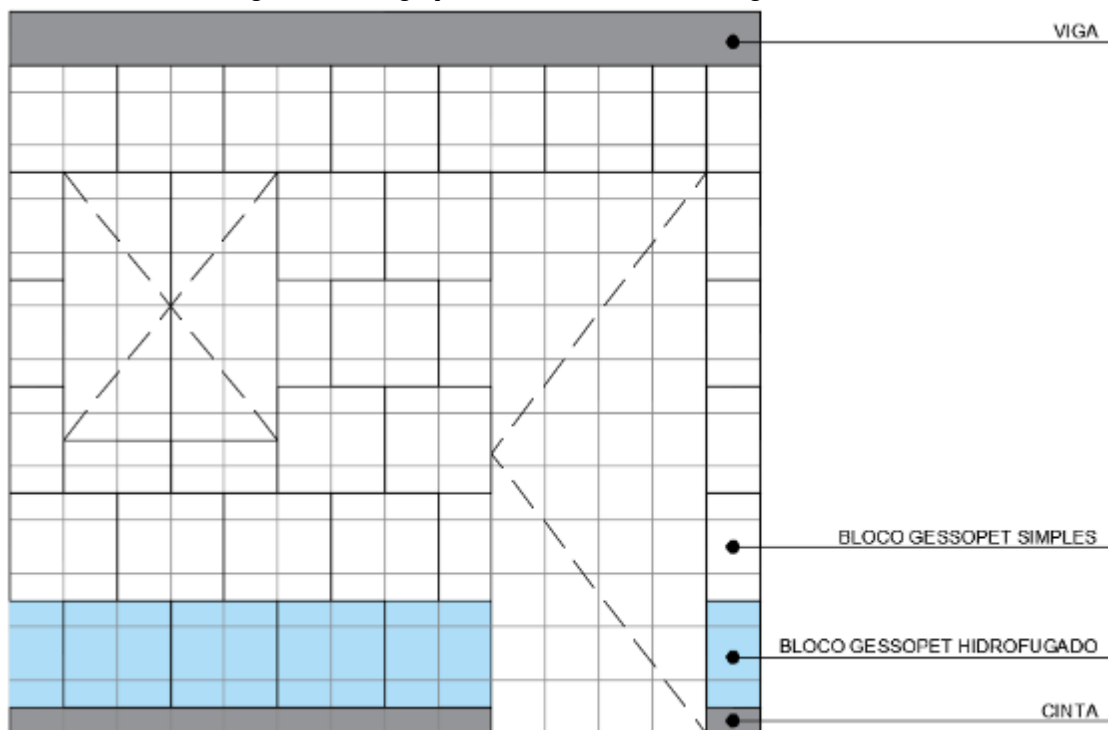
Figura 60 - Projeto proposto para modulação em malha quadriculada.



Os blocos de GESSOPET possuem encaixe vertical em sistema macho/fêmea, assegurando adequado alinhamento entre os mesmos. As vedações são executadas de forma a promover o desencontro das juntas verticais, proporcionando assim a amarração e o desempenho estrutural esperado, utilizando na primeira fiada bloco de GESSOPET hidrofugado (Figura 61).

A união dos blocos é através da aplicação de gesso cola, realizada nas 4 laterais dos blocos, compondo juntas verticais e horizontais. A espessura de gesso cola entre os blocos deve ser aproximadamente 2 mm.

Figura 61 - Ligações entre os blocos de gesso



A ligação entre os blocos de gesso é realizada por gesso cola, responsável pela união dos blocos com aderência necessária ao desempenho da vedação. São utilizadas colas simples e hidrofugada, de acordo com cada tipo de bloco de gesso. Para ligação de blocos hidrofugados é utilizado gesso cola hidrofugado; para ligação de blocos simples, o gesso cola simples.

Na ligação dos blocos com o piso utiliza-se cinta de concreto de 10 cm de altura e 16 cm de largura, utilizada como rodapé e proteção para base da alvenaria, sobre a cinta deve ser usado gesso cola hidrofugado.

Para áreas molhadas, no encontro das vedações com o piso faz-se uso da aplicação de produto impermeabilizante, subindo na parede até altura de 20 cm, e o acabamento com revestimento em placas cerâmicas, assentadas com argamassa colante tipo ACII no piso e paredes.

Como preconizado na Diretriz SINAT 008 (BRASIL, 2012b), não é obrigatório o uso de verga em vão de portas com largura menor que 90 cm. Se maior, deve-se utilizar vergas pré-moldadas cuja resistência à compressão mínima seja de 25 MPa. A verga deve ter espessura 2 cm menor que a espessura do bloco de gesso, ou seja, com 12 cm de largura, e transpasses laterais iguais ou maiores que 20 cm. A fixação das vergas é realizada com gesso cola, uma mistura de gesso de fundição e gesso cola, utilizando tela de poliéster no revestimento, a fim evitar o aparecimento de fissuras na ligação bloco/verga.

Utilizar esquadrias de portas e janelas em madeira ou PVC, não sendo usadas esquadrias em aço. No assentamento das portas deve-se utilizar poliuretano expansível, aplicado em todo contorno da esquadria, promovendo uma melhor fixação das portas, os blocos que formam o vão devem ser limpos e umedecidos.

As dimensões das portas variam de 60 a 100 cm. Entretanto, a altura é padronizada em 210 cm, para a obtenção dos vãos de passagem, a alvenaria será assentada acima da cinta, de 10 cm, utilizando 5 blocos verticais com altura de 40 cm.

Para as janelas existem uma grande variedade de dimensões de larguras existentes, devendo ser escolhidas de acordo com o vão possibilitado pela modulação e área mínima de ventilação e iluminação adequadas ao desempenho eficiente da edificação. No tocante a altura, as aberturas de janelas possuem medidas padrões de peitoril de 1,10 m e de altura de 2,10 m. Para obter a altura do peitoril, propôs-se o uso de 2 blocos verticais, altura de 40 cm cada, e 1 bloco horizontal, com altura de 20 cm.

Figura 62 - Perspectiva projeto de modulação com blocos de GESSOPET



Destarte, a modulação de projetos corrobora para a redução de custo com a mão-de-obra, o tempo de execução e, conseqüentemente, o custo final da obra.

4.6 ESTIMATIVA DE CUSTO DA ALVENARIA EM BLOCOS DE GESSOPET

Para o cálculo da estimativa de custo da alvenaria em blocos de GESSOPET, utilizou-se o banco de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI)⁵, referentes ao mês de julho de 2016, dados da Paraíba.

Considerando que os resíduos de polímeros de EVA e de EP serão adquiridos em pontos de coleta, não constará na planilha de custo dos blocos de GESSOPET. Entretanto, coloca-se o preço da garrafa PET, devido à dificuldade encontrada na coleta e, para uma produção em grande escala é necessário um número considerável de garrafas. Porém, o custo foi obtido através da média dos valores fornecidos por três cooperativas de reciclagem localizadas na cidade de João Pessoa, chegando ao valor de R\$ 0,20 por garrafa.

A Tabela 18 apresenta um levantamento de custo para produção de alvenaria com bloco de GESSOPET-RF, para realizar uma comparação com os custos de outros materiais de construção, como alvenarias de blocos vazados de cerâmica, de bloco de vazado de concreto e bloco de gesso compacto (Tabela 19).

Tabela 18- Estimativa de custo para alvenaria de blocos de GESSOPET RF.

Material	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Gesso	kg	70	0,31	21,70
Garrafa PET	Und	16	0,20	3,20
Aditivo Hidrofugante	L	0,24	69,00	16,56
Pigmento	L	0,12	20,00	2,40
Gelo cola hidro	kg	4,5	1,30	5,85
Total (R\$/m ²)				49,71

⁵ O sistema nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil (SINAPI) é documento divulgado mensalmente com custos e índices da construção civil, possui gestão compartilhada entre Caixa e IBGE. Sendo, a Caixa responsável pela base técnica de engenharia (especificação de insumos, composições de serviços e projetos referenciais) e pelo processamento de dados, e o IBGE, pela pesquisa mensal de preço, metodologia e formação dos índices.

Tabela 19 - Tabela com o preço de alvenaria de cerâmica, de bloco de vazado de concreto e bloco de gesso compacto.

Código SINAPI	Material	Custo R\$/m ²
89977	Alvenaria de vedação de bloco vazados de cerâmica de 14x19x39cm (espessura 14cm) para edificação habitacional unifamiliar	80,36
89978	Alvenaria de vedação de bloco vazados de concreto de 14x19x39cm (espessura 14cm) para edificação habitacional unifamiliar	49,88
34583	Bloco de gesso compacto, branco, e = 10 cm, 67 x 50 cm	35,23

Com base na comparação de custo do sistema proposto de alvenaria com bloco de GESSOPET, observa-se semelhança de valor com alvenaria de vedação com bloco de concreto. Sendo, mais econômico em torno de 40% à alvenaria de bloco cerâmico e mais caro 30% ao bloco de gesso compacto. Escolheu-se comparar as alvenarias com largura equivalentes, ou seja, de 14 cm, não sendo possível com bloco de gesso, que possui largura máxima de 10 cm.

Todavia, para os blocos de GESSOPET-EVA e GESSOPET-EPS, o custo do bloco ainda será menor, devido à redução do gesso com a inserção dos resíduos poliméricos. Visto que o custo de cada bloco dependerá da proporção escolhida, sendo mais barato a utilização de um compósito com maior quantidade de agregado, o que exigirá uma menor quantidade dos elementos base, no caso o gesso.

5 CONCLUSÕES

Esse último capítulo traz algumas considerações, em nível de conclusão verificando se os objetivos traçados. Além disso, estabelece algumas recomendações para pesquisas futuras.

5.1 ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal verificar desempenho térmico de blocos construtivos para alvenaria de vedação produzida com gesso e resíduos poliméricos de EVA, de EPS e de garrafas PET. A partir de ensaios, foi comprovada a eficácia de todos os blocos propostos de GESSOPET para o conforto térmico. Quando comparados os resultados obtidos em conjunto, verifica-se que os blocos com EPS apresentaram os melhores resultados, em seguida, ficou o bloco com EVA e, por fim, o bloco de referência.

Para as propriedades dos compósitos no estado fresco, verificou-se que o tempo de pega inicial e final e a consistência de gesso com resíduos poliméricos foram inferiores quando comparados com o gesso referência.

Em relação à propriedade de absorção de água, observa-se uma redução significativa com a utilização de aditivos hidrofugantes. Entretanto, os blocos GEPS tiveram absorção superior a 5%, valor máximo estabelecido pela Diretriz SINAT N°008, para a produção de blocos de gesso.

No que diz respeito ao desempenho mecânico, a partir do resultado do ensaio de resistência à compressão, verifica-se que os blocos com inserção de resíduos poliméricos não obtiveram a resistência mínima de 3,0 MPa. O bloco de referência conseguiu resultado acima do mínimo para todas as tipologias.

Todavia, constata-se que a inserção de resíduos reduz o peso dos blocos, consequentemente, por serem mais leves, sobrecarregam menos a estrutura. Além da diminuição do consumo de gesso, uma contribuição ambiental com a preservação e/ou otimização do consumo dos recursos naturais.

O dimensionamento e a geometria dos blocos de GESSOPET propiciaram serem utilizados em processos de racionalização e compatibilização construtiva, sendo

apresentada uma proposta de modulação para adaptação de um projeto de habitação popular.

A produção de bloco de GESSOPET teve baixo custo, sendo competitivo quando comparado sistema de alvenaria de bloco cerâmico, bloco de concreto e de gesso compacto.

Desta forma, a pesquisa corrobora com o desenvolvimento de materiais de construção produzidos com baixo impacto ambiental, com bom desempenho térmico e custo baixo.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o intuito de dar continuidade à pesquisa, alguns pontos devem ser estudados. São eles:

- (i) Reduzir a relação água/gesso, utilizando aditivos retardadores de tempo de pega;
- (ii) Avaliar o comportamento dos compósitos com diferentes percentuais de resíduos;
- (iii) Utilização do pó do EVA, no lugar de material particulado, visando aumentar a resistência à compressão;
- (iv) Avaliar o desempenho acústico dos blocos propostos;
- (v) Verificar outras tipologias para os blocos de GESSOPET, melhorando a modulação;
- (vi) Elaborar blocos sem garrafas PET no interior para possibilitar a produção de blocos com as dimensões preconizadas pela Diretriz SINAT 008;
- (vii) Devido aos blocos serem voltados para aplicação em alvenarias de vedação, faz-se necessário a realização de ensaios de resistência ao fogo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.127**: gesso para construção – determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991a.

_____. **NBR 12.128**: gesso para construção – determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 1991b.

_____. **NBR 12.129**: gesso para construção – determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 1991c.

_____. **NBR 12.130**: gesso para construção civil – determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1991d.

_____. **NBR 13.207**: gesso para construção civil. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005b.

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

_____. **NBR 15220-5**: Desempenho térmico de edificações. Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico. Rio de Janeiro, 2005d.

_____. **NBR 15270-3**: Componentes cerâmicos. Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2005e.

_____. **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR 14.715-2**: Chapas de gesso para drywall. Parte 2: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010a.

_____. **NBR 15873**: Coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010b.

_____. **NBR 15961**: Alvenaria estrutural — Blocos de concreto. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

AGOPYAN, V.; SANTOS, I. S. S. **A influência da relação água-gesso nas propriedades mecânicas do fibrogesso**. Boletim Técnico da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. n. 48. São Paulo, 1991.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil**. 1. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2011.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. **O Conceito de Tempo Útil das Pastas de Gesso**. Boletim Técnico da Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo: 2000.

AZEVEDO, J. B. *et al.* Propriedades físicas e mecânicas de espumas de EVA/EPDM. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**. v.4, p.38-44, 2009.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. **Minería y calcinación en el polo yesero de Pernambuco (Brasil)**. Boletín geológico y minero, 2006.

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para a implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1996.

BEZERRA, A. J. V. **Utilização do resíduo da indústria de calçados (EVA - Etileno Acetato de Vinila) como agregado leve na produção de blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2002.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com eps como agregado graúdo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003.

BITTENCOURT, L. S.; CÂNDIDO, C. M. **Introdução à Ventilação Natural**. 4. ed. Maceió: EDUFAL, 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral**. Brasília, 2014.

_____. Ministério das Cidades. **Déficit Habitacional no Brasil**. Brasília, 2012a.

_____. _____. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. Diretrizes para Avaliação Técnica de Produtos. **Vedações verticais internas em alvenaria não estrutural de blocos de gesso**, SINAT, n. 008. Brasília, 2012b.

BRIGA-SÁ, A. *et al.* Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. **Construction and Building Materials**, n. 38, p.155-160, 2013.

CAMÕES, A. *et al.* Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. **APAET – Mecânica Experimental**, v. 20, p. 79 – 88, 2012.

CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado De São Paulo. **Tecnologia de Edificações**. 1. ed. São Paulo: PINI, 1988, p. 71-74.

CORRÊA, M. R. S. ; RAMALHO, M. A. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

ÇOLAK, A. Physical and mechanical properties of polymer-plaster composites. **Materials Letters**, n. 60, p. 1977–1982, 2006.

EIRES, R.; CAMÕES, A.; JALALI, S.. Eco-friendly construction materials using gypsum and industrial wastes. **Proceedings of Portugal SB07, Sustainable Construction, Materials and Practices, Challenge of the Industry for the New Millennium**, p. 942-949, 2007.

FORMIGONI, A. **Reciclagem de PET no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Paulista, São Paulo, 2006.

GARLET, G. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) como agregado para concreto leve na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Aegre, 1998.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. Concreto leve usando resíduos de EVA da indústria calçadista. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. p. 93-98.

GENCEL, O. *et al.* Properties of gypsum composites containing vermiculite and polypropylene fibers: Numerical and experimental results. **Energy and Buildings**, n. 70, p. 135-144, 2014.

GOMES, I. R. B. **Viabilidade de utilização de um compósito a partir de resíduos para a construção de casas populares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

GOMES, E. G. S. **Desempenho térmico de alvenarias: uma alternativa com o uso de blocos EVA**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

GOURDIN, W. H.; KINGERY, W. D. The beginnings of pyrotechnology: Neolithic and Egyptian Limeplaster. **Journal of Field Archaeology**, n. 2, p. 133-150, 1975.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Porto Alegre: ANTAC, 2007.

GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ, S. *et al.* Compatibility between gypsum and polyamide powder waste to produce lightweight plaster with enhanced thermal properties. **Construction and Building Materials**, n. 34, p. 179-185, 2012.

_____. Rheological behaviour of gypsum plaster pastes with polyamide powder wastes. **Construction and Building Materials**, n. 38, p. 407-412, 2013.

Heathcote, K. A. **An investigation into the erodibility of earth wall units**. Thesis (Doctor of Philosophy), University of Technology Sydney, Sydney, 2002.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F. *et al.* Development of cork–gypsum composites for building applications. **Construction and Building Materials**, v.13, n. 4, p. 179-186, 1999.

INCROPERA, F. P. *et. al.* **Fundamentals of heat and mass transfer**. 7. ed. Jefferson: John Wiley e Sons, 2008.

IZQUIERDO, I. S. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de construção civil. **Materiais de construção civil**, p. 727-760, 2007.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil - contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese (Livre Docente), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

KANNING, R. C. **Blocos LEGOLEVE – Uma alternativa para alvenaria de vedação intertravada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

KANNING, R. C. **Estudo das características mecânicas de paredes executadas com blocos ISOPET.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

KAZMIERCZAK, C. S. *et al.* Use of waste generated by shoe counter scrap pieces in plaster of paris composites. **Waste Materials in Construction**, v.1, p. 848-856, 2000.

KERN, A. P. **Estudo da viabilidade da incorporação de resíduos de contrafortes de calçados em matriz de gesso para uso como material de construção civil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura.** 3.ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LEITE, J. M. C. C. **Compósito para fabricação de blocos para construção de casas: estudos térmico e de materiais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

LIMA FILHO, M. R. F. **Avaliação do desempenho mecânico de protótipo executado com blocos EVA: estudo de impactos horizontais em alvenarias e suas interações com outros elementos da construção.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

LIMA, F. A. S. **Estudo de um compósito de matriz cerâmica com cargas de eps e raspa de pneu para construção de casas populares.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio grande do Norte. Natal, 2012.

LYRA, M. **Blocos intertravados de concreto com resíduos de copolímero de etileno-acetato de vinila – EVA – para pavimentação de calçadas e passeios públicos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

MACEDO NETO, M. C. **Análise de desempenho de um fogão solar com parábola fabricada em material compósito.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

MADARIAGA, F. J. G.; MACIA, J. L. Mezclas de residuos de poliestireno expandido (EPS) conglomerados con yeso o escayola para su uso en la construcción. **Informes de la Construcción**. v. 60, n. 509, p. 35-43, 2008.

MAIA, R. D. A. **Comparativo de painéis vazados com cobogós em concreto EVA e material cerâmico**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2004.

MARTIAS, C.; JOLIFF, Y.; FAVOTTO, C. Effects of the addition of glass fibers, mica and vermiculite on the mechanical properties of a gypsum-based composite at room temperature and during a fire test. **Composites**, Part B, n. 62, p. 37–53, 2014.

MENDONÇA, T. N. M. **Telhado verde extensivo em pré-moldado de concreto EVA (acetato etil vinila)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Editora IBRACON, 2008.

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H. R. Study of the compressive strength of concrete block prisms – stack and running bond. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 4, n. 3, 2011.

MOHANDESI, J. A. *et al.* Analytical modeling of strength in randomly oriented PP and PPTA short fiber reinforced gypsum composites. **Computational Materials Science**. n. 50, v. 5 p. 1619–1624, 2011.

MOURA, L. M. *et al.* Medição de Condutividade Térmica de Materiais de Construção, usando o Método da Placa Quente Protegida.. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA, 12, 1993, Brasília. **Anais...**, Brasília: ABCM, 1993. p. 593-596.

NOGUEIRA, J. C. A. **Melhoria das propriedades do gesso com aditivo sintético e com látex de euphorbia tirucalli e de hevea brasiliensis para uso na construção de habitações de interesse social**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

NORONHA, L. L. **Elementos construtivos e de proteção térmica à base de gesso e resíduos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

OBONYO, E.; EXELBIRT, J.; BASKARAN, M. Durability of Compressed Earth Bricks: Assessing Erosion Resistance Using the Modified Spray Testing. **Sustainability**, p. 3639-3649, 2010.

OLIVEIRA, M. P. **Materiais compósitos à base de gesso contendo EVA (etileno acetato de vinila) e vermiculita: otimização de misturas e propriedades**

termomecânicas. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

PAJCHROWSKI, G. et al. As building material in the light of environmental assessment of full life cycle of four buildings. **Construction and Building Materials**, n. 52, p. 428-436, 2014.

PERES, L. BENCHOUR, M.; SANTOS, W. A. **O gesso: produção e utilização na construção civil.** Recife: Sebrae, 2008.

PIMENTEL, U. H. O. **Utilização de resíduos da indústria de calçados em blocos de vedação com novas geometrias – Blocos EVANG.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação de propriedades para uso em componentes.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

PIRES SOBRINHO, C.W.A. **Desenvolvimento de uma referência técnica para casas térreas em alvenaria de blocos de gesso.** Relatório ITEP Nº21574/21977. Recife, 2007

POLARI FILHO, R. S. **Contribuição ao processo de reciclagem dos resíduos da indústria de calçados na construção civil: Bloco EVA - uma alternativa às alvenarias das construções.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005.

QUEIROGA, A. B. R.E. et al. Avaliação de mini paredes com blocos EVA submetidas à ação de calor e choque térmico. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1, 2014, Guimarães. **Materiais de Construção Sustentáveis.** Guimarães: Universidade do Minho, 2014. p. 321-329.

RAAD, H. J.; MARTINS, C. J. Alvenaria modular: concepção de um novo sistema construtivo visando aumento da produtividade. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25, 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Enegep, 2005. p. 2752 - 2759.

ROCHA, F. M. D. **Aproveitamento de resíduos sólidos industriais em materiais alternativos na perspectiva da construção seca: bloco eva - intertravamento e racionalização das alvenarias.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

RODRIGUES, C. C. **Desenvolvimento de um sistema construtivo modular com blocos de gesso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

RUAS, A. C. **Avaliação de Conforto Térmico: Contribuição à aplicação prática das normas internacionais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 1999.

RUBIO-AVALOS, J. C. *et al.* Flexural behavior and microstructure analysis of a gypsum-SBR composite material. **Materials Letters**, n. 59, p. 230–233, 2005.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M M S B. Banco de Tecnologia Construtiva para a Produção de Alvenarias de Vedação Racionalizada. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ANTAC, 2002. p. 1753-1762.

SANTANA, J. J. B. **Estudo de um isolante térmico para tubos fabricado em material compósito.** Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

SANTOS, R. D. **Estudo térmico e de materiais de um compósito à base de gesso e EPS para construção de casas populares.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SANTOS, N. R. G. **Caracterização mecânica, térmica e acústica de um compósito que utiliza rejeitos de mármore, granito e eps para a fabricação de blocos para a construção civil.** Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SANTOS, F. A. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

SAVASTANO JUNIOR, H.; LUZ, P. H. C.; NOLASCO, A. M. Seleção de resíduos de alguns tipos de fibra vegetal para reforço de componentes de construção. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., 1997, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 1997. p. 107-112.

SAVASTANO JUNIOR, H.; PIMENTEL, L. L., 2000. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista Brasileira de Engenharia grícola e Ambiental**, v.4, 2000.

SILVA, A. R. **Estudo térmico e de materiais de um bloco para construção de casas populares, confeccionado a partir de um compósito a base de gesso, EPS e raspa de pneu.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SOUZA, L. M. Compósito a Base de Gesso e EPS para Fabricação de Casas Populares. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2006. P. 95-105.

STEUER, G.; DRESEL, M. A constructive error climate as an element of effective learning environments. **Psychological Test and Assessment Modeling**, v. 57, p. 262-275, 2015.

TESSARI, J. **Utilização de poliestireno expandido e potencial de aproveitamento de seus resíduos na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 2. ed. Minho: TecMinho, 2010.

VARISCO, M. Q. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2014.

VIEGAS, L. S. **Blocos para execução de alvenaria de vedação empregando garrafas pet: avaliação mecânica e termo-acústica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental), Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

XU, Y.; CHUNG, D. D. L. Effect of sand on the specific heat and thermal conductivity of cement. **Cement and Concrete Research**, n. 30, p. 59-61, 2000.

ZATTERA, A. J. *et al.* Caracterização de resíduos de copolímeros de etileno acetato de vinila – EVA. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n.1, p. 73-78, 2005.

ABICALÇADOS – Associação Brasileira das Indústrias de Calçados. Relatório Anual 2015. Disponível em <http://www.abicalçados.com.br>. Acesso em: 23 de março de 2016.

ABIPET - Associação Brasileira da Indústria do PET. VIII Censo da Reciclagem do PET no Brasil. Disponível em <http://www.abipet.org.br>. Acesso em: 20 de março de 2016.

ABRAPEX - Associação Brasileira do Poliestireno Expandido. Disponível em: <http://www.abrapex.com.br>. Acesso em 24 de março de 2016.

DRYWALL - Associação Brasileira do Drywall. Disponível em <http://www.drywall.org.br>. Acesso em 13 de março de 2016.

IEMI - Instituto de Estudos e Marketing Industrial. Infográficos de Calçados. Disponível em: <http://www.iemi.com.br>. Acesso em 23 de março de 2016.

SINDUGESSO - Sindicato da Indústria do Gesso do Estado de Pernambuco. Pólo Gesseiro. Disponível em <http://www.sindusgesso.org.br>. Acesso em: 13 de março de 2016.