



*Universidade Federal da Paraíba*  
*Centro de Tecnologia*  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E**  
**AMBIENTAL**  
**- MESTRADO -**

**PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO COM  
DIFERENTES RESÍDUOS PARA PROTEÇÃO TÉRMICA EM  
EDIFICAÇÕES**

*Por*

***Thiago Almeida Medeiros***

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba  
para obtenção do grau de Mestre*

**João Pessoa – Paraíba**  
**Setembro de 2017**



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL  
– MESTRADO –**

**PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO COM  
DIFERENTES RESÍDUOS PARA PROTEÇÃO TÉRMICA EM  
EDIFICAÇÕES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Thiago Almeida Medeiros**

**Orientador: Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa**

**João Pessoa – Paraíba**

**Setembro de 2017**

N852t Noronha, Karla Rossana Francelino Ribeiro.

Televisão universitária e redes sociais: proposta de programa para a TV UFPB / Karla Rossana Francelino Ribeiro Noronha.- João Pessoa, 2014.

86f. : il.

Orientadora: Olga Tavares

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCHLA

1. Comunicação de massa. 2. TV Digital. 3. TV Pública.
4. TV Universitária. 5. Interatividade. 6. Redes Sociais.

UFPB/BC

CDU: 659.3(043)

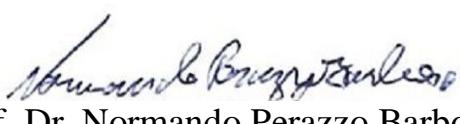
**PROPRIEDADES DE COMPÓSITOS À BASE DE GESSO COM  
DIFERENTES RESÍDUOS PARA PROTEÇÃO TÉRMICA EM  
EDIFICAÇÕES**

**THIAGO ALMEIDA MEDEIROS**

**Dissertação aprovada em 27 de setembro de 2017**

**Período Letivo: 2017.2**

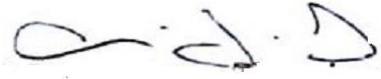
**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. Normando Perazzo Barbosa

Orientador

  
Prof. Dr. Aluísio Braz de Melo

Examinador Interno

  
Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra

Examinador Externo

Dedico a Deus por ser ele autor e senhor de  
toda a história.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai por toda compreensão.  
A minha mãe Maria dos Remédios Almeida por todo o incentivo doação e investimento tanto para mim quanto para meus irmãos.  
Ao meu irmão Diego Almeida Medeiros por todo o incentivo e ajuda.  
Ao meu irmão Rafael Almeida Medeiros por todo o incentivo e ajuda.  
Ao meu filho Tobias Vieira Ribeiro Almeida por ser uma bênção em minha vida.  
A minha tia Fátima Almeida por toda ajuda e incentivo.  
A minha tia Marta Almeida por toda ajuda e incentivo.  
Ao meu tio Nonato Gerônimo por toda ajuda e incentivo.  
Ao PPGECAM pela oportunidade.  
A todos os professores das disciplinas cursadas pelo conhecimento adquirido.  
À CAPES, pelo apoio financeiro em forma de Bolsa.  
Ao professor Dr. Normando Perazzo Barbosa pela orientação e todo apoio possível.  
Ao professor Dr. Sandro Mardem Torres.  
Ao professor Dr. Antônio Farias Leal.  
Ao professor Dr. Aluísio Braz de Melo.  
Ao professor Dr. Ulisses Targino Bezerra.  
Ao LABEME (Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas), por ter disponibilizado todos os equipamentos e materiais necessários a pesquisa.  
Aos técnicos do LABEME.  
Aos outros funcionários do LABEME.  
Enfim, a todos que me ajudaram na minha jornada.

## **RESUMO**

O gesso é um material cimentício de menor impacto ambiental que outros ligantes como cimento ou mesmo a cal. Na construção civil ele tem sido usado em peças decorativas, placas de forro, blocos para paredes divisórias e também como revestimento de paredes. Ao endurecer, o gesso, diferentemente do cimento Portland, forma uma matriz de pH quase neutro, o que significa que pode incorporar materiais fibrosos de origem vegetal ou animal sem degradá-los. As recentes normas de desempenho das edificações dão bastante destaque ao comportamento térmico de paredes e cobertas. O gesso pode servir de matriz para incorporar materiais que promovam a redução de sua condutividade térmica, dentre diferentes resíduos gerados pelas atividades humanas.

Este trabalho dá continuidade às pesquisas que têm se desenvolvido na UFPB que procuram criar novos usos e difundir o gesso como um material cimentício com maior aplicação na construção civil. Um dos fatores que contribuem para tal são os aditivos plastificantes e retardadores de pega desenvolvidos em outras dissertações que permitem redução de água, aumentos de resistência e de tempo de endurecimento. Nesta dissertação foram estabelecidas as propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de gesso para a partir delas poderem se desenvolverem diferentes elementos construtivos. Foram usados cinco resíduos: de papel Kraft, de papel comum, pó de Etileno Vinil Acetato (EVA), de EPS, e da indústria de calçados de couro. Para cada um desses resíduos foram usadas três percentagens diferentes. Foram investigados o tempo de pega, a densidade, a velocidade de propagação de onda ultrassônica e o módulo de elasticidade, a resistência à compressão e a resistência à flexão dos diferentes compósitos. As composições que apresentaram os menores valores de velocidade de propagação de onda ultrassônica e densidade foram selecionados para os ensaios da condutibilidade térmica. Os resultados mostraram que o aditivo de sisal influencia no desempenho do material, principalmente, em relação à resistência à flexão. Eles também indicaram que o melhor compósito formado foi o com o pó de EVA como carga, pois este compósito apresentou menor velocidade de propagação de onda ultrassônica, menor massa específica, menor condutibilidade térmica e melhor resistência à flexão quando foi utilizado com o aditivo de sisal. Porém, os demais compósitos também apresentam menor condutividade térmica que a matriz de gesso, por isso podem ser empregados para produção de placas de proteção térmica nas construções.

**PALAVRAS-CHAVE:** gesso; compósito; proteção térmica; resíduos.

## **ABSTRACT**

Gypsum is a cementitious material with a lower environmental impact than other binders such as cement or even lime. In civil construction it has been used in decorative pieces, lining boards, blocks for walls and now also as mortar. By hardening, gypsum, unlike Portland cement, forms a matrix of almost neutral pH, which means that it can incorporate fibrous materials of plant or animal origin without degrading them. The recent norms concerning performance of the buildings give much prominence to the thermal behavior of walls and roofs. The gypsum can serve as a matrix to incorporate materials that promote the reduction of its thermal conductivity, among them different residues generated by human activities.

This work continues the researches that have been developed at the UFPB that seek to create new uses and to diffuse gypsum as a cementitious material with greater application in the civil construction. One of the contributing factors is the plasticizer admixtures developed in other dissertations that allow water reduction, increase of resistance and time of hardening. In this dissertation the thermal and mechanical properties of gypsum composites were established so that different constructive elements could be developed. Five residues were used: Kraft paper, plain paper, Ethylene Vinyl Acetyl (EVA) powder, EPS, and the leather footwear industry. For each of these residues three different amount were tested. The set time, density, ultrasonic wave propagation velocity and modulus of elasticity, compressive strength and flexural strength of the different composites were investigated. The compositions with the lowest values of ultrasonic wave propagation velocity and density were selected for thermal conductivity test. The results showed that the sisal additive influences the performance of the material, mainly in relation to the flexural strength. They also indicated that the best composite was formed with EVA powder as reinforcement phase, because this composite presented lower ultrasonic wave propagation velocity, lower specific mass, lower thermal conductivity and better flexural strength when it was used with the additive of sisal. However, the other composites also have lower thermal conductivity than the gypsum matrix, so they can be used for the production of thermal protection plates for the constructions in general.

**KEYWORDS:** gypsum; several dwellings; composites; thermal protection; waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa sem forro.....	15
Figura 2 – Materiais compósitos e a interação entre a fase de matriz e o reforço.....	17
Figura 3 – Reciclagem e reutilização do gesso.....	21
Figura 4 - Projeções de produção, exportação e importação do setor de celulose e papel Notas: (P) = produção, (E) = exportação, (I) = importação.....	22
Figura 5 – Processo de produção do papel kratf.....	24
Figura 6 - Etapas, insumos e resíduos de couro.....	25
Figura 7 – Materiais utilizados na pesquisa.....	31
Figura 8 – Processo de obtenção da polpa de papel kraft.....	32
Figura 9 – Processo de obtenção da polpa de papel comum.....	32
Figura 10 – Processo de Trituração do EPS.....	33
Figura 11 – Aparelho de Vicat utilizado na pesquisa.....	34
Figura 12 – Ensaio de resistência à Flexão.....	35
Figura 13 – Ensaio de resistência à compressão.....	35
Figura 14 – Punditproced.....	36
Figura 15 – Isomet 2114.....	37
Figura 16 - Velocidade de Propagação de Onda com aditivo de Aveloz.....	42
Figura 17 - Comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica na matriz .....	43
Figura 18 - Comportamento da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas no compósito com teor de 6%, 7% e 8% de papel comum, respectivamente.....	44
Figura 19 - Comportamento das velocidades de ondas ultra-sônicas para o teor de 6%, 7% e 8% de papel <i>kraft</i> , respectivamente.....	45
Figura 20 - Comportamento das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para os percentuais de 2%, 3% e 4% de EPS.....	46
Figura 21 – Comportamento das velocidades de propagação de onda ultra-sônica do Pó de EVA para os teores de 5%, 10% e 15% respectivamente.....	47
Figura 22 - Comportamento das velocidades de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 1%, 2% e 4% de resíduo de couro.....	48
Figura 23 - Comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 6% de papel comum.....	49

Figura 24 - Comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 6% de papel kraft.....	50
Figura 25 - Comportamento das velocidades de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 5%, 10% e 15% de EVA.....	51
Figura 26 - Módulo de elasticidade com aditivo de aveloz.....	52
Figura 27 - Resultado do ensaio de módulo de elasticidade com aditivo de sisal.....	54
Figura 28 - Resultado do ensaio de resistência à compressão da matriz e dos compósitos com aditivo de aveloz.....	56
Figura 29 - Resultado do ensaio de resistência à compressão da matriz e dos compósitos com aditivo de sisal.....	57
Figura 30 - Resultado do ensaio de resistência à flexão da matriz e dos compósitos com aditivo de aveloz.....	58
Figura 31 - Resultado do ensaio de resistência à flexão da matriz e dos compósitos com aditivo de sisal.....	60
Figura 32 – Fôrma para placa.....	62
Figura 33 – Placa formada de forma perfeita com compósito de EVA.....	63
Figura 34 – Placa desmoldada.....	63
Figura 35 – Aplicação da placa.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição da gipsita e seus percentuais.....	20
Tabela 2 – Propriedades físicas e suas variabilidades.....	20
Tabela 3 – Propriedades físicas do papel.....	22
Tabela 4- Porcentagem de resíduo em relação à massa de gesso.....	34
Tabela 5 – Parâmetros obtidos na pesquisa.....	38
Tabela 6 -Tempo de pega com aditivo sintético de aveloz.....	38
Tabela 7 -Tempo de pega com aditivo natural de sisal.....	39
Tabela 8 – Densidade úmida dos compósitos com aditivo sintético de aveloz.....	40
Tabela 9 – Densidade seca dos compósitos com aditivo sintético de aveloz.....	40
Tabela 10 – Densidade úmida dos compósitos com aditivo sintético de sisal.....	41
Tabela 11 – Densidade seca dos compósitos com aditivo sintético de sisal.....	41
Tabela 12 – Velocidade de propagação de onda ultra-sônica com aditivo de aveloz.....	43
Tabela 13 – Velocidade de propagação de onda ultra-sônica com aditivo de sisal.....	49
Tabela 14 – Módulo de elasticidade com aditivo de aveloz em GPa.....	53
Tabela 15 – Ensaio de módulo de elasticidade com aditivo de sisal.....	54
Tabela 16 – Condutibilidade térmica da matriz e dos compósitos com aditivo de sisal.....	55
Tabela 17 – Resistência à compressão com aditivo de aveloz.....	56
Tabela 18 – Resistência à compressão em números.....	57
Tabela 19 – Resistência à flexão com aditivo de aveloz em MPa.....	59
Tabela 20 – Resistência à flexão com aditivo de sisal em MPa.....	60
Tabela 21 – Propriedades dos compósitos gerados com o aditivo de aveloz.....	61
Tabela 22 – Propriedades dos compósitos gerados com o aditivo de sisal.....	61

# SUMÁRIO

## RESUMO

## ABSTRACT

## LISTA DE FIGURAS

## LISTA DE TABELAS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.2 - OBJETIVOS.....	16	
1.2.1 - OBJETIVO GERAL.....	16	
1.2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16	
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS.....	17	
2.2 CONFORTO TÉRMICO.....	17	
2.3 A CONSTRUÇÃO CIVIL E A SUSTENTABILIDADE.....	18	
2.4 – LEGISLAÇÃO VIGENTE SOBRE OS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	18	
2.5 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	19	
2.5.1 Gesso.....	19	
2.5.2 Papel comum.....	21	
2.5.3 Papel kraft.....	23	
2.5.4 Resíduos de couro.....	24	
2.5.5 Etil Vinil Acetato (EVA).....	26	
2.5.6 Poliestireno Expandido(EPS).....	26	
2.5.7 Aditivo.....	26	
2.5.8 Trabalhos feitos com materiais compósitos.....	27	
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>30</b>
3.1 MATERIAIS.....	30	
3.2 METODOLOGIA.....	31	
3.2.1 Obtenção da polpa de papel kraft.....	31	
3.2.2 Obtenção da polpa de papel comum.....	32	
3.2.3 Trituração do eps.....	33	
3.2.4 Obtenção dos compósitos.....	33	
3.2.5 Ensaios físicos.....	34	
3.2.6 Ensaios mecânicos.....	35	
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>38</b>
4.1 TEMPO DE PEGA.....	38	
4.2 DENSIDADE SECA E DENSIDADE ÚMIDA .....	39	
4.3 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA COM ADITIVO DE AVELOZ.....	42	
4.4 VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA COM ADITIVO DE SISAL.....	48	
4.5 MÓDULO DE ELASTICIDADE COM ADITIVO DE AVELOZ.....	52	

4.6 MÓDULO DE ELASTICIDADE COM ADITIVO DE SISAL.....	53
4.7 CONDUTIBILIDADE TÉRMICA.....	54
4.8 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM ADITIVO DE AVELOZ .....	55
4.9 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM ADITIVO DE SISAL.....	57
4.10 RESISTÊNCIA À FLEXÃO COM ADITIVO DE AVELOZ.....	58
4.11 RESISTÊNCIA À FLEXÃO COM ADITIVO DE SISAL.....	59
4.12 RESUMO DAS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS .....	60
4.13 MOLDAGEM DE PLACAS COM GRANDES DIMENSÕES .....	62
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>67</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Os profissionais ligados à área da construção civil estão cada vez mais preocupados com a questão da sustentabilidade. Logo, é cada vez mais frequente a utilização de materiais alternativos que sejam menos agressivos ao meio ambiente, apresentem vantagens econômicas e atendam aos requisitos de desempenho a que foram propostos (MAGALHÃES e ALMEIDA, 2010).

O impacto gerado pela construção civil a nível mundial é significativo, sendo este responsável por 50% do consumo dos recursos naturais e 40% dos recursos energéticos nas mais diversas fontes de energia, levando-se em conta a fabricação dos materiais, a aplicação nas obras e o ciclo de vida das edificações (INVIDIATA, LIBRELOTTO e GUTHS, 2014).

A reciclagem de resíduos gerados pela indústria da construção civil é de extrema importância para a sustentabilidade e pode, além de minimizar os impactos, reduzir os custos (DIAS, 2007).

Os materiais utilizados nas obras, sejam em reformas ou na própria autoconstrução que são gerados e descartados como restos, são considerados resíduos de construção e demolição (RCD). A geração desses resíduos ainda pode estar ligada à manutenção como, por exemplo, correção de patologias ou o fim da vida útil de alguns componentes estruturais que necessitam ser substituídos.

A Resolução CONAMA Nº 307 de 2002 estabelece as diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Essa resolução classifica os resíduos oriundos das atividades da construção civil em quatro classes. O papel de saco de cimento está classificado na classe B e o gesso estava classificado na classe C que era uma classe que classificava materiais que ainda não tinham sido desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitissem a sua reciclagem ou recuperação, porém a Resolução CONAMA Nº 341/2011 alterou a Resolução Nº 307 de 2002, onde o gesso passou a ser da Classe B que é para resíduos recicláveis ou para outras destinações.

A NBR 15575 que trata do desempenho das edificações dá destaque ao conforto térmico dos usuários. Em regiões de grande insolação, como o nordeste brasileiro muitas vezes é necessário melhorar o fluxo térmico que vem do telhado e das paredes para promover o conforto das pessoas.

Inúmeras edificações populares e mesmo galpões industriais ou rurais sequer têm forro (Figura 1). A irradiação de calor das telhas torma o ambiente desagradável prejudicando, inclusive, a produtividade laboral.

Figura 1 – Casa sem forro



Isolantes existem no mercado, porém tratam-se de produtos industrializados que têm preço relativamente alto e muitas vezes são feitos com materiais que causam grande impacto ambiental.

O gesso é um ligante que pode ser considerado mais amigável que o cimento Portland. Basta ver que a temperatura requerida para sua fabricação é de apenas 150°C - 160°C contra cerca de 1450°C para o cimento. Para obter-se gesso, emite-se na atmosfera vapor de água, contra CO<sub>2</sub> para fabricação do cimento. Além disso, a região nordeste dispõe de enormes jazidas de gipsita, a matéria prima do gesso. No Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental procuram-se desenvolver novos produtos que possam melhorar as condições de habitação, além de contribuir para diminuição do impacto que elas causam no planeta.

Barbosa (2015) afirma que existe um grande potencial nos sacos de cimento descartados, dos quais se pode extrair polpa de celulose. Usada em matrizes de gesso que podem dar origem a placas e argamassas de revestimento interno com boas propriedades isolantes. Outros resíduos podem também fazer esse papel, daí o foco desse trabalho foi

verificar algumas possibilidades de se gerar compósitos com resíduos incorporados em matrizes de gesso.

## **1.2 – OBJETIVOS**

### **1.2.1 – Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como principal objetivo desenvolver compósitos de boas propriedades térmicas, a partir de matrizes de gesso com reforço de cinco diferentes tipos de resíduos.

### **1.2.2 –Objetivos específicos**

- (i) Desenvolver um sistema de mistura adequado da polpa e dos outros resíduos com o gesso;
- (ii) Caracterizar física e mecanicamente as matrizes de gesso reforçadas com a polpa e outros resíduos em diferentes composições;
- (iii) A partir dos resultados físicos e mecânicos, verificar quais os resíduos e percentuais podem apresentar condutibilidade térmica mais reduzida;

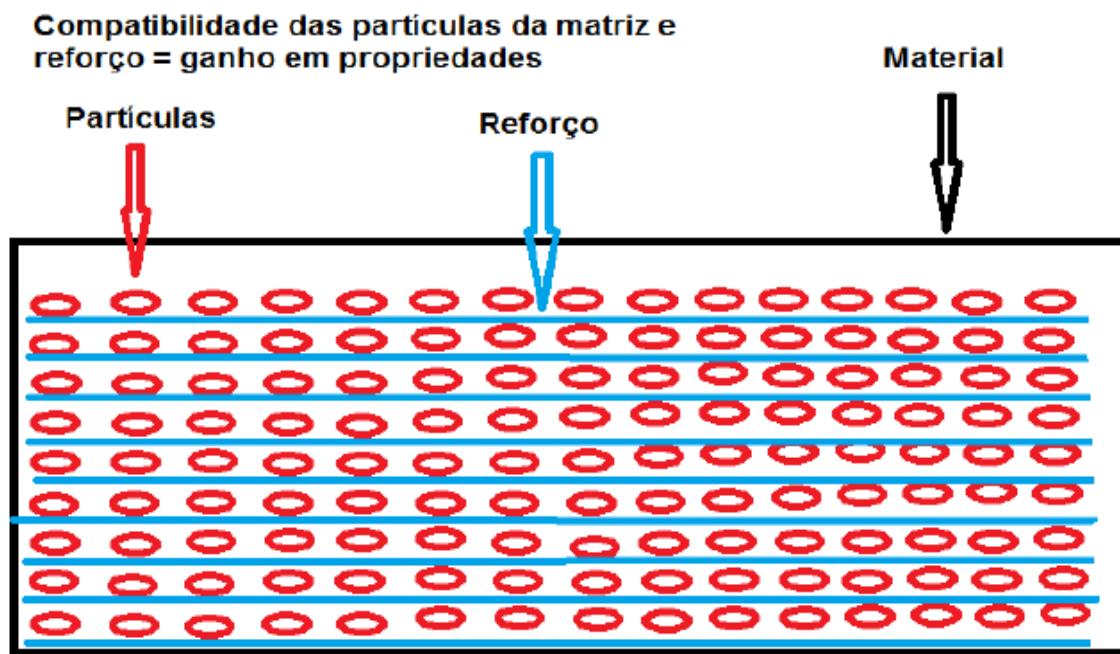
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Materiais compósitos

Os materiais compósitos são constituídos por dois ou mais materiais de forma combinada, existindo a fase de matriz e a fase dispersa. No caso da matriz ela pode ser cerâmica, polimérica ou metálica, já no caso da fase dispersa ela pode ser constituída por resíduos e/ou fibras. A fase dispersa vai influenciar nas características químicas, físicas, mecânicas e eletromagnéticas de maneira geral (PEREIRA, 2002).

O objetivo do material compósito é a interação entre essas fases a mudanças em algumas propriedades sejam físicas ou mecânicas. Essa interação pode ser interessante no caso do gesso com os resíduos, uma vez que, pode haver um ganho em relação às propriedades térmicas, além do reaproveitamento dos resíduos e/ou fibras utilizadas (BARBOSA, 2015). A figura 2 abaixo, mostra como pode ser possível isso.

Figura 2 – Materiais compósitos e a interação entre a fase de matriz e o reforço



### 2.2 Conforto Térmico

O ambiente interno das edificações influencia o conforto dos usuários. Alguns fatores associados às condições ambientais internas influenciam esse conforto como, por exemplo, o desempenho térmico, desempenho acústico, umidade do ar, dentre outros. Dentre todos esses fatores o conforto térmico é um dos mais importantes para os usuários

das edificações que vão avaliar o ambiente como confortável ou não para sua utilização ao longo de sua vida útil (FRONTCZAK e WARGOCKI, 2010).

O conforto térmico está relacionado com a satisfação do usuário com sua moradia. Os fatores climáticos, humanos e arquitetônicos são os principais fatores que contribuem para a carga térmica das edificações. Nos projetos bioclimáticos o conforto térmico é tido como um dos fatores de maior relevância (BEZERRA, 2003).

### **2.3 – A construção civil e a sustentabilidade**

O setor da construção civil, em se tratando da elaboração do projeto de edificações vem apresentando uma crescente preocupação com a sustentabilidade, como, por exemplo, a utilização de materiais menos agressivos ao meio ambiente. Esses materiais devem ter vantagens econômicas e atender os requisitos de desempenho aos quais estão submetidos.

O setor da construção civil é responsável por boa parte dos impactos ambientais atribuídos às atividades humanas. Estudos demonstram que a indústria da construção civil, consome cerca de 50% dos recursos retirados da crosta terrestre. (SATTLER, 2007).

No Brasil os materiais convencionais são amplamente utilizados pela construção civil e não se consideram como impactos ambientais do setor sobre o meio ambiente. Faz-se necessário a adoção de critérios que resultem em projetos de edificações com uma melhor qualidade e evite o uso dos recursos naturais (energia e materiais) do referido setor (ASSIS et al, 2007).

Os materiais de construção não convencionais são muito diversificados, dentre os quais, pode-se citar os resíduos industriais e agrícolas tais como cinzas volantes, cinzas da casca de arroz, além de vários tipos de fibras vegetais como, por exemplo, a fibra de coco. Podendo ser utilizados como reforço em diferentes tipos de matrizes, são ecologicamente corretos e contribuem para reduzir os resíduos sólidos oriundos das atividades das obras (BARBOSA, 2015).

### **2.4 – Legislação vigente sobre os resíduos da construção civil**

A Política Nacional do Meio Ambiente, nasceu em 1981, através da Lei 6.938/81, devido à preocupação com os recursos naturais, a degradação ambiental, a racionalização do uso do solo, o subsolo, da água e do ar. Surgiu como um instrumento para planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais. Dentre os seus objetivos estão à difusão de tecnologia de manejo do meio ambiente, preservação e restauração dos recursos

ambientais. Um dos instrumentos dessa política é Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente – CNIA, onde o Órgão Superior é o Conselho do Governo, o Órgão Consultivo e Deliberativo é o Conselho Nacional de Meio Ambiente, o Órgão Central é o Ministério do Meio Ambiente e o Órgão Executor é o IBAMA (Política Nacional do Meio Ambiente, 1981).

A Resolução nº 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de cinco de julho de 2002, estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da Construção Civil, e entrou em vigor em janeiro de 2003, dando um prazo de 18 meses para os Municípios e o Distrito Federal solucionarem este problema. Essa resolução classifica os resíduos da construção civil em 4 classes. Essas classes foram alteradas pelas resoluções 43, de 24 de maio de 2011 e 348, de 16 de agosto de 2004, que modificaram a classificação do gesso de classe C para Classe B e do amianto que passou a ser um material perigoso, ou seja, foi inserido na classe D.

A lei municipal da cidade de João Pessoa Nº 11.176, de 10 de outubro de 2007, surgiu nesse mesmo contexto e trata do gerenciamento dos Resíduos da Construção Civil e Demolição (RCC's). Esta lei institui o sistema de gestão sustentável de resíduos da construção e demolição e o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos da Construção Civil (PGICC). Essa lei estabelece que as construtoras sejam responsáveis pelo gerenciamento e destinação final dos resíduos gerados nas obras, por exemplo, gesso, telhas, sacos de cimento, dentre outros. Esses resíduos devem ser separados, armazenados e levados para usinas de reciclagem credenciadas junto ao município de João Pessoa.

## **2.5–Materiais utilizados na pesquisa**

### **2.5.1 - Gesso**

O gesso é originado a partir da calcinação da gipsita, sendo um mineral aglomerante abundante na natureza, conhecido há muito tempo, sendo um dos mais antigos materiais de construção. Além disso, esse material é amplamente usado na construção civil. As suas propriedades fazem com que o gesso seja bastante utilizado, dentre elas estão: a facilidade de aplicação, a plasticidade, o endurecimento rápido e superfície lisa. Porém, o contato direto com a água não é bom para esse material ele é um aglomerante aéreo.

Além disso, a aplicação do gesso está em diversas áreas da construção civil como na medicina e odontologia, na indústria alimentícia, na indústria farmacêutica, na agricultura e na indústria de cerâmicas (PRATES, 2015).

No Brasil os principais estados de produção são: Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Piauí. As várias aplicações desse material permitem sua utilização em placas de acartonado para forros e divisórias, argamassa de revestimento, dentre outros.

Mais especificamente falando do Estado de Pernambuco, existe o Polo Gesseiro de Araripe composto pelos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubí, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade que são ricos em gipsita. Todos esses municípios juntos chegam a representar quase 20% do território de Pernambuco.

A gipsita que é o é composta de óxido de cálcio, trióxido de enxofre e água. Existem ainda na gipsita diversas propriedades físicas que podem ser variáveis ou não. Na Tabela 1 estão presentes a composição da gipsita e seus percentuais. Já na Tabela 2 estão as propriedades físicas e suas variabilidades.

Tabela 1 – Composição da gipsita e seus percentuais (Fonte: Adaptado de Baltar et al, 2005).

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GIPSITA	
FÓRMULA MOLECULAR	PERCENTUAL
CaO	32,50%
SO <sub>3</sub>	46,60%
H <sub>2</sub> O	20,90%

Tabela 2 – Propriedades físicas e suas variabilidades (Fonte: Adaptado de Baltar et al, 2005).

PROPRIEDADES FÍSICAS	VARIABILIDADE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS
Cor	Variável
Brilho	Vítreo, Nacarado ou Sedoso
Dureza	2 Mohs
Densidade	2,5 g/Cm <sup>3</sup>
Hábito	Prismático
Clivagem	Em quatro direções
Morfologia e tamanho de cristais	Variável

A produção do gesso em pó é feita através da desidratação parcial da gipsita ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Nesse processo, a gipsita é calcinada a  $350^\circ\text{C}$  perdendo parte da água de cristalização.

No processo de obtenção do minério existem várias etapas como: extração, moagem fina, armazenamento e ensacamento para comercialização. Depois dessas várias etapas e da aplicação, o gesso pode ser reaproveitado ou reciclado conforme a Figura 3.

Figura 3 – Reciclagem e reutilização do gesso (Fonte: Fagundes, 2012).



### 2.5.2 – Papel comum

O papel comum é rico em celulose que é definida como um composto orgânico de característica fibrosa, mais especificadamente, um polissacarídeo que é o principal constituinte da parede celular das fibras das plantas. Esse composto orgânico é o mais comum na natureza, constituindo não só as plantas, assim como bactérias e algas. Nas plantas esse percentual chega a representar 40% a 60% da matéria seca (BNDES e CGEE, 2008).

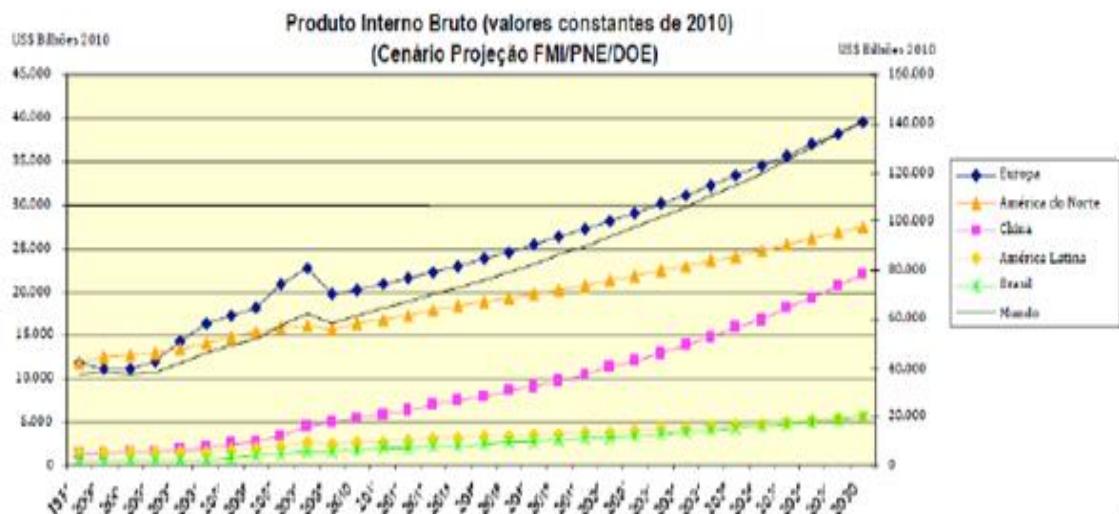
A produção de papel comum no Brasil cresceu, a partir de 1990, quando houve um crescimento comercial no setor motivado pelo aumento das exportações de papel e celulose (Costa e Garcia, 2009).

Vários são os processos que envolvem a extração da celulose como: orientação da alimentação e limpeza da madeira antes dos picadores, recuperação de calor nos digestores,

aplicação de licor negro, fabricação da polpa, branqueamento, formação da folha de papel com ar ou a seco, prensagem, secagem, recuperação e fechamento da máquina e papel, esfriamento do papel com sistemas de água, embalagem, transporte e comercialização para o mercado final.

A Figura 4 mostra a projeção, exportação e importação do setor de celulose e papel de acordo com o Produto Interno Bruto (PIB) para o Brasil nos próximos anos.

Figura 4 -Projeções de produção, exportação e importação do setor de celulose e papel  
Notas: (P) = produção, (E) = exportação, (I) = importação (Fonte: Guia Técnico da VOTORANTIM, 2011).



As das propriedades físicas do papel são idade, produtividade, espessura, densidade aparente e volume aparente. A Tabela 3 abaixo mostra algumas dessas propriedades.

Tabela 3 – Propriedades físicas do papel (Fonte: Andrade, 2006).

Idade	Produtividade	Espessura ( $\mu\text{m}$ )		Densidade Aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )		Volume Aparente ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	
		Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
8 Anos	Alta	265,33	8,26	0,761	0,027	1,315	0,048
	Média	267,50	6,25	0,753	0,018	1,328	0,031
	Baixa	270,33	6,38	0,746	0,020	1,342	0,035
14 Anos	Alta	275,50	5,32	0,733	0,011	1,364	0,021
	Média	278,00	8,88	0,726	0,023	1,379	0,045
	Baixa	289,17	7,52	0,698	0,018	1,433	0,037
20 Anos	Alta	298,17	5,78	0,678	0,015	1,476	0,034
	Média	304,83	7,14	0,662	0,017	1,512	0,039
	Baixa	320,50	6,41	0,631	0,016	1,587	0,040

Andrade (2006) ainda afirma que as variações dos componentes da madeira são de 70,61% e 73,30% de holocelulose, 26,54% a 29,17% de lignina, extratos totais da madeira 1,85% a 3,10% de extratos totais da madeira e 0,20% a 0,30% de material inorgânico.

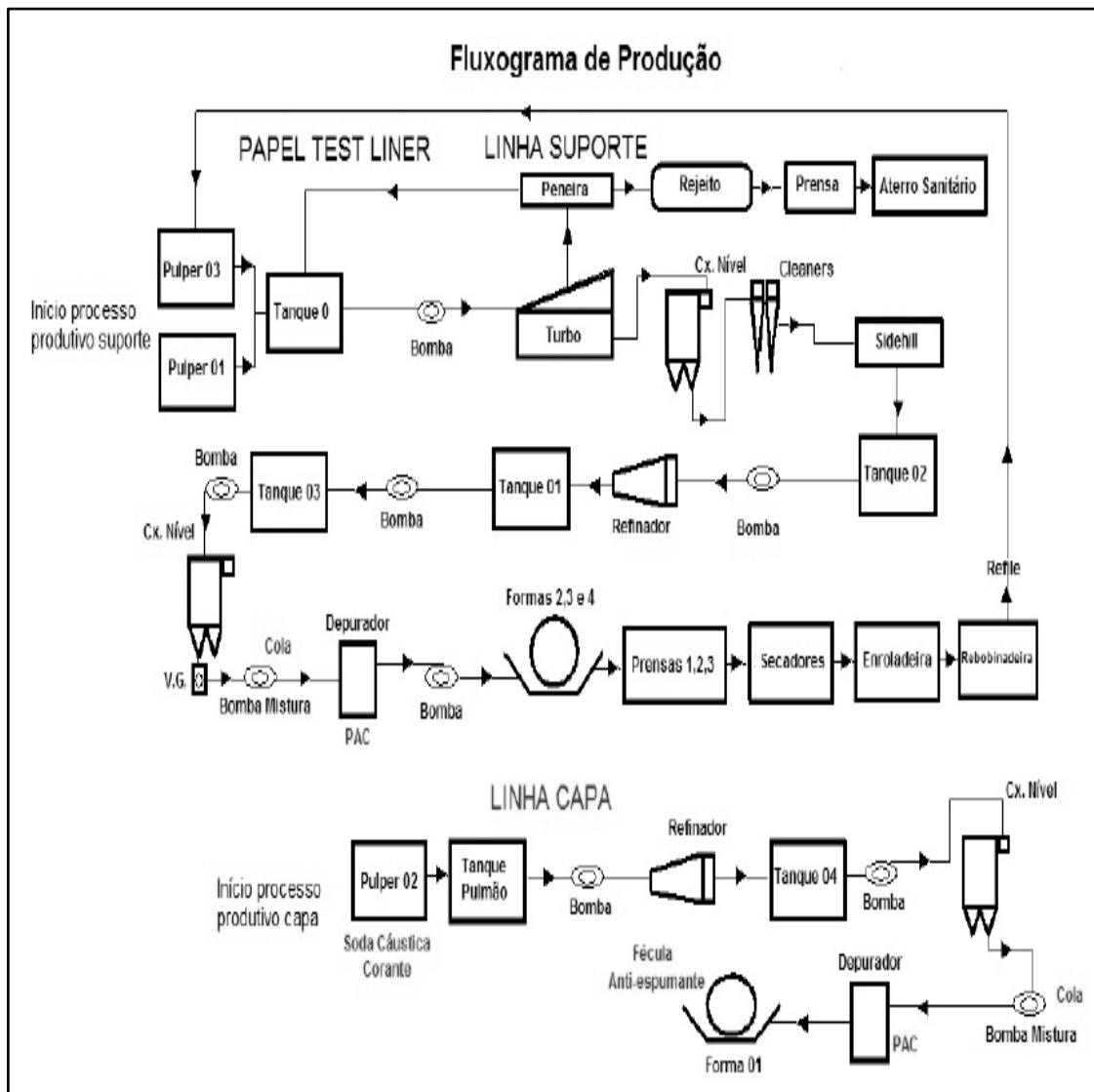
Junior (2006) destaca em seu trabalho no processo de fabricação do papel comum envolve uma gama muito grande de recursos naturais e a reciclagem e reutilização desse material é importante para preservação do meio ambiente e a sustentabilidade. Esse autor afirma que a cidade de Curitiba/PR recicla um percentual de quase 45% das listas telefônicas da cidade.

### **2.5.3 – Papel Kraft**

Papel Kraft é um papel de coloração geralmente castanha, amarela ou laranja formado da mistura de fibras de celulose curtas e longas, apresentando boa resistência mecânica e porosidade. Sua utilização se dá, principalmente, na produção de sacos, sacolas, envelopes de correspondência e cartonagens diversas.

O processo produtivo é dividido em dois estágios, o primeiro é identificado como “linha de suporte” e o segundo como “linha de capa”. Na Figura 5, estão identificados os processos de fabricação do papel kraft (SÉKULA, 2011).

Figura 5 – Processo de produção do papel kraft (Fonte: Sékula, 2011).



#### 2.5.4 – Resíduo de couro

Os resíduos de couro são ricos em cromo que é um metal de transição com coloração cinza encontrado no grupo 6 (6B) da tabela periódica. No caso do couro esse metal é aplicado para preparar o material para o uso e comercialização (Curtimento do Couro). Nesse caso é utilizado o hidroxissulfato de cromo III ( $\text{CrOHSO}_4$ ). O cromo também é empregado em outras áreas como: metalurgia, produção de madeira, produção de material magnético, dentre outras.

O Brasil é um dos líderes mundiais na exportação de couro. Segundo Aber et al (2010) o setor da indústria de couro tem expressiva participação na economia mundial

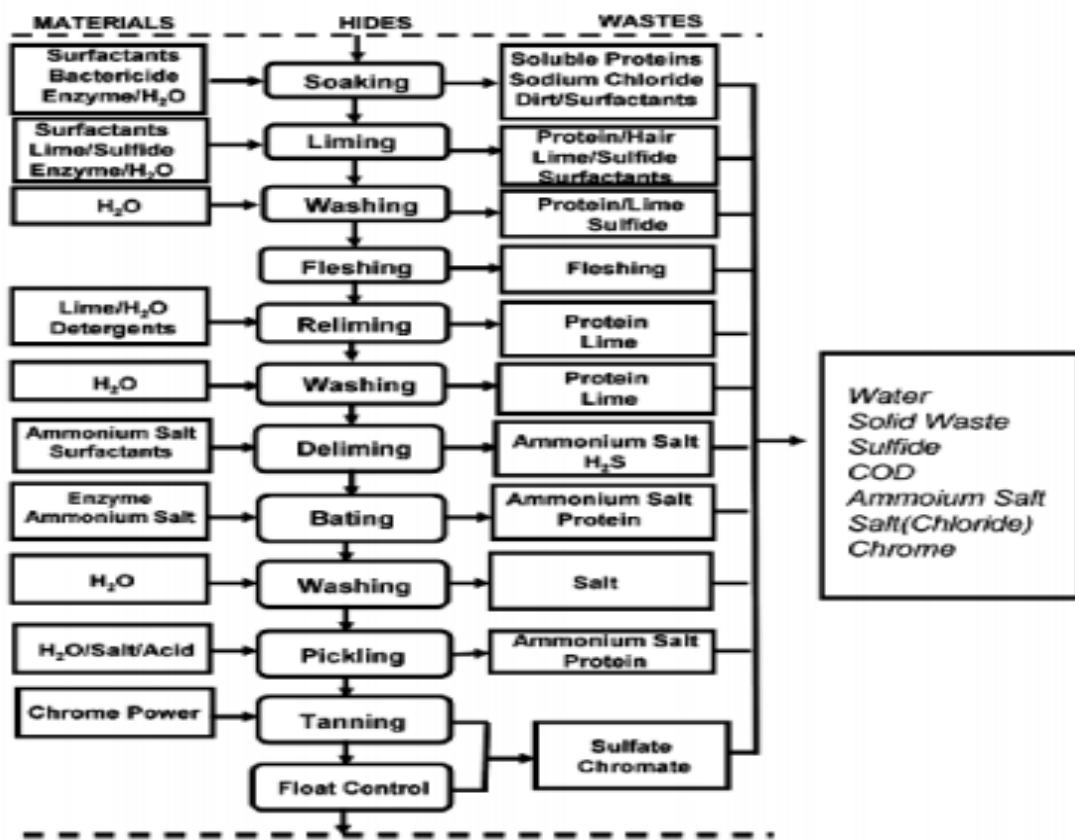
processando cerca de 5,5 bilhões de metros quadrados em volume e 70 bilhões de dólares em espécie.

Segundo Riehl et al (2014) os resíduos de couro são despejados em aterros industriais não existindo outra forma de aproveitá-los. Estes resíduos ainda possuem um baixo teor de umidade, baixos teores de carbono e podem ser reciclados e reaproveitados contribuindo para redução de passivos ambientais, além de solucionar o problema da disposição destes resíduos em aterros.

Segundo Rodrigues (2008) são diversos os processos mecânicos e químicos no processamento de curtimento do couro, resultando em efluentes ricos em matéria orgânica e produtos químicos e tóxicos que podem trazer uma série de danos a saúde humana como: problemas mutagênicos, problemas neurológicos, problemas nos olhos, problemas na pele, problemas respiratórios e até mesmo câncer.

A figura 6 abaixo mostra a complexidade do processo industrial da fabricação do couro. Esse processo leva em consideração as características finais desejadas como: espessura, brilho, cor, maciez, dentre outras.

Figura 6 - Etapas, insumos e resíduos de couro (Fonte: Hu et al., 2011).



### **2.5.5 – Etil Vinil Acetato (EVA)**

O EVA é um material emborrachado ou uma resina termoplástica derivada do petróleo e utilizada pela indústria na confecção de objetos pelo fato de ser resistente a produtos químicos, liso e de baixa densidade. A sua utilização pode influenciar no material nas propriedades de dureza, maciez e abrasão. Além disso, é um material não tóxico, flexível e com boa elasticidade. Esse material é utilizado em tapetes, bonecos, mangueiras flexíveis, composição asfáltica e diversos processos industriais.

### **2.5.6 – POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

O EPS é um material sintético proveniente do petróleo, possuindo natureza finita e podendo levar 150 anos para ser degradado. É bastante utilizado por possuir um baixo peso específico, além das propriedades de elasticidade, baixa condutibilidade térmica, isolamento acústico, dentre outras. Esse material é composto quimicamente por dois componentes: carbono e hidrogênio. No seu processo de fabricação são produzidos poucos resíduos (líquidos e sólidos) ainda possui a vantagem do baixo custo de energia na produção.

O EPS geralmente é depositado como lixo nos aterros sanitários, mas pode ser reaproveitado em concretos leves, em processos de compostagem e em materiais compósitos formados com gesso, formando um material com melhores propriedades térmicas e acústicas.

### **2.5.7 – Aditivo**

O aditivo utilizado é um produto fabricado com base na EUPHORBIA TIRUCALLI E, conhecidas popularmente como aveloz. Esse aditivo é obtido por prensagem e adição de álcool (20%) para conservar o produto, dar estabilidade e dar durabilidade ao produto (Nogueira, 2012). O uso desse aditivo melhora o tempo de pega e a plasticidade do material. O percentual utilizado nos compósitos foi de 2,5%.

Por escassez do aditivo sintético à base de aveloz foi utilizado um aditivo natural à base de Sisal. Logo, houve no decorrer do trabalho essa mudança na composição química do material para moldagem dos novos corpos de prova prismáticos e a moldagem das placas de gesso para o ensaio de condutibilidade térmica. Esse aditivo também é obtido por

prensagem e foi obtido junto com a EMBRAPA. Ele também melhora o tempo de pega e confere melhor plasticidade ao material. O percentual utilizado nos compósitos também foi de 2,5%.

### **2.5.8 – Trabalhos Feitos Com Materiais Compósitos**

Tavares et al (2010) desenvolveram um trabalho com reaproveitamento de resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical onde verificou o desempenho do material através de ensaios de dureza superficial, resistência à compressão e aderência onde os resultados mostraram que a adição de 10% de gesso não prejudica a produção da nova argamassa, respeitando as recomendações da técnica construtiva.

Bernhoelf, Gusmão e Tavares (2011) desenvolveram um trabalho sobre a influência da adição do resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno onde fixaram a relação água/gesso em 0,66 e fizeram ensaios comparativos entre o gesso natural e o gesso aditivado com 5% e 10% de resíduo onde obtiveram bons resultados em relação ao tempo de pega e ao calor de hidratação.

Macedo et al (2011) desenvolveram um trabalho com materiais compósitos à base de gesso e EPS com o objetivo de substituir os tradicionais tijolos cerâmicos usualmente utilizados em casas populares. Foram feitos ensaios de condutibilidade térmica e resistência à compressão. Os resultados mostraram a condutibilidade térmica do compósito é superior à matriz, porém a resistência à compressão é inferior à matriz.

Camões et al (2012) desenvolveram um trabalho com materiais compósitos à base de gesso onde o reforço o re-granulado de cortiça resultante do fabrico de placas de aglomerado negro de cortiça e as fibras têxteis resultantes da reciclagem de pneus usados. Além disso, foram utilizadas a moldagem e a prensagem como processo de fabricação, obtendo-se produtos com características distintas. Foram acrescentados no compósito 5%, 7% e 9% de cortiça, onde se verificou diferentes comportamentos em relação às propriedades de módulo de elasticidade, resistência à compressão e resistência à flexão.

Oliveira et al (2012) desenvolveram um trabalho com materiais compósitos à base de gesso com EVA e vermiculita onde incorporou diferentes percentuais desses materiais com três relações de água/gesso. Os resultados mostraram maior dependência da relação água/gesso da massa específica aparente, resistência à flexão do compósito de vermiculita. Outro resultado encontrado foi que o percentual de agregado apresentou maior influência na resistência à flexão do compósito com EVA e na resistência à compressão de ambos os compósitos.

Cunha et al (2013) desenvolveram um trabalho com um compósito de matriz de gesso e fibra vegetal, onde avaliaram as propriedades termo físicas do material. Os corpos de prova foram produzidos na forma de sanduíche de gesso (gesso/fibra/gesso). Eles consideraram duas fatias diferentes de gesso com as espessuras de 8 mm e 10 mm. Foram realizados os ensaios de condutividade térmica ( $k$ ), capacidade térmica volumétrica ( $\rho_{CP}$ ) e difusividade térmica ( $\delta$ ). Os resultados mostraram uma melhor condutibilidade térmica do material em relação à matriz o que possibilita uma redução da carga térmica no interior de ambientes.

Noronha (2014) desenvolveu elementos construtivos a partir de materiais compósitos à base de gesso e resíduos agroindustriais que foram sacos de cimento feitos em papel tipo Kraft que contêm fibras na forma de polpa (celulose) que podem ser utilizadas como reforço em matrizes. Esta autora utilizou 2% e 4% de fibra e relação água/gesso variando de 0,4 a 0,7. Essas variações influenciaram na resistência onde o traço com 4% de fibra e relação água/gesso 0,5 produziu uma resistência de 2,8 MPa, enquanto o traço com 2% de fibra produziu um compósito com resistência de 5,87 MPa.

Silva (2014) desenvolveu uma tese intitulada de propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. Foi fabricado um compósito suficientemente rígido para competir com produtos convencionais, como as chapas de aglomerado de madeira, somente um percentual limitado da fibra de juta pode ser incorporado na matriz polimérica. Este material apresentou bom desempenho em relação às propriedades de tenacidade e resistência.

Araújo (2014) desenvolveu uma argamassa de revestimento produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da cidade de Natal/RN

caracterizando química, física e micro estruturalmente os agregados reciclados com a realização de análises microscópicas e ensaios laboratoriais das argamassas no estado fresco obtendo resultados satisfatórios em várias propriedades dos materiais como, por exemplo, absorção e porosidade.

Oliveira et al (2015) desenvolveram um trabalho onde incorporou fibras do fruto do baru (*Dipteryxalata*) que são oriundas o descarte de processos agroindustriais. O compósito formado com gesso e essas fibras com percentuais de 5%, 10% e 15%, utilizando uma relação água/gesso de 0,5. Foram feitos testes em tensão normal à compressão corpos de provas cilíndricos. Os melhores resultados obtidos foram para o percentual de 5% desse resíduo vegetal que mostrou um desempenho significativamente superior a matriz.

Rohden e Mocabô (2015) desenvolveram um trabalho onde produziram um material compósito à base de gesso e EPS para formação de placas de gesso e EPS reciclados. Foram adicionados no material três teores de EPS com 5g, 10,g e 15g. Foram moldadas as placas do compósito e feitos ensaios de resistência à tração na flexão e massa específica. Os resultados mostraram que adição de 5g e 10g para uma relação de água/gesso de 1 foram satisfatórios para os ensaios feitos.

### **3 METODOLOGIA**

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas da Universidade Federal da Paraíba – LABEME, do Centro de Tecnologia da UFPB.

#### **3.1 – Materiais**

Foram utilizados na pesquisa os seguintes materiais:

- Gesso – Oriundo do pólo gesseiro de Araripina, foi obtido no comércio local.
- Resíduos em pó de EVA - originários da fabricação de calçados da região. Os resíduos em pó estavam disponíveis no laboratório.
- Resíduo de papel comum – foi obtido em copiadora existente na Universidade.
- Resíduos de papel kraft de sacos de cimento – foram obtidos a partir de sacos de cimento utilizados no Laboratório.
- Resíduos de couro – foram conseguidos em curtumes na cidade de Campina Grande.
- Resíduos de EPS – foi obtido a partir da Trituração de pedaços de EPS em moinho de facas.
- Aditivos para gesso – foram utilizados aditivos plastificantes e retardadores de pega, ambos desenvolvidos por alunos de pós-graduação na UFPB. Um dos produtos já foi patenteado e o segundo está em vias de patenteamento. O primeiro originário da planta EUPHORBIA TIRUCALLI conhecidas popularmente como Aveloz (Nogueira, 2012). O segundo oriundo do desfibramento das folhas de sisa (Roriz, 2016).
- Água - obtida do sistema de abastecimento da UFPB.

Na figura 7 tem-se uma visão dos materiais

Figura 7 – Materiais utilizados na pesquisa



### 3.2 – Métodos

Alguns dos materiais que foram usados nos compósitos de gesso já se encontravam no estado em que podiam ser aplicados diretamente nas misturas, como é o caso do pó de EVA e resíduo de couro.

Os resíduos de papel comum, papel kraft e de EPS tiveram que passar por um processo de preparação antes de serem lançados nas matrizes de gesso.

#### 3.2.1 – Obtenção da polpa de papel kraft

Os sacos de cimento foram coletados no próprio LABEME triturados no triturador de papel do laboratório. Depois de triturados foram pesados os percentuais de papel que seriam colocados no material e, em seguida, imersos em água por 72 horas para absorção de água. Depois de absorvida a água a polpa foi preparada no liquidificador industrial do laboratório conforme a figura 8.

Figura 8 – Processo de obtenção da polpa de papel kraft.



### 3.2.2 – Obtenção da polpa de papel comum

Semelhantemente ao papel kraft o resíduo foi triturado no triturador de papel do laboratório. Depois ele foi pesado com os percentuais de papel que seriam colocados no material e, em seguida, imersos em água por 72 horas para absorção de água. Depois a polpa foi preparada no liquidificador industrial conforme a figura 9 abaixo.

Figura 9 – Processo de obtenção da polpa de papel comum.



### **3.2.3 – Trituração do EPS**

O EPS foi adquirido em forma de folha de 25 mm de espessura e triturado no moinho de facas do LABEME para uma partícula de 5,5 mm de diâmetro conforme a figura 10. Depois esse mesmo EPS foi adicionado ao gesso junto com o aditivo. A figura 17 abaixo mostra o processo de trituração do EPS.

Figura 10 – Processo de trituração do EPS.



### **3.2.4 Obtenção dos compósitos**

O gesso tem um rápido tempo de endurecimento e isto dificulta a moldagem de peças de forma diferentes das placas convencionais disponíveis no mercado.

A resistência do gesso endurecido aumenta à medida que se reduz a quantidade de água na mistura. Tendo isto em conta foram utilizados dois aditivos que têm a função de aumentar os tempos de pega do gesso e também diminuir a quantidade de água.

Na proporção dos compósitos inicialmente colocava-se a água em uma bacia e esta era misturada com os resíduos. Sobre essa mistura lançava-se o gesso e procedia-se a uma homogeneização dos materiais.

Os resíduos absorvem água, daí a relação água/gesso utilizada ter sido 0,56, apesar de em outros trabalhos já se ter utilizado  $a/g=0,40$ . O teor de aditivo foi sempre 2,5% em relação à massa de gesso.

A tabela 4 indica a porcentagem de resíduo em relação à massa de gesso utilizada na pesquisa.

Tabela 4 - Porcentagem de resíduo em relação à massa de gesso

Material	Percentual Utilizado
Pó de EVA	5%
Pó de EVA	10%
Pó de EVA	15%
Papel Comum	6 %
Papel Comum	7%
Papel Comum	8%
Papel Kraft	6%
Papel Kraft	7%
Papel Kraft	8%
Resíduo de Couro	1%
Resíduo de Couro	2%
Resíduo de Couro	4%
EPS	2%
EPS	3%
EPS	4%

### 3.2.5 – Ensaios físicos

Foram feitos os ensaios físicos de tempo de pega e densidade seca na utilização do aditivo à base de aveloz e densidade úmida e seca no caso da utilização do aditivo à base de sisal para verificação da porosidade do material.

#### – Tempo de Pega

Os tempos de pega de cada um dos compostos foram determinados conforme especificação da NBR 12128/91 com a utilização do aparelho de Vicat. A figura 11 abaixo mostra o aparelho utilizado.

Figura 11 – Aparelho de Vicat.



### **– Densidade**

Na determinação da densidade foi utilizada a norma UNE-EN 1097-6:2001. Imediatamente após desmoldagem, pesam-se os corpos de prova e eles são medidos. Dividindo-se o peso pelo volume tem-se a densidade úmida.

Já a densidade seca é obtida do mesmo modo, agora com o peso do corpo de prova após estabilidade de massa.

### **3.2.6 Ensaios mecânicos**

#### **– Resistência à flexão**

O ensaio de resistência à flexão foi realizado após a secagem dos compósitos, o que se dava após cerca de 14 dias após moldados. Esse ensaio obedeceu à norma NBR 13279 (Figura 12)

Figura 12 – Ensaio de resistência à Flexão.



#### **– Resistência à compressão**

Para obtenção da resistência à compressão foram utilizados corpos de prova prismáticos obtidos do ensaio de flexão. Esse ensaio obedeceu à norma NBR 13279 e pode ser visto na figura 13.

Figura 13 – Ensaio de resistência à compressão.



### **– Módulo de elasticidade e velocidade de propagação de onda ultrassônica**

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado no aparelho Punditproceq que é um instrumento de ensaio flexível desenvolvido basicamente para ser operado em laboratórios. Esse aparelho mede dentre outras coisas a velocidade de propagação de onda ultrassônica através do material e a partir dele obtém-se seu módulo de elasticidade. O usuário, primeiramente, posiciona o corpo de prova nos sensores, depois entra com alguns dados como massa específica e tamanho do corpo de prova. O aparelho possui uma tela touchscreen com interface do usuário intuitiva para a melhor medição e análise possíveis dos dados medidos. A figura 14 abaixo mostra o aparelho e o corpo de prova posicionado de forma correta.

Figura 14 – Aparelho de medição de velocidade de propagação de onda ultra-sônica



### **– Ensaios térmicos**

#### **– Condutibilidade térmica**

O ensaio de condutibilidade térmica foi realizado no aparelho Isomet 2114 que possui duas sondas que medem a condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) [  $\text{W m}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$  ], difusividade térmica ( $a$ ) [  $\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$  ] e capacidade térmica ( $cp$ ) [  $\text{J m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$  ]. Na figura 15 vê-se o aparelho. O ensaio foi realizado em placas de 30 mm x 300 mm x 300 mm conforme exige a norma ABNT NBR 15220-5.

Figura 15 – Aparelho Isomet 2114.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No que se segue, apresentam-se os resultados obtidos com os diferentes tipos de compósitos, cada um com três teores diferentes e resíduos, assim como, para a matriz. Convém lembrar que foi utilizada uma relação água/gesso de 0,56 e 2,5% de aditivo em relação à matriz de gesso e foram obtidos os dados indicados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros obtidos na pesquisa

Tempo de pega
Densidade seca e densidade úmida
Módulo de elasticidade
Velocidade de propagação de onda ultrassônica
Condutibilidade térmica
Resistência à flexão
Resistência à compressão

### 4.1 – Tempo de Pega

A tabela 6 indica os tempos de pega da matriz e dos compósitos com aditivo sintético de aveloz. No geral, a adição de resíduos retarda o tempo de início de pega em relação à matriz.

Tabela 6 - Tempo de pega com aditivo sintético de aveloz.

Material	Tempo de pega (minutos)	
	Início	Fim
Matriz	9	42
Pó de EVA 5%	12	48
Pó de EVA 10%	11	48
Pó de EVA 15%	9	44
Papel Comum 6 %	14	48
Papel Comum 7%	15	49
Papel Comum 8%	15	49
Papel Kraft 6%	13	48
Papel Kraft 7%	13	48
Papel Kraft 8%	14	49
Resíduo de Couro 1%	11	46
Resíduo de Couro 2%	11	44
Resíduo de Couro 4%	10	42
EPS 2%	12	48
EPS 3%	11	47
EPS 4%	10	46

A tabela 7 mostra o tempo de pega da matriz e dos compósitos com aditivo natural de sisal. Nota-se o que já foi verificado com aditivo de aveloz: os resíduos incorporados na matriz aumentam os tempos de início e fim de pega.

**Tabela 7 - Tempo de pega com aditivo natural de sisal.**

Material	Tempo de pega (minutos)	
	Início	Fim
Matriz	9	42
Pó de EVA 5%	12	49
Pó de EVA 10%	11	48
Pó de EVA 15%	10	45
Papel Comum 6 %	15	50
Papel Comum 7%	16	50
Papel Comum 8%	16	50
Papel Kraft 6%	14	49
Papel Kraft 7%	14	49
Papel Kraft 8%	15	50
Resíduo de Couro 1%	12	46
Resíduo de Couro 2%	12	45
Resíduo de Couro 4%	11	43
EPS 2%	13	49
EPS 3%	12	48
EPS 4%	11	47

#### 4.2 – Densidade Seca e Úmida

As tabelas 8 a 11 indicam os resultados das densidades úmidas e secas obtidas com os diferentes compósitos e com os dois aditivos empregados. Note-se que há uma notável redução da densidade seca dos compósitos em comparação com a matriz. Com exceção dos resíduos de EVA, todos os demais conduziram a compósitos mais leves que a água. Os resíduos tem densidade menor que o gesso endurecido, daí produzirem esse efeito. Além disso, é comum na zona de transição matriz-resíduo, ficarem retidas minúsculas bolhas de ar que também contribuem para tornar os compósitos mais leves.

É pequena a influência dos dois aditivos utilizados no trabalho.

Tabela 8 – Densidade úmida dos compósitos com aditivo sintético de aveloz

Material	Densidade úmida (g/cm <sup>3</sup> )
Matriz	1,84
Pó de EVA 5%	1,50
Pó de EVA 10%	1,43
Pó de EVA 15%	1,48
Papel Comum 6 %	1,24
Papel Comum 7%	1,17
Papel Comum 8%	1,08
Papel Kraft 6%	1,04
Papel Kraft 7%	0,91
Papel Kraft 8%	0,73
Resíduo de Couro 1%	1,15
Resíduo de Couro 2%	1,18
Resíduo de Couro 4%	1,14
EPS 2%	1,06
EPS 3%	1,03
EPS 4%	1,02

Tabela 9 – Densidade seca dos compósitos com aditivo sintético de aveloz

Material	Densidade seca (g/cm <sup>3</sup> )
Matriz	1,42
Pó de EVA 5%	1,17
Pó de EVA 10%	1,12
Pó de EVA 15%	1,13
Papel Comum 6 %	0,90
Papel Comum 7%	0,87
Papel Comum 8%	0,82
Papel Kraft 6%	0,89
Papel Kraft 7%	0,76
Papel Kraft 8%	0,64
Resíduo de Couro 1%	0,93
Resíduo de Couro 2%	0,97
Resíduo de Couro 4%	0,92
EPS 2%	0,90
EPS 3%	0,87
EPS 4%	0,83

Tabela 10 – Densidade úmida dos compósitos com aditivo sintético de sisal

Material	Densidade úmida (g/cm <sup>3</sup> )
Matriz	1,78
Pó de EVA 5%	1,50
Pó de EVA 10%	1,43
Pó de EVA 15%	1,48
Papel Comum 6 %	1,24
Papel Comum 7%	1,17
Papel Comum 8%	1,08
Papel Kraft 6%	1,04
Papel Kraft 7%	0,91
Papel Kraft 8%	0,73
Resíduo de Couro 1%	1,15
Resíduo de Couro 2%	1,18
Resíduo de Couro 4%	1,14
EPS 2%	1,06
EPS 3%	1,03
EPS 4%	1,02

Tabela 11 – Densidade seca dos compósitos com aditivo sintético de sisal

Material	Densidade seca (g/cm <sup>3</sup> )
Matriz	1,36
Pó de EVA 5%	1,17
Pó de EVA 10%	1,09
Pó de EVA 15%	1,14
Papel Comum 6 %	0,87
Papel Comum 7%	0,84
Papel Comum 8%	0,78
Papel Kraft 6%	0,86
Papel Kraft 7%	0,79
Papel Kraft 8%	0,88
Resíduo de Couro 1%	0,92
Resíduo de Couro 2%	0,89
Resíduo de Couro 4%	0,90
EPS 2%	0,90
EPS 3%	0,83
EPS 4%	0,79

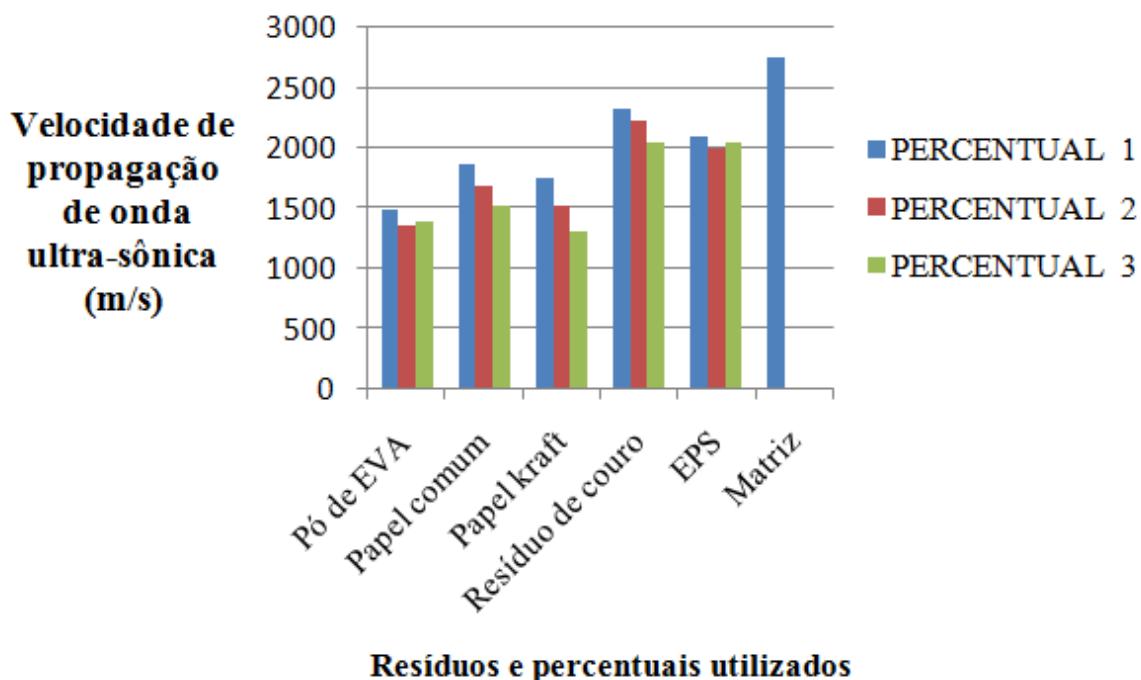
#### 4.3 – Velocidade de Propagação de Onda com aditivo de Aveloz

A velocidade de propagação de onda ultra-sônica foi verificada na matriz e nos compósitos com o aparelho PunditProceq Ultrassom, na freqüência de 54 kHz. A figura 16 mostra que as ondas se propagam mais rapidamente na matriz que nos compósitos. Isto era de se esperar, pois as densidades desses últimos são inferiores, indicando maior porosidade.

Com pó de EVA, a velocidade de propagação foi a mais baixa, apesar de sua densidade seca não ter sido a de menor valor. Isso pode ser justificado pela forma das partículas e sua dispersão na massa de gesso.

Os resíduos de couro conduziram a maior velocidade provavelmente porque entram em menor quantidade na matriz que o EVA e as ondas conseguirem um caminho com menos impedimentos através da matriz.

Figura 16 - Velocidade de Propagação de Onda com aditivo de Aveloz



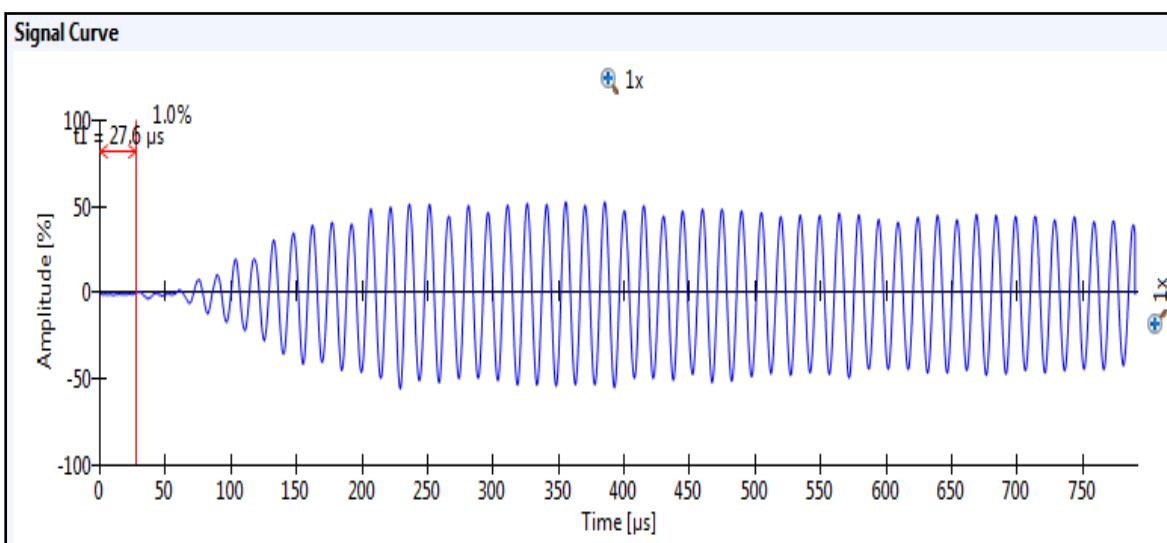
A tabela 12 apresenta os resultados das velocidades em m/s de passagem da onda através dos corpos de prova prismáticos. Percebe-se que os compósitos com EPS e couro foram os que apresentaram os maiores valores.

Tabela 12 – Velocidade de propagação de onda ultra-sônica com aditivo de Aveloz

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA ULTRASSÔNICA (m/s)	PERCENTUAL 1	PERCENTUAL 2	PERCENTUAL 3
PÓ DE EVA	1486	1366	1401
PAPEL COMUM	1864	1690	1522
PAPEL KRAFT	1752	1528	1304
RESÍDUO DE COURO	2332	2222	2051
EPS	2100	2005	2057
MATRIZ	2759		

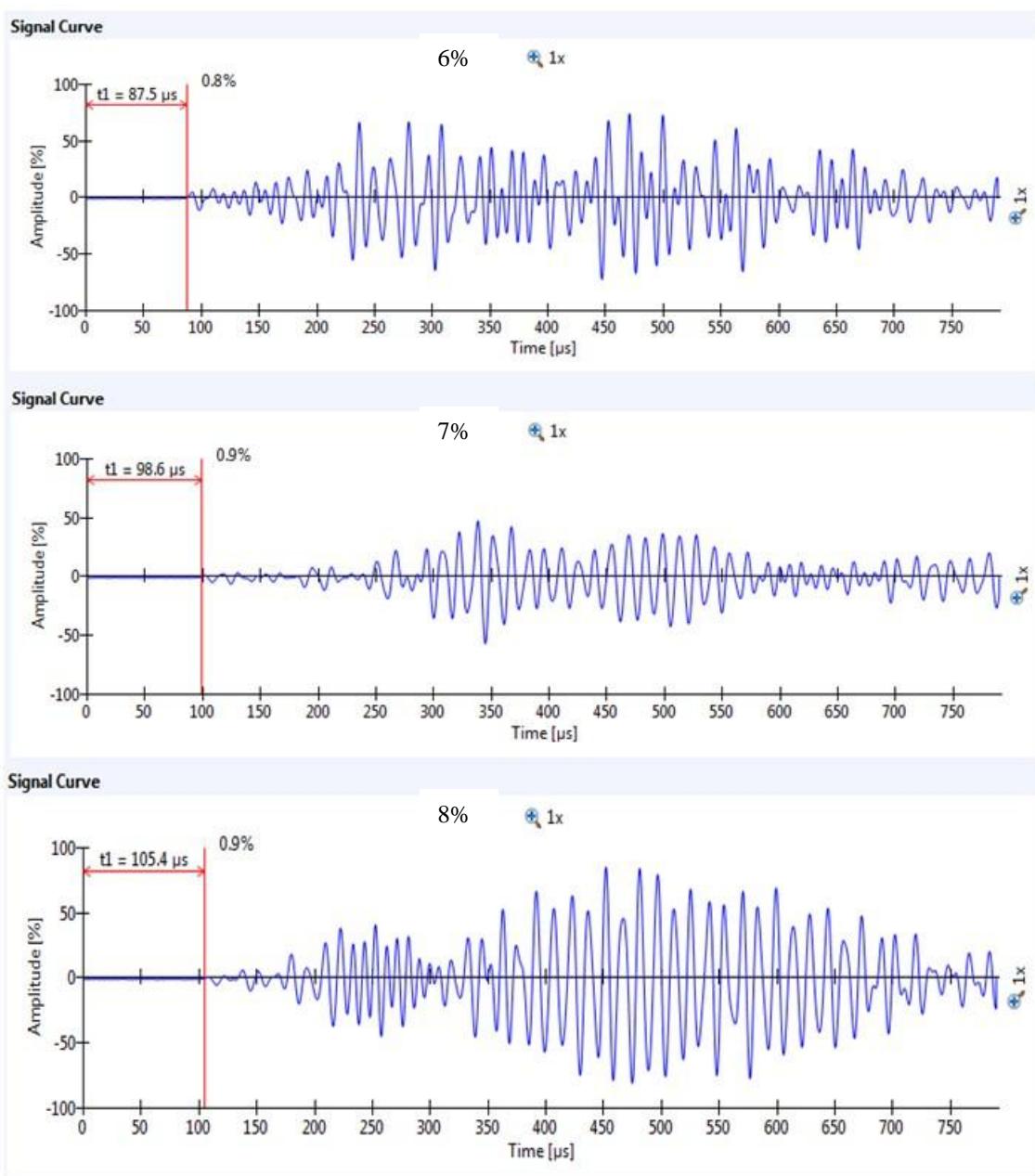
O aparelho Pundit, além dos valores do módulo de elasticidade e velocidade de propagação de onda ultra-sônica gera um gráfico mostrando o comportamento da onda. A partir dos resultados da velocidade de propagação de onda ultra-sônica foram selecionados os alguns percentuais dos compósitos para moldar as placas de 30x30x3 cm<sup>3</sup> para o ensaio de condutibilidade térmica, com base no resultado das velocidades de propagação de onda ultra-sônica. A figura 17 e seguintes mostram a resposta obtida pelo aparelho. O valor inicial indicado pelas setas vermelhas corresponde ao tempo de trânsito da onda através do corpo de prova. Em seguida tem-se a amplitude das ondas em tempos superiores aos de iniciais.

Figura 17 - Comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica na matriz



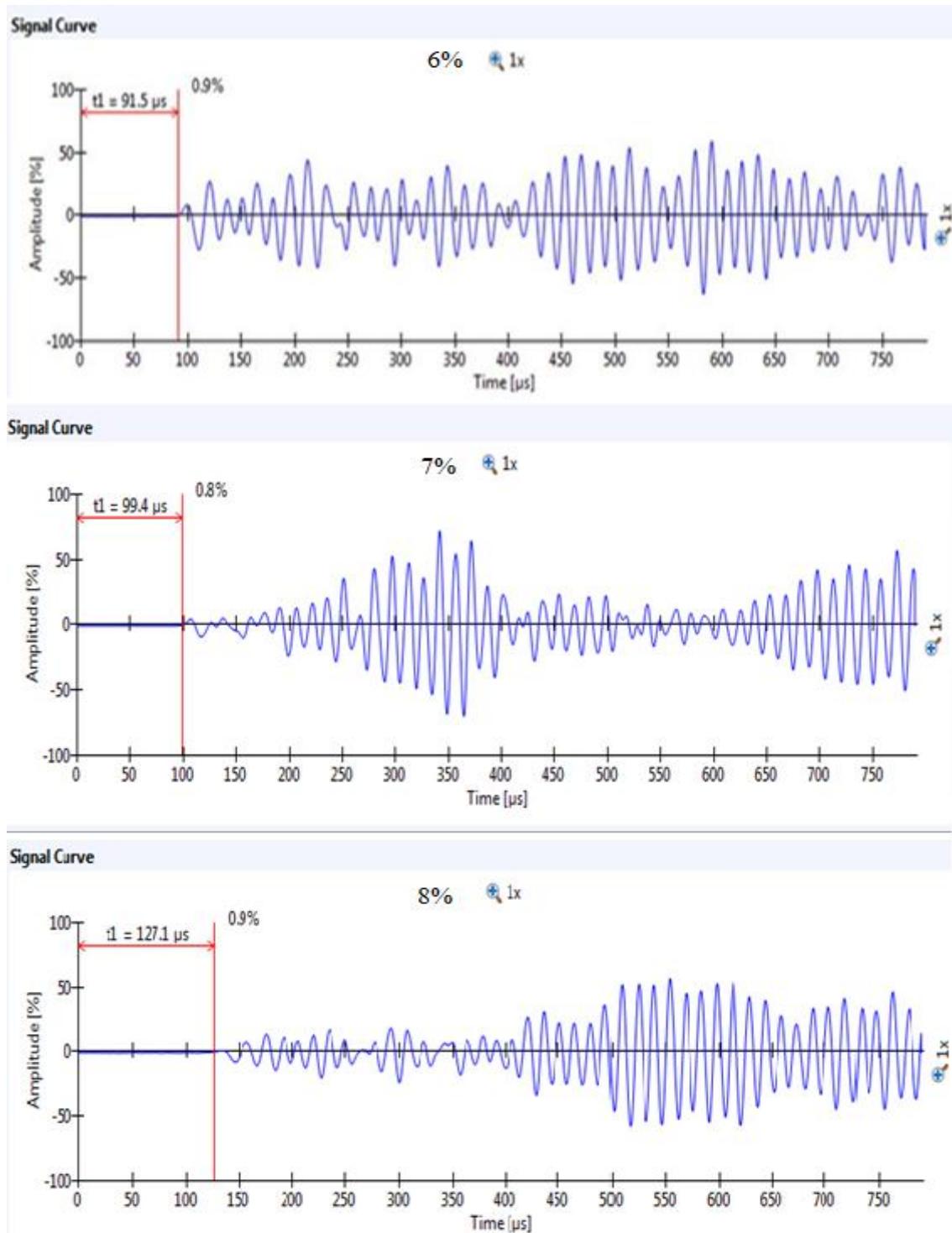
No caso da matriz (figura 17) o gráfico mostra um comportamento uniforme das ondas, uma vez que, o material é mais homogêneo. Nos demais compósitos, as respostas são bem diferentes, com indicam as figuras 18 em diante. Diferentemente do caso anterior, a amplitude das ondas que atravessam os corpos de prova com diferentes tempos têm amplitude bem variável. Isto se deve à presença dos resíduos que perturbam o caminho percorrido pelas ondas.

Figura 18 - Comportamento da velocidade de propagação de ultra-sônica no compósito com teor de 6%, 7% e 8% de papel comum, respectivamente.



Com o papel kraft, também se verificou o mesmo fenômeno do caso anterior, com o tempo de trânsito aumentando com o teor de resíduos. As irregularidades dos perfis de ondas obtidos são significativas.

Figura 19 - Comportamento das velocidades de ondas ultra-sônicas para o teor de 6%, 7% e 8% de papel kraft, respectivamente



As figuras 20 a 22 apresentam os perfis obtidos para os demais compósitos.

Figura 20 - Comportamento das velocidades de propagação de ondas ultra-sônicas para os percentuais de 2%, 3% e 4% de EPS.

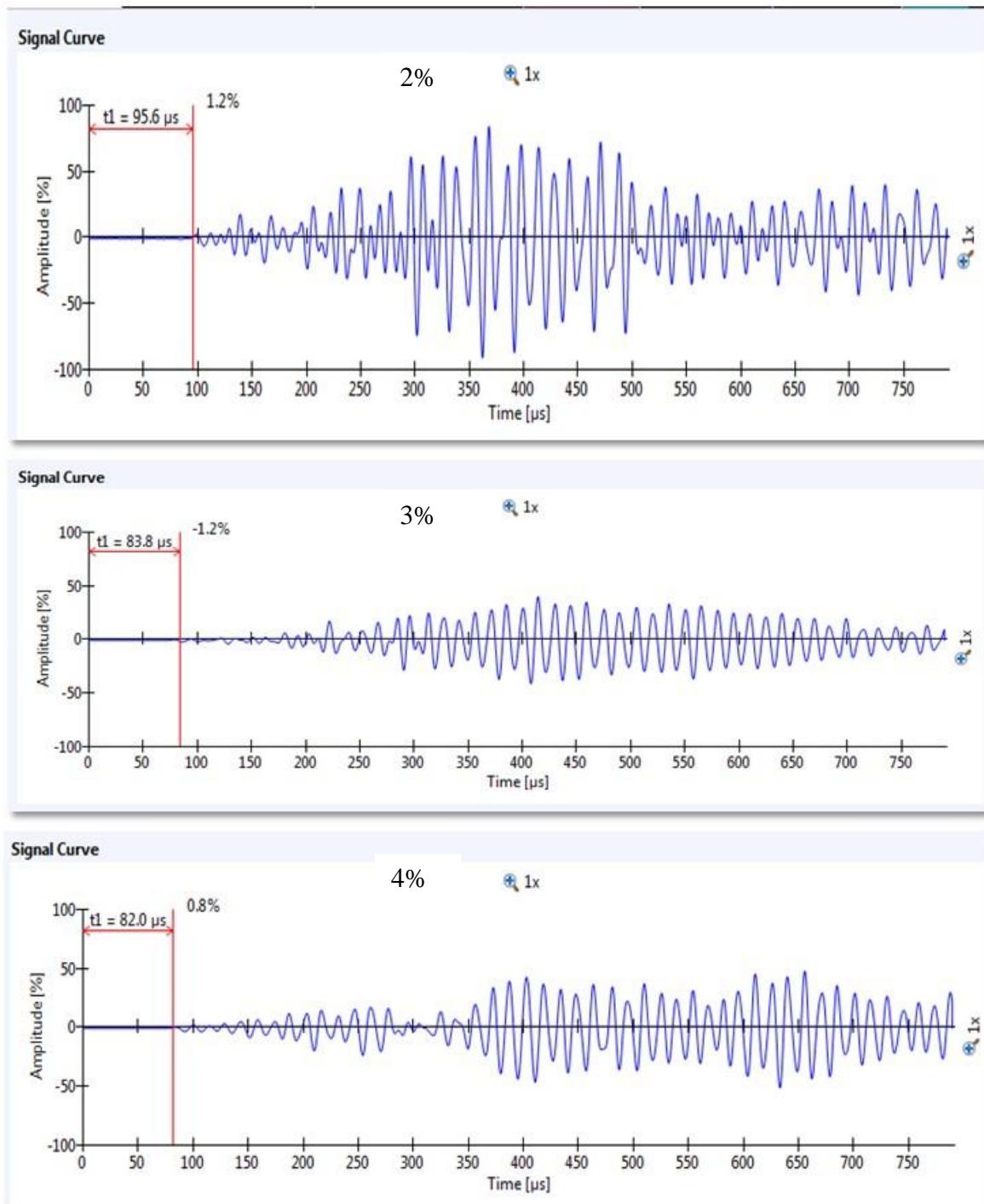


Figura 21 – Comportamento das velocidades de propagação de onda ultra-sônica do Pó de EVA para os teores de 5%, 10% e 15% respectivamente.

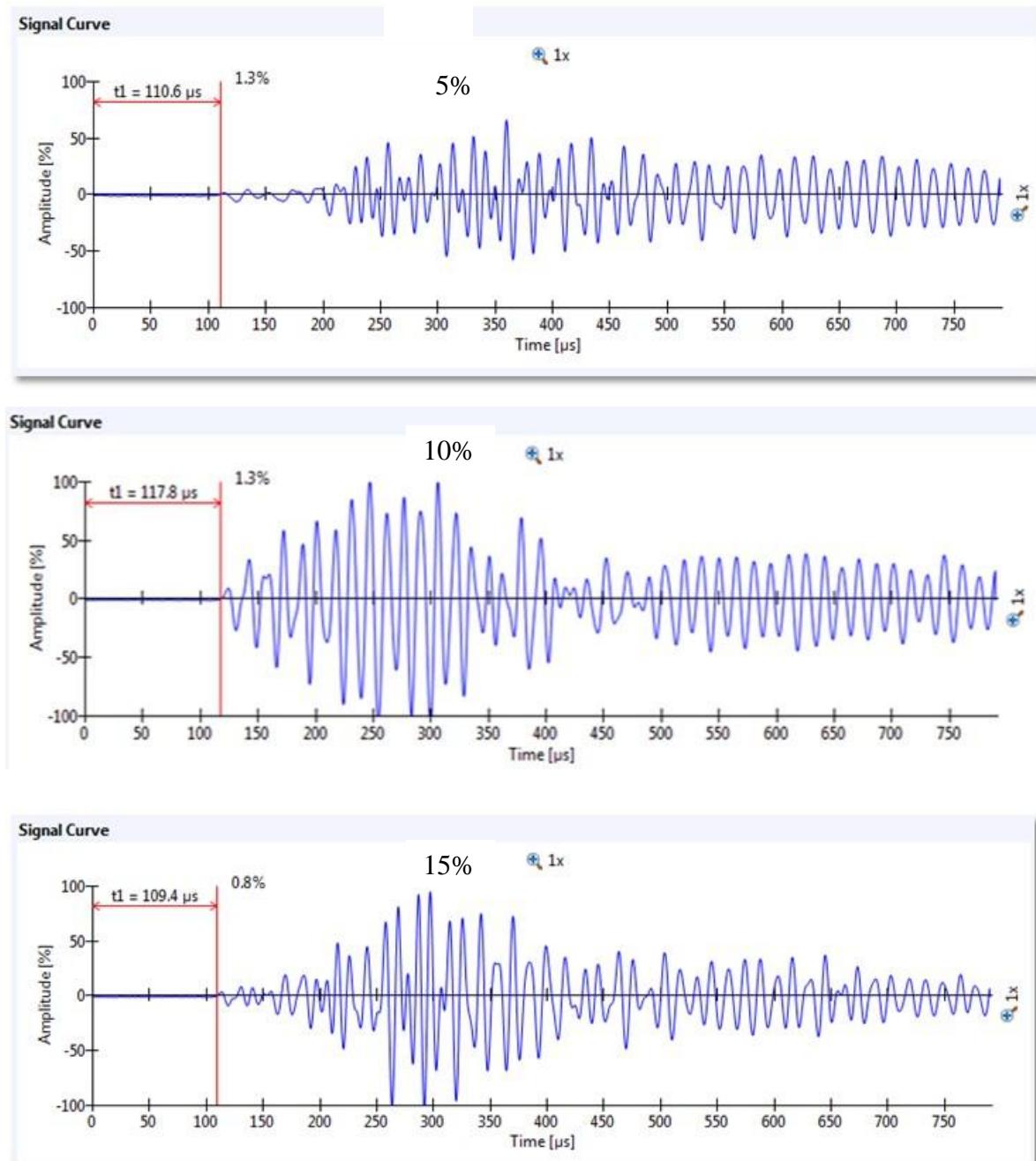
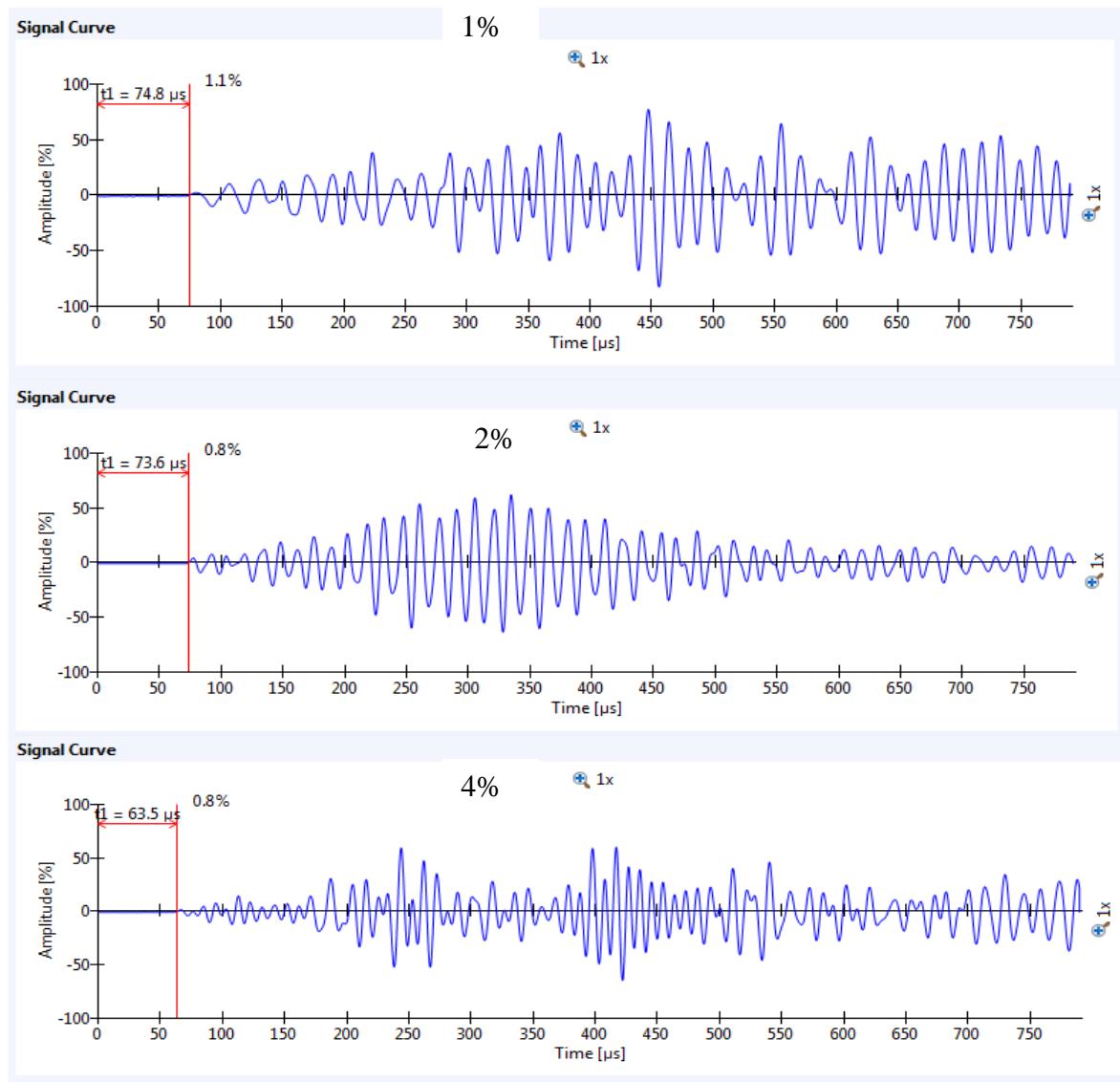


Figura 22 - Comportamento das velocidades de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 1%, 2% e 4% de resíduo de couro.



#### 4.4 – Velocidade de Propagação de Onda com aditivo de sisal

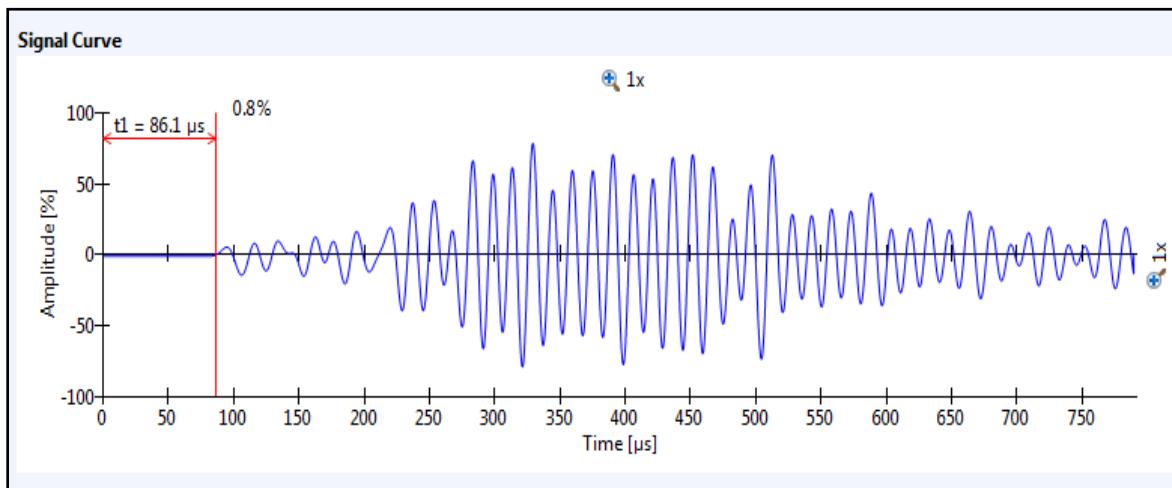
Foram selecionados os melhores resultados com aditivo de aveloz e moldados novos corpos de prova com o aditivo de sisal por falta do outro aditivo. A tabela 13 abaixo mostra os resultados das velocidades de propagação de onda.

Tabela 13 – Velocidade de propagação de onda ultra-sônica com aditivo de sisal

VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDA (m/s)	PERCENTUAL 1	PERCENTUAL 2	PERCENTUAL 3
EPS	1832		
RESÍDUO DE COURO			1934
PAPEL COMUM	1789		
PAPEL KRAFT	2236		
PÓ DE EVA	1163	1234	1271
MATRIZ	2776		

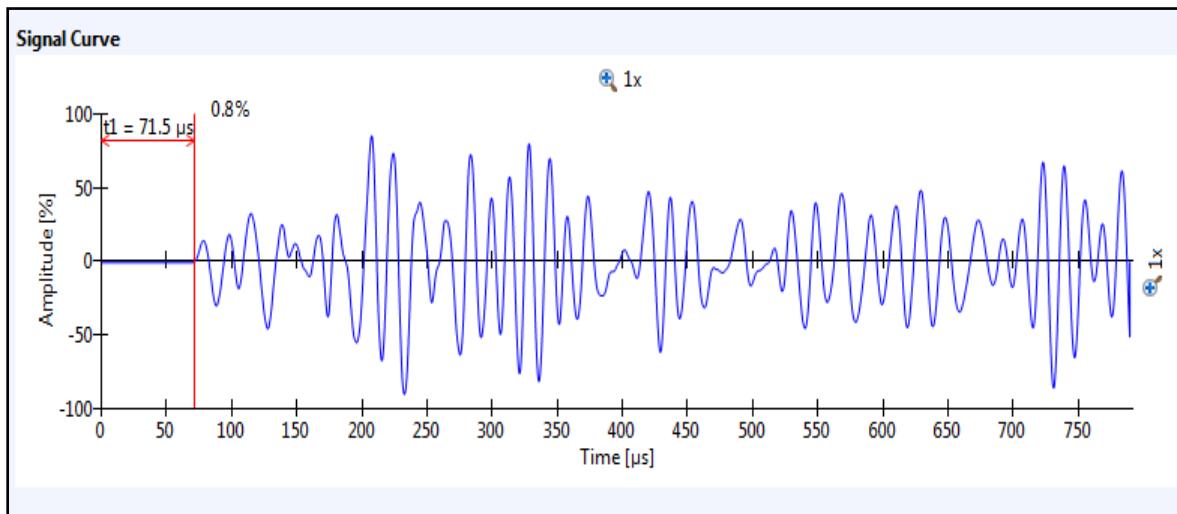
Os resultados da tabela 14 mostram que houve uma alteração no comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica com a mudança de aditivo. No compósito de EPS com o percentual 1 a velocidade de propagação de onda ultra-sônica diminuiu, isto também ocorreu com o compósito de couro, papel comum, pó de EVA, então isto significa que possivelmente a condutibilidade térmica irá ser melhor com o aditivo de sisal. No caso do papel comum a velocidade de propagação de onda ultra-sônica aumentou muito pouco.

Figura 23 - Comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 6% de papel comum.



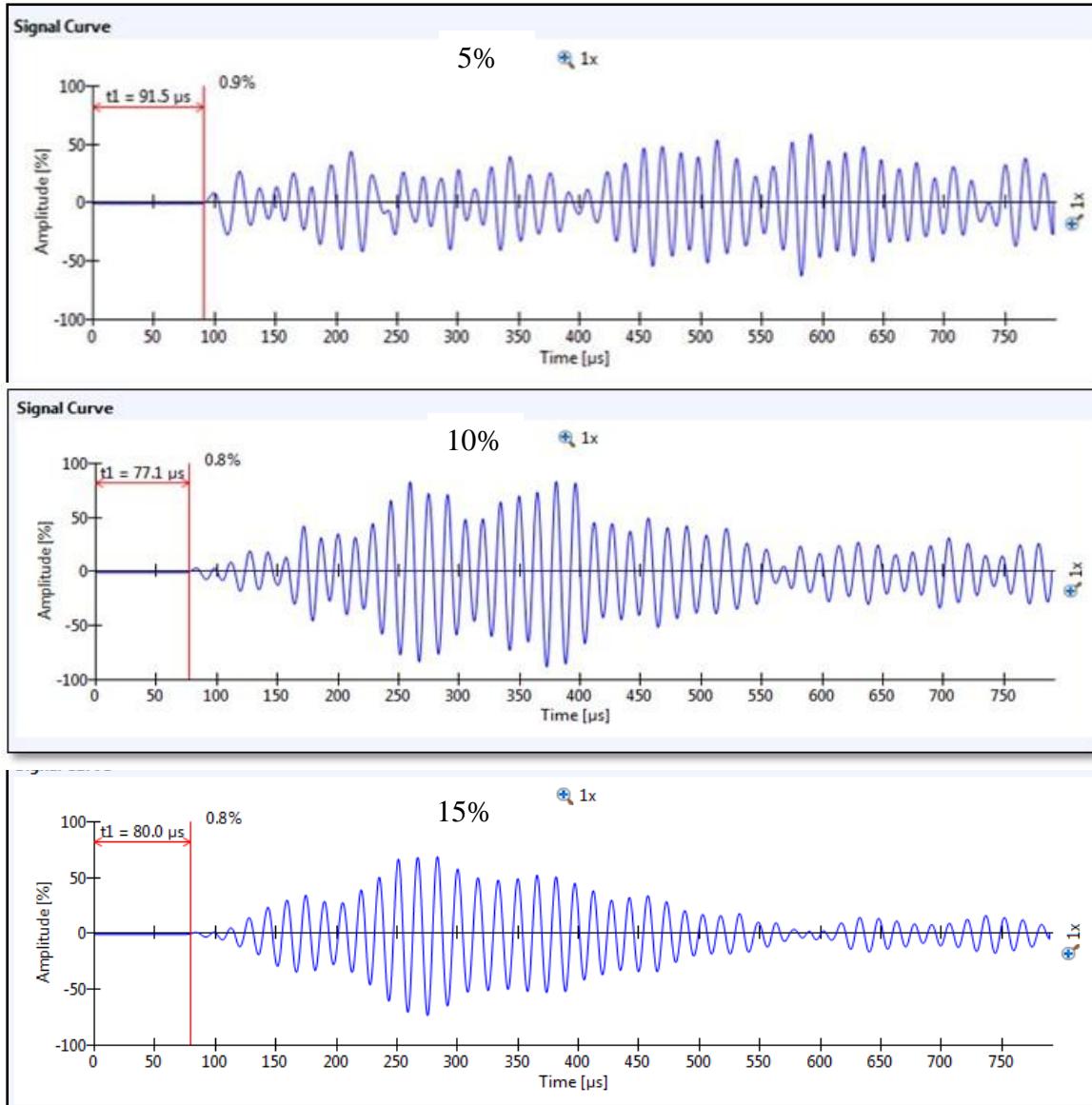
Comparando essa figura com o percentual 1 de papel comum com aditivo de aveloz, percebe-se que a amplitude da onda foi maior com o aditivo de sisal o que pode conferir melhor condutibilidade térmica ao compósito.

Figura 24 - Comportamento da velocidade de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 6% de papel kraft.



Comparando essa figura com o percentual 1 de papel kraft com aditivo de aveloz, percebe-se que a amplitude da onda foi maior com o aditivo de sisal o que pode conferir melhor condutibilidade térmica ao compósito.

Figura 25 - Comportamento das velocidades de propagação de onda ultra-sônica para o teor de 5%, 10% e 15% de EVA.



A figura 25 mostra que a maior amplitude de onda foi obtida com o percentual de 10% de EVA. Percebe-se também a não uniformidade para o percentual de 15% e que o percentual de 5% foi mais uniforme e com a menor amplitude de onda.

#### 4.5 – Módulo de Elasticidade com aditivo de Aveloz

O módulo de elasticidade dinâmico de um material pode ser obtido à partir da velocidade de propagação do pulso ultra-sônico, a partir da equação:

$$E\alpha = \rho V^2 \frac{(1+v)(1-2v)}{(1-v)} \text{ MPa}$$

Com  $\rho$  ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ) sendo a massa específica do material

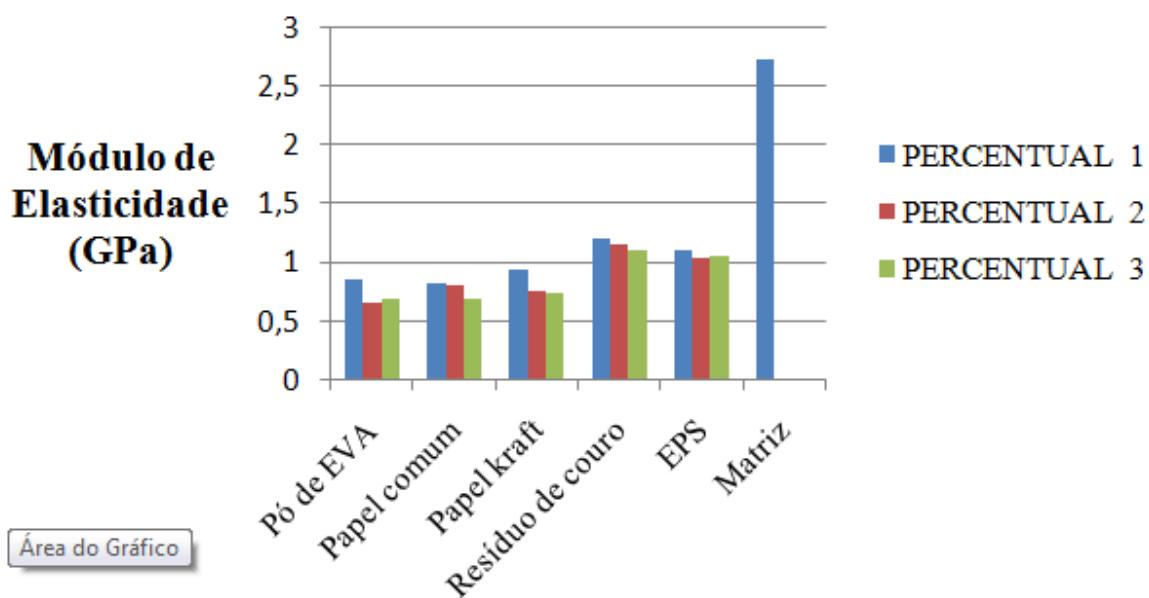
V (m/s) – velocidade de propagação de onda ultra-sônica do material

v – coeficiente de Poisson

Foi admitido  $v = 0,2$

A figura 26 e a tabela 14 apresentam os resultados do módulo de elasticidade para os diversos compósitos. Percebe-se que os resíduos de EPS e da indústria calçadista são os que apresentaram maiores valores, enquanto os resíduos de pó de EVA, papel comum e papel kraft apresentaram os valores mais baixos. Logo, os compósitos que incorporam EPS e resíduo de couro são mais rígidos que os demais. Note-se que em relação à matriz a diminuição do módulo de elasticidade é considerável. Nos compósitos ela corresponde a menos de metade, o que indica maior capacidade de deformação.

Figura 26 - Módulo de elasticidade com aditivo de aveloz



Resíduos e percentuais utilizados

Tabela 14 – Módulo de elasticidade com aditivo de aveloz em GPa

Compósito	Percentual de Resíduo		
	P1	P2	P3
Pó de EVA	0,84	0,65	0,68
Papel Comum	0,82	0,79	0,68
Papel Kraft	0,93	0,75	0,73
Resíduo de couro	1,20	1,15	1,10
EPS	1,1	1,02	1,05
Matriz	2,72		

#### 4.6 – Módulo de Elasticidade com aditivo de Sisal

Para o aditivo de sisal foram escolhidos os compósitos que foram considerados melhores em relação aos ensaios feitos com o aditivo de aveloz. A figura 27 e a tabela 15 indicam os resultados do ensaio de módulo de elasticidade obtidos. Com o uso do aditivo de sisal o maior módulo de elasticidade foi o do compósito com de papel kraft no percentual de 6% , chegando a 1,32 GPa, seguido daquele com pó de EVA 5% com 1,16 GPa. O material que apresentou menor módulo de elasticidade foi o com EPS 3% ,com 0,99 GPa. Portanto com a mudança de aditivo houve uma mudança no comportamento do material em relação ao módulo de elasticidade. Note-se que o valor obtido para a matriz de gesso, caiu consideravelmente, de 2,7 GPa para 1,6 GPa. Isto provavelmente se deve ao fato de o aditivo de sisal ter no seu interior minúsculas partículas das folhas do vegetal, ao passo que o aditivo de aveloz foi filtrado e tem álcool em sua composição.

Figura 27 - Resultado do ensaio de módulo de elasticidade com aditivo de sisal

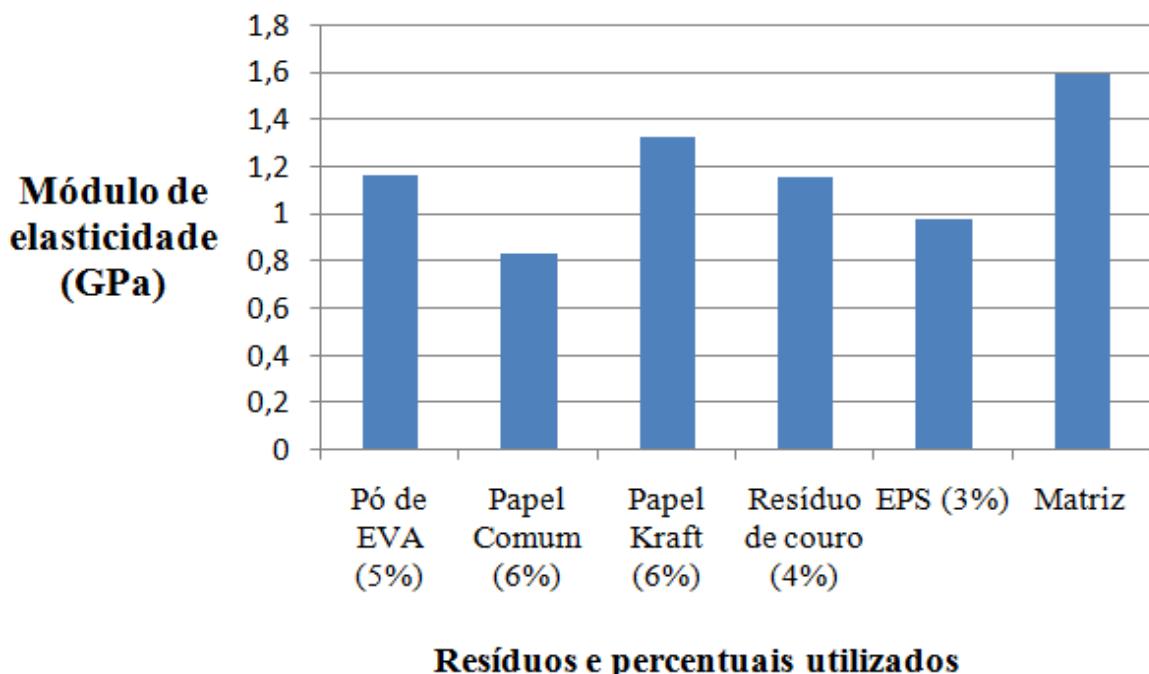


Tabela 15 – Ensaio de módulo de elasticidade com aditivo de sisal

Resíduos	Módulo de Elasticidade (GPa)
Pó de EVA (5%)	1,16
Papel Comum (6%)	0,83
Papel Kraft (6%)	1,32
Resíduo da Indústria Calçadista com (4%)	1,15
EPS (3%)	0,97
Matriz	1,59

#### 4.7 – Condutibilidade Térmica

A tabela 16 apresenta os resultados do ensaio de condutibilidade térmica com o uso do aditivo de sisal para os percentuais escolhidos, obtidos com o aditivo de aveloz.

Tabela 16 – Condutibilidade Térmica da matriz e dos compósitos com aditivo de sisal

Amostra	Espessura [mm]	Condutividade [k] = W/(m °K)		
		Percentual 1	Percentual 2	Percentual 3
EPS	30 mm	0,235		
Resíduo de couro	30 mm			0,250
Papel Comum	30 mm	0,242		
Papel Kraft	30 mm	0,228		
Pó de EVA	30 mm	0,238	0,229	0,215
Matriz	30 mm		0,335	

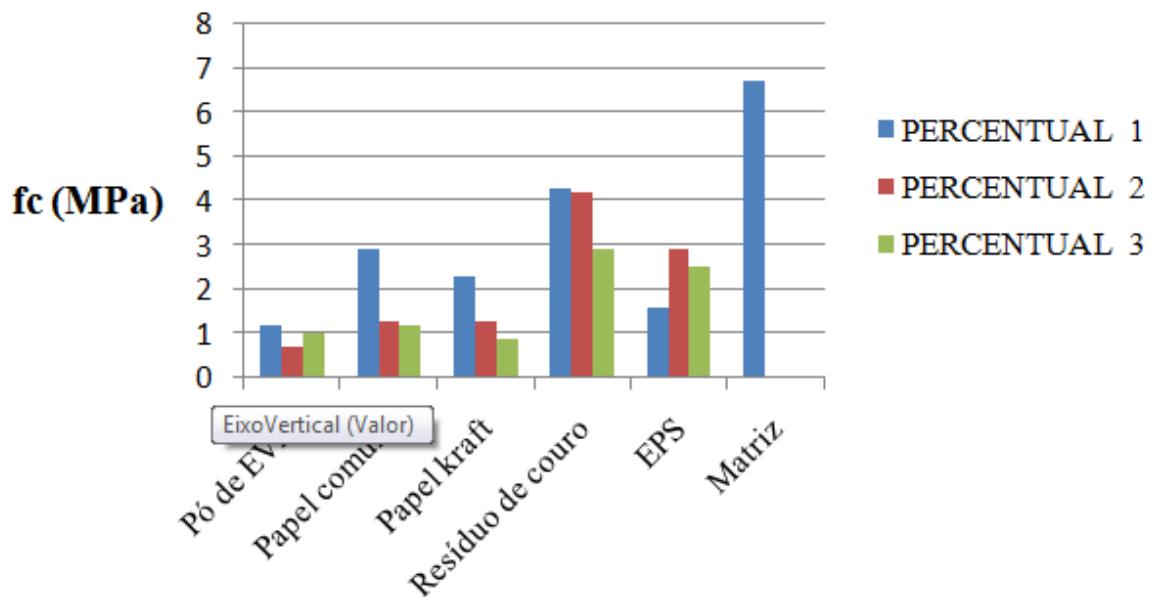
Os resultados mostram que o acréscimo de resíduo melhora a condutibilidade térmica do material. E o compósito com resíduo de EVA foi o que apresentou menor condutibilidade térmica. No percentual 3, a condutibilidade é apenas 64% daquela da matriz. Os compósitos formados com resíduo de couro conduziram ao maior valor, porém mesmo assim, não passa de 75 % do valor obtido para a matriz de gesso. Os resultados também mostram que quem apresentou melhor condutibilidade térmica, apresentou também a menor velocidade de propagação de onda ultra-sônica.

Noronha (2014) obteve resultados semelhantes para matriz achou 0,333 W/(m °K) e na mistura de gesso polpa oriunda de papel kraft achou 0,254 W/(m °K) e na mistura gesso fibra de bananeira achou 0,445 W/(m °K).

#### 4.8 – Resistência à compressão com aditivo de aveloz

A figura 28 e a tabela 17 mostram os resultados em números do ensaio de resistência à compressão. Observa-se que os resíduos de EPS e da indústria calçadista são os que apresentaram maiores valores. Percebe-se também que entre os materiais formados com pó de EVA, papel comum e papel kraft, o pó de EVA apresentou os menores valores de resistência à compressão. Além disso, percebe-se que quanto mais resíduo se acrescenta no compósito mais a resistência à compressão vai caindo na maioria dos casos.

Figura 28 - Resultado do ensaio de resistência à compressão da matriz e dos compósitos com aditivo de aveloz.



### Resíduos e Percentuais Utilizados

Tabela 17 – Resistência à compressão com aditivo de aveloz

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (fc)	P1	P2	P3
PÓ DE EVA	1,2	0,7	1
PAPEL COMUM	2,9	1,3	1,2
PAPEL KRAFT	2,3	1,3	0,9
RESÍDUO DE COURO	4,3	4,2	2,9
EPS	1,6	2,9	2,5
MATRIZ		6,7	

Na tabela 17 pode-se perceber que os compósitos de couro e EPS apresentaram a maior resistência à compressão com o uso do aditivo de aveloz. Os compósitos formados com papel comum, papel kraft e pó de EVA são os que apresentaram menor resistência à flexão.

#### 4.9 – Resistência à compressão com aditivo de sisal

Foram selecionados os melhores percentuais dos compósitos com aditivo de aveloz e feito o ensaio de resistência com aditivo de sisal. Pode-se perceber que houve uma alteração em relação ao comportamento da resistência com a mudança de aditivo. Os compósitos formados com pó de EVA e o papel kraft foram os materiais mais resistentes. Já os compósitos formados com EPS e resíduo de couro perderam em resistência. O compósito formado com papel comum também ganhou em resistência, ou seja, com a mudança de aditivo houve uma alteração no comportamento do material em relação à resistência. A figura 29 e a tabela 18 apresentam esses resultados.

Figura 29 - Resultado do ensaio de resistência à compressão da matriz e dos compósitos com aditivo de sisal

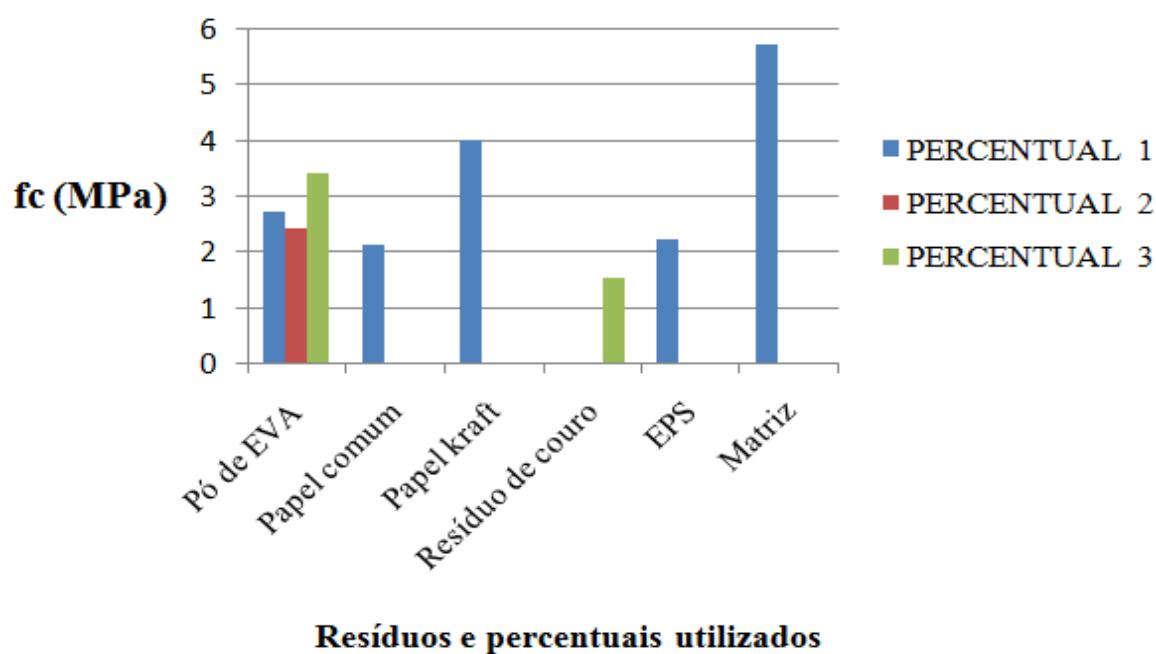


Tabela 18 – Resistência à compressão em números

RESISTÊNCIA À FLEXÃO (fc)	Percentual 1	Percentual 2	Percentual 3
PÓ DE EVA	2,7	2,4	3,4
PAPEL COMUM	2,1		
PAPEL KRAFT	4		
RESÍDUO DE COURO			1,5
EPS	2,2		
MATRIZ		5,7	

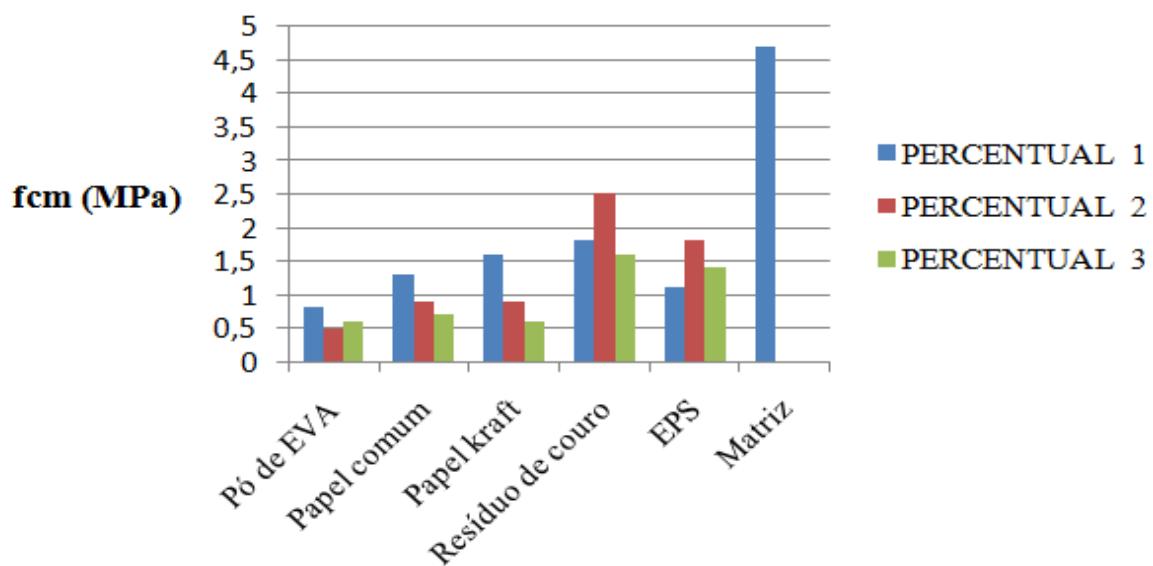
Na tabela 18 pode-se perceber a inversão na resistência à compressão com o uso do aditivo de sisal. Os compósitos de couro e EPS foram os que apresentaram menores valores de resistência à compressão, já os compósitos formados com papel comum, papel kraft e pó de EVA são os que apresentaram melhor condutibilidade térmica.

Noronha (2014) obteve uma resistência de 5,2 MPa para o sistema formado com 8% de polpa e neste trabalho utilizando 6% de polpa chegou-se a resistência de 4 MPa com uma relação água/gesso de 0,56.

#### **4.10 – Resistência à flexão com aditivo de aveloz**

A figura 30 mostra os resultados do ensaio de resistência à flexão. Observa-se que os resíduos de EPS, da indústria calçadista e papel kraft são os que apresentaram maiores valores. Percebe-se também que os materiais formados com pó de EVA e papel comum são os que apresentaram os menores valores de resistência à flexão. Além disso, nota-se que quanto mais resíduo se acrescenta no compósito mais a resistência à flexão vai caindo na maioria dos casos, com exceção dos resíduos de EPS e couro que a resistência aumentou do percentual 1 para o percentual 2 e depois diminuiu com o percentual 3.

Figura 30 - Resultado do ensaio de resistência à flexão da matriz e dos compósitos com aditivo de aveloz



#### **Resíduos e percentuais utilizados**

A tabela 19 abaixo mostra o valor da resistência à flexão com aditivo de aveloz em números.

Tabela 19 – Resistência à flexão com aditivo de aveloz em MPa

Compósito	Percentual 1	Percentual 2	Percentual 3
PÓ DE EVA	0,8	0,5	0,6
PAPEL COMUM	1,3	0,9	0,7
PAPEL KRAFT	1,6	0,9	0,6
RESÍDUO DE COURO	1,8	2,5	1,6
EPS	1,1	1,8	1,4
MATRIZ		4,7	

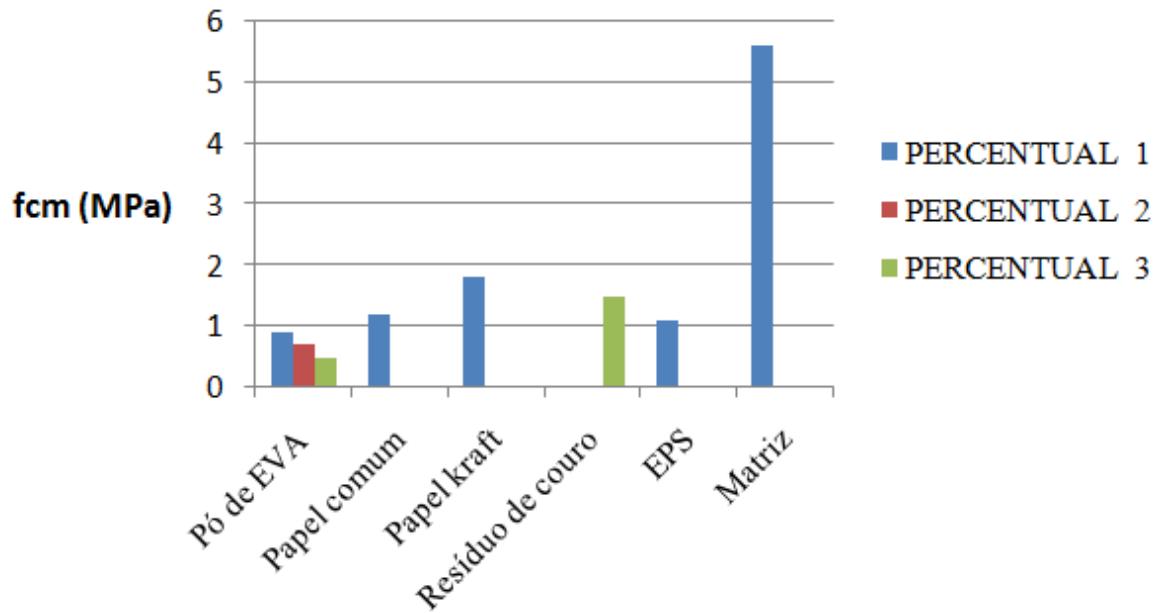
Na tabela 19 pode-se perceber que os compósitos de couro e EPS foram os que apresentaram maiores valores de resistência à flexão, já os compósitos formados com papel comum, papel kraft e pó de EVA são os que apresentaram menores valores de resistência à flexão.

Noronha (2014) obteve uma resistência de 3,62 MPa com uma relação água/gesso de 0,5 com a utilização de 8% de polpa. Já Ribeiro (2006) para uma relação água/gesso de 0,75 os valores superaram 3 MPa, sem aditivo. Os valores não ficaram próximos com o uso do aditivo de aveloz só ficaram próximos com o uso do aditivo de sisal quando o compósito com papel kraft com 6% de polpa chegou a 4 MPa com relação água/gesso de 0,56.

#### **4.11 – Resistência à flexão com aditivo de sisal**

A resistência à flexão dos compósitos com o aditivo de sisal está indicada na Figura 31 e tabela 20.

Figura 31 - Resultado do ensaio de resistência à flexão da matriz e dos compósitos com aditivo de sisal



### **Resíduos e percentuais utilizados**

Tabela 20 – Resistência à flexão com aditivo de sisal em MPa

Compósito	Percentual 1	Percentual 2	Percentual 3
PÓ DE EVA	0,9	0,7	0,5
PAPEL COMUM	1,2		
PAPEL KRAFT	1,8		
RESÍDUO DE COURO			1,5
EPS	1,1		
MATRIZ		5,6	

Na tabela 20 pode-se perceber a resistência à flexão com o uso do aditivo de sisal. Os compósitos de couro e papel kraft foram os que apresentaram maiores valores de resistência à flexão, já os compósitos formados com papel comum, papel kraft e pó de EVA são os que apresentaram menores valores de resistência à flexão.

#### **4.12 Resumo das propriedades dos compósitos**

A tabela 21 apresenta um resumo das propriedades dos compósitos gerados com o aditivo de sisal. Na última linha tem-se as propriedades da matriz. Todos os compósitos

têm densidade bem menores que a matriz e a condutividade térmica também. As resistências à compressão e flexão, por sua vez, são penalizadas.

Tabela 21 – Propriedades dos compósitos gerados com o aditivo de aveloz

		Densidade Percentual	Densidade úmida	Densidade seca	Inicio de pega (min)	Veloc. Prop Ultrassom (m/s)	Módulo de elasticidade (Gpa)	Condutibilidade térmica (W/(mºK))	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
Pó EVA	1	1,84	1,42	1,42	9	1486	0,84	–	1,2	0,8
	2	1,5	1,17	1,17	12	1366	0,65	–	0,7	0,5
	3	1,43	1,12	1,12	11	1401	0,68	–	1	0,6
Papel comum	1	1,48	1,13	1,13	9	1864	0,82	–	2,9	1,3
	2	1,24	0,9	0,9	14	1690	0,79	–	1,3	0,9
	3	1,17	0,87	0,87	15	1522	0,68	–	1,2	0,7
Papel kraft	1	1,08	0,82	0,82	15	1752	0,93	–	2,3	1,6
	2	1,04	0,89	0,89	13	1528	0,75	–	1,3	0,9
	3	0,91	0,76	0,76	13	1304	0,73	–	0,9	0,6
Resíduo de couro	1	0,73	0,64	0,64	14	2332	1,2	–	4,3	1,8
	2	1,15	0,93	0,93	11	2222	1,15	–	4,2	2,5
	3	1,18	0,97	0,97	11	2051	1,1	–	2,9	1,6
EPS	1	1,14	0,92	0,92	10	2100	1,1	–	1,6	1,1
	2	1,06	0,9	0,9	12	2005	1,02	–	2,9	1,8
	3	1,03	0,87	0,87	11	2057	1,05	–	2,5	1,4
Matriz	–	1,02	0,83	0,83	10	2759	2,72	–	6,7	4,7

Tabela 22 – Propriedades dos compósitos gerados com o aditivo de sisal

		Densidade Percentual	Densidade úmida	Densidade seca	Ínicio de pega (min)	Veloc. Prop. Ultrassom (m/s)	Módulo de elasticidade (GPa)	Condutibilidade térmica (W/(mºK))	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à flexão (MPa)
Pó EVA	1	1,50	1,17	1,17	12	1163	1,16	0,238	2,7	0,9
	2	1,43	1,09	1,09	11	1234	-	0,229	2,4	0,7
	3	1,48	1,14	1,14	10	1271	-	0,215	3,4	0,5
Papel comum	1	1,24	0,87	0,87	15	1789	0,83	0,242	2,1	1,2
	2	1,17	0,84	0,84	16	-	-	-	-	-
	3	1,08	0,78	0,78	16	-	-	-	-	-
Papel Kraft	1	1,04	0,86	0,86	14	2236	1,32	0,228	4	1,8
	2	0,91	0,79	0,79	14	-	-	-	-	-
	3	0,73	0,88	0,88	15	-	-	-	-	-
Resíduo de couro	1	1,15	0,92	0,92	12	-	-	-	-	-
	2	1,18	0,89	0,89	12	-	-	-	-	-
	3	1,14	0,9	0,9	11	1934	1,15	0,250	1,5	1,1
EPS	1	1,06	0,9	0,9	13	1832	0,97	0,235	2,2	1,1
	2	1,03	0,83	0,83	12	-	-	-	-	-
	3	1,02	0,79	0,79	11	-	-	-	-	-
Matriz	-	1,78	1,36	1,36	-	2776	1,59	0,335	5,7	5,6

#### **4.13 – Moldagem de placas de grandes dimensões de 1,2 x 0,50 m**

Para verificar possibilidade de aplicação dos compósitos foi escolhido aquele com pó de EVA na percentagem de 10%. Foi então desenvolvido um sistema de forma para execução de uma placa de 120 cm de comprimento, por 50 cm de largura. As bordas foram enrijecidas em virtude do vão. Esse vão permite a amarração, através de arame nas proximidades da extremidade da placa, nos caibros pré-moldados de galpões pré-moldados.

Na figura 32 pode ser vista a forma, na figura 33 tem-se fases de execução da placa e na figura 34 a placa depois de desmoldada.

Figura 32 – Forma para placa



Figura 33 – Placa formada de forma perfeita com compósito de EVA



Figura 34 – Placa desmoldada



A moldagem ocorreu sem maiores dificuldades mostrando a aplicabilidade dos compósitos.

Essa placa pode ser aplicada em galpões industriais recobertos com telhas de fibrocimento, pendurada nas peças que suportam as telhas, normalmente afastadas de 120 cm.

Também, com pequenas adaptações, podem servir para se fazer paredes divisórias de boas propriedades térmicas.

No caso de coberta com telhas onduladas mais estreitas, como por exemplo as de 50 cm x 213 cm e 50cm x 244cm, muito usadas em habitações populares, poderiam ser feitas placas planas de 1,5 cm ou 2 cm de altura, para serem aplicadas sob as telhas (Figura 35) e cortarem o fluxo de calor. O vão seria de no máximo um metro, valor requerido para o apoio das telhas, e todos os compósitos atenderiam à resistência à flexão com certa margem de segurança.

Figura 35 – Aplicação da placa



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram apresentadas as propriedades de compósitos de matriz de gesso incorporando cinco resíduos. Com base nessas propriedades pode-se pensar em gerar diversos elementos construtivos.

O gesso é um material disponível na Região Nordeste do Brasil e pode ter diversificado o seu emprego. Para tanto, é conveniente reduzir a quantidade de água comumente empregada na indústria de blocos e de placas de forro convencionais. Por isso foram empregados dois aditivos que aumentam a plasticidade do gesso permitindo trabalhar-se com menos água, e com maior tempo de pega. Esses aditivos desenvolvidos na UFPB mereciam ser testados e pode-se notar que aquele produzido a partir do sisal, pelo arquiteto César Ruiz, apresentou melhor desempenho, em geral.

A incorporação de resíduos na matriz de gesso permite uma redução na densidade do material e redução na condutibilidade térmica. Por outro lado, ela penaliza as resistências à compressão e à flexão. No entanto, aqui a propriedade que se quer enfatizar é a de diminuição da condutividade, o que foi conseguido.

Foram feitos ensaios de propagação de onda ultra-sônica, e os perfis das ondas obtidas mostram claramente que a presença dos resíduos incorporados na matriz de gesso modificam seu caminhamento. A partir desses ensaios, pode-se obter o módulo de elasticidade dos diferentes compósitos, que são menores que o da matriz.

Os compósitos que apresentaram a menor velocidade de propagação de onda ultrassônica também apresentaram a menor condutibilidade térmica que no caso foram os compósitos formados com pó de EVA, papel comum e papel Kraft com o uso do aditivo de sisal.

Com exceção do compósito formado com EPS com aditivo de aveloz a maioria dos compósitos com sisal teve um melhor módulo de elasticidade, ou seja, o uso do aditivo de sisal melhorou o módulo de elasticidade do material.

Os materiais que apresentaram o maior módulo de elasticidade com aditivo de aveloz foram os compósitos formados com EPS e resíduo de couro e os com menor módulo de elasticidade foram os de papel comum, papel kraft e pó de EVA. Com o uso do aditivo de sisal o resultado do módulo de elasticidade inverteu- se e os compósitos formados com papel comum, papel kraft e pó de EVA foram os que apresentaram maior módulo de elasticidade, ou seja, o uso do aditivo de sisal melhorou essa propriedade nesses materiais.

A velocidade de propagação de onda ultrassônica também foi menor com o uso do aditivo de sisal. As maiores velocidades de propagação de onda ultrassônica foram dos compósitos formados com EPS e resíduo de couro com o uso do aditivo de aveloz e as menores foram do papel comum, papel kraft e pó de EVA. Com o uso do aditivo de sisal a velocidade de propagação de onda ultrassônica diminuiu um pouco, comparando os mesmos percentuais usados dos resíduos na fase de reforço.

Com relação à resistência, os compósitos com o uso do aditivo de aveloz que apresentaram melhor resistência foram os formados com EPS e o resíduos de couro. Já os que apresentaram menor resistência foram os compósitos formados com papel comum, papel Kraft e pó de EVA. Com o uso do aditivo de sisal para alguns percentuais utilizados com o aditivo de aveloz houve uma mudança significativa em relação à resistência, principalmente, na resistência à flexão onde os compósitos formados com papel comum, papel Kraft e pó de EVA apresentaram os melhores resultados chegando a superar os compósitos formados com EPS e resíduo de couro.

Em relação à condutibilidade térmica o material que apresentou a melhor desempenho foi o formado com o pó de EVA seguidos do papel kraft e do papel comum. No caso do pó de EVA observou-se que quanto mais resíduo é adicionado ao material mais a condutibilidade térmica do material melhora (diminui).

Os compósitos estudados se prestam a serem moldados facilmente e produzirem placas e outros elementos construtivos com baixa condutividade térmica.

## **5.1 – Recomendações para Pesquisas Futuras**

Com base nos estudos aqui desenvolvidos, recomenda-se:

- i) melhorar o sistema de mistura utilizando diversas relações água/gesso, uma vez que, como eram cinco tipos de resíduos e cada um com três percentuais diferentes só foi utilizada uma relação água/gesso.
- ii) tentar misturar alguns resíduos utilizados formando um material com mais de um resíduo na fase de reforço.
- iii) incorporar nos compósitos fibras como de coco, bananeira e sisal para melhorar resistência à tração e à flexão.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABER, S.; SALARI D.; PARSA, M.R. **Employing the Taguchi method to obtain the optimum conditions of coagulation-flocculation process in tannery wastewater treatment.** Chemical Engineering Journal 162 (2010) 127–134.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da Madeira, Celulose e Papel EM Pinus taeda L.: Influência da Idade e Classe de Produtividade.** 2006. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná – UFPA. Curitiba.

ANGULO, S. C.; ZORDAN, S.E.; JOHN, V. M., “**Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**”. In: IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações. CT206 - IBRACON. São Paulo - SP. 2001.

ARAUJO, N. N. **Desempenho de Argamassas de Revestimento Produzidas com Agregados Reciclados Oriundos do Resíduo de Construção e Demolição da Grande Natal-RN.** 2014. 130 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ASSIS, E. S, et al. **Habitação Social e Eficiência Energética: um Protótipo para o Clima de Belo Horizonte.** Anais do II Congresso Brasileiro de Eficiência Energética, Vitória, Espírito Santo, 2007. Anais ... Espírito Santo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR15575-1:**Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos- Desempenho- Parte1:** requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1/2005: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições símbolos e unidades. 2005.

BALTAR, C.A.M.; BASTOS, F. F.; LUZ, A. B. Rochas e Minerais industriais: usos e especificações. Centro de Tecnologia Mineral-CETEM. 2005.

BARBOSA, N. P.; GHAVAMI, K. . Earth Construction and Sustainability. Key Engineering Materials **JCR**, v. 1, p. 5, 2015.

BRASIL. *Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981.* Dispõe sobre os antecedentes históricos, princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos, penalidades e generalidades sobre o Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, e dá outras providências.

BERNHOEFT, L. F.; GUSMÃO, A. D.; TAVARES, Y. V. P. Influência da adição de resíduo de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno. **Ambiente Construído.** Porto alegre, v. 11, n.2, p. 189-199, abr/jun. 2011.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do Desempenho Térmico de Sistema construtivo de Concreto com EPS Como Agregado Graúdo.** 2003. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Rio Grande do Norte.

BNDES e CGEE. **Bioetanol de Cana-de-Açúcar – Energia para o desenvolvimento sustentável.** Editora eletrônica Abreu, s System. Rio de Janeiro, 2008.

BORGES, C. A. M.; SABATTINI, F. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2008.

CAMÕES, A. et al. Caracterização de Materiais Compósitos à Base de Gesso FGD. **Mecânica Experimental.** Minho, v.20, n.1, p. 79-88, jan./mar., 2012.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente (2002). **Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002.** Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. Publicada no Diário Oficial da União em 17/07/2002.

COSTA, F.; GARCIAS, P. M. **Concentração de Mercado e Desempenho das Indústrias Brasileiras de Papel de Celulose – Recorrendo à Modelagem de Fleuriot para Analisar o Paradigma ECD.** Revista de Contabilidade e Organizações, v. 3, n. 6, p. 143 – 163, maio/ago. 2009.

CUNHA, P. W. S. et al. Propriedades Termofísicas de Compósito de Matriz de Gesso e Fibra Vegetal. **Holos.** Rio Grande do Norte, v. 1, n.2, p. 127-137, 2013.

DIAS, E. C. M. **Gerenciamento de resíduos na construção civil.** 2007. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo.

DENYER, D.; TRANFIELD, T. Producing a systematic review. In: BUCHANAN, D.A.; DRYMAN, A (Eds.). **The Sage Handbook of Organizational Research Methods.** Sage: London, 2009, p. 671-689.

FAGUNDES, Sônia Cunha. **Resíduos de gesso: alteração na legislação e destinação alternativa como fonte de macronutrientes em fertilizantes.** Unilasalle: 2012. 59 p

FRONTCZAK, M.; WARGOCKI. **Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor Environments.** BuildingandEnvironment, v.46, p. 932-937, 2010.

GEUS, L. M.; GARCIAS, C. M.; **Gestão de Resíduos de Construção em Edificações de Grande Porte na Cidade de Ponta Grossa.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v.6, n. 2, ago/2014.

GOMES, R. C. C.; SILVA. A. B.; SILVA. V. P. **Política Habitacional e Urbanização no Brasil.** Revista Electrónica de Geografía e CienciasSociales, vol.3, n. 146(083), ago/2003.

INVIDIATA, A.; LIBRELOTTO, L.; GUTHS, S. **Impacto ambiental no Ciclo de Vida do alumínio na construção civil.** In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2, 2014, Maceió. Anais ... São Paulo: ANTAC, 2014.

**JOÃO PESSOA. Lei no 11.176, 10 de outubro de 2007.** Institui o Sistema de gestão Sustentável de Resíduos da Construção Civil e Demolição e o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e Demolição.

**JUNIOR, J. S. B. Reciclagem de Papel.** 2006. 35f. Monografia (Especialização). Fundação de Ensino Superior de Olinda – FUNESO. Pernambuco.

**LASSO, P. R. O. et al.** Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Minas Gerais, v.37, p. 1659-1668, 2013.

**MACEDO, M. C. et al.** Materiais Compósitos à Base de Gesso e Isopor para Construção de Casas Populares. Holos. Rio Grande do Norte, v. 5, n.2, p. 95-105, set./dez., 2011.

**MAGALHÃES, A. C. T.; ALMEIDA, J. G.** O uso da multilagem de cacto em pastas de gesso: efeitos na absorção de água e na resistência à flexão. **Ambiente Construído.** São Paulo, v.10, n.1, p.139-151, jan/mar 2010.

**MOTA, R. C. S. Análise de Viabilidade Técnica de Utilização da Fibra de Bananeira com Resina Sintética em Compósitos.** 2010. 108 f. Dissertação (Mestrado em engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

**MORAES, O. B.; SANTANA, M. J. A. Tecnologia, habitação e desenvolvimento sustentável.** III ENECS -ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003. Anais ... São Carlos, 2003.

**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.** 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Paraíba.

**NORONHA, L. L. Elementos Construtivos de Proteção Térmica à Base de Gesso e Resíduos Agroindustriais.** 2014. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Paraíba.

**OLIVEIRA, C. E. A. et al.** Análise da Tensão Normal à Compressão de Argamassa de Gesso Reforçada com Resíduo de Baru - In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA. São Pedro, 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Flavio\\_Damasceno/publication/283453333\\_ANALISE\\_DA\\_TENSAO\\_NORMAL\\_A\\_COMPRESSAO\\_DE\\_ARGAMASSA\\_DE\\_GESSO\\_REFORCADA\\_COM\\_RESIDUO\\_DE\\_BARU/links/5643335008ae54697fb2cc14.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Flavio_Damasceno/publication/283453333_ANALISE_DA_TENSAO_NORMAL_A_COMPRESSAO_DE_ARGAMASSA_DE_GESSO_REFORCADA_COM_RESIDUO_DE_BARU/links/5643335008ae54697fb2cc14.pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2017.

**OLIVEIRA, M. P. et al.** Compósitos à base de gesso com resíduos de EVA e vermiculita. **Agriambi.** Campina Grande, Protocolo 044.11 – 01/04/2011 • Aprovado em 28/03/2012.

**PEREIRA, R. S. Problemática Da Habitação em Portugal.** Instituto Ciências Sociais da Universidad de Lisboa,v.1, p.33-36, 1963.

PRATES, R. M. **Metodologia para Caracterização não Invasiva do Tempo de Enrijecimento do Gesso.** 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais). Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Bahia.

RIEHL et al. **Caracterização do Resíduo de Couro e Calçado Visando a Sua Recuperação.** 5º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos - UNISINOS/RS, em junho de 2014.

RODRIGUES, C. C. **Desenvolvimento de um Sistema Construtivo Modular Com Blocos de Gesso .** 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental). Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Paraíba.

ROHDEN, A. B.; MECABÔ, R. A. Placas para Forro Produzidas com Compósito de Gesso e EPS Reciclados. **REA.** Blumenau, v.17, n. 2, p.60-73, jul./dez., 2015.

RORIZ, C –

SATTLER, M. A. O Contexto. In: SATTLER, M. A. (Org). **HABITAÇÕES DE BAIXO CUSTO MAIS SUSTENTÁVEIS: a Casa Alvorada e o Centro Experimental de Tecnologias Habitacionais Sustentáveis.** Porto Alegre: Coleção HABITARE/ FINEP, 2007. p. 13-19.

SÉKULA, P. R. **Uso de um modelo de referência para melhoria do processo de fabricação de papel kraft.** 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Paraná – UFPA. Paraná.

SILVA, I. L. A. **Propriedades e Estrutura de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas de Juta.** 2014. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciências de Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darçy Ribeiro – UENF. Rio de Janeiro.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Apresenta informações sobre a indústria do gesso. Disponível em <https://www.sindusgesso.org.br/>. Acesso em: 28 out. 2016.

TAVARES, Y. V. P. et al. Reaproveitamento do resíduo de gesso na execução de revestimento interno de vedação vertical. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v.10, n.1, p. 103 -119, jan/mar. 2010.

VOTORANTIM. **Eficiência Energética na Indústria de Celulose e Papel – Mecanismos de Incentivo à Eficiência Energética para Economia de Baixo Carbono.** Guia Técnico, 2011.