

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

ESTUDOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE  
PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM FIBRAS  
LONGAS DE MALVA

ALCINÉIA SILVA DE AGUIAR

MANAUS  
2016

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

ALCINÉIA SILVA DE AGUIAR

ESTUDOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE  
PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM FIBRAS LONGAS DE  
MALVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Materiais e Componentes de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos

MANAUS  
2016

## Ficha Catalográfica

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

A282e Aguiar, Alcineia Silva de  
Estudos das propriedades físicas e mecânicas de placas cimentícias reforçadas com fibras longas de malva / Alcineia Silva de Aguiar. 2016  
108 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Raimundo Pereira de Vasconcelos  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Resíduos cerâmicos. 2. Termogravimetria. 3. Placas cimentícias. 4. Fibra de malva. I. Vasconcelos, Raimundo Pereira de II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

ALCINÉIA SILVA DE AGUIAR

**ESTUDOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE  
PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM FIBRAS LONGAS  
DE MALVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Materiais e Componentes de Construção.

Aprovada em 23 de junho de 2016.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, Presidente.  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho, Membro.  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Holmer Savastano Júnior, Membro Externo.  
Universidade de São Paulo

*A Deus*  
*Ao meu esposo João Benevides pelo seu*  
*apoio, dedicação e companheirismo.*  
*A minha filha Ana Júlia por deixar minha*  
*vida mais doce e leve.*  
*Aos meus pais, Adolfo e Lirbânia.*  
*A minha Família.*  
*Ao meu Orientador Prof. Raimundo*  
*Vasconcelos.*

A Deus, seu fôlego de vida em mim me foi sustento e me deu coragem para questionar realidades e propor sempre um novo mundo de possibilidades e conhecimentos.

Ao professor, orientador e amigo Dr. Raimundo Pereira de Vasconcelos, pela grandiosa ajuda, incentivo, dedicação, paciência e ensinamentos que foram prestados desde o início desta jornada. Um grande ser humano, exemplo de profissional e mestre nos estudos, na pesquisa e na arte de escrever, pela imensa atenção e grande dedicação, minha eterna gratidão.

Ao meu esposo, companheiro e amigo João José Pereira Benevides, por sua capacidade de acreditar e investir em mim, seus cuidados e dedicação foi que me deram a esperança para seguir, sua presença significou sempre segurança e certeza de que sou capaz. Essa vitória é fruto do seu incentivo.

A minha filha Ana Júlia de Aguiar Benevides, que mesmo sofrendo minha ausência, iluminou de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimento.

De forma grata e grandiosa meus pais, Adolfo e Lirbânia, a quem rogo todas as noites a minha existência e vontade de crescer.

Aos meus irmãos e família, pela torcida e amizade.

A toda família “PPGEC”, que me acompanharam nesta busca de conhecimento, em especial ao prof. João de Almeida, prof<sup>a</sup>. Virginia Giaccon e amiga Beatriz Mar, pelo apoio e amizade. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram a melhor experiência da minha formação.

Aos amigos, colegas e todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

A FAPEAM pelo apoio financeiro.

A empresa Brasjuta da Amazônia S/A fiação, tecelagem e Sacarias e a empresa Miranda Correa, pela doação das fibras de malva e resíduos cerâmicos, respectivamente.

Ao professor Lineu José Pedroso, Dr. pela oportunidade de poder utilizar os laboratórios e espaço da Universidade de Brasília.

E o que dizer a todos? Valeu a pena toda ausência, todo sofrimento, todas as renúncias... valeu apenas esperar... hoje colhendo o fruto de todo empenho! Mestrado projeto familiar!

AGRADEÇO

## RESUMO

Com o objetivo de se obter vantagens técnicas, econômicas e ambientais, esta pesquisa desenvolveu um estudo da produção de placas cimentícias reforçadas com fibras longas de malva e avaliou o seu comportamento físico e mecânico. A motivação para o trabalho com esta fibra se deve a sua oferta em larga escala, baixo custo e resultados já satisfatórios em outras pesquisas, sendo estas preparadas, tratadas e caracterizadas. E para garantir a não deterioração destas fibras, fez-se o uso de resíduo cerâmico moído, em substituição de parte do cimento na matriz, produzindo uma pasta com baixo teor de hidróxido de cálcio livre, contribuindo para a proteção da fibra. Além disso, para reduzir a absorção de água e a consequente diminuição da variação dimensional da fibra, usou-se também o tratamento de hornificação e impermeabilização a base de verniz. Na produção deste compósito foi utilizado aditivo superplastificante, areia média, cimento Portland CP II 32-F e água. Com esses materiais foram produzidas placas com o uso de fôrmas acrílicas de dimensões de 40x40x1cm. Para a análise das propriedades mecânicas dessas placas foi necessário à realização dos ensaios de tração direta, flexão em quatro pontos e flexão em três pontos. Dos resultados obtidos, pode-se concluir que o compósito que apresentou os melhores resultados em termos das características físicas, por meio do ensaio de termogravimetria e caracterização das fibras, e mecânicas, por meio dos ensaios de tração e flexão, foi aquele produzido com fibras de malva hornificadas e impermeabilizadas com verniz e a substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, o qual apresentou módulo de elasticidade de 22,3 GPa, resistência à tração de 23 MPa e Módulo de ruptura de 38,6 MPa.

Palavras-chaves: Compósitos, resíduos cerâmicos, malva, tratamento e caracterização.

## ABSTRACT

In order to obtain technical, economic and environmental benefits, this research developed a study of the production of cement plates reinforced with long fibers of malva and assessed their physical and mechanical behavior. The motivation to work with this fiber is its large-scale offer, low cost and results already satisfactory in other studies, which are minutely prepared, treated and characterized. And to ensure no deterioration of these fibers made the use of ground ceramic waste, cement replacement part in the matrix, producing a paste free of free calcium hydroxide contributing to the protection of the fiber. Furthermore, to reduce water absorption and consequent reduction of the dimensional variation of the fiber, it is also used hornification treatment and sealing varnish base. In the production of this composite were used superplasticizer, medium sand, Portland cement (CP II 32-F) and water. With these plates were produced using acrylic formwork of 40x40x1cm. For the analysis of the mechanical properties, it was necessary to carry out tests of tensile stress, bending four points and three point bending. From the results, it can be concluded that the composite that showed the best results in terms of physical and mechanical characteristics was the one produced with hornificadas mallow fibers and coated with varnish and replacement of 30% of cement by ceramic waste, which showed elastic modulus 22.3 GPa, tensile strength of 23 MPa, and rupture modulus of 38.6 MPa.

Keywords: composites, ceramic waste, mallow, processing and characterization.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PRODUTOS PRODUZIDOS COM FIBRAS DE MALVA.....	20
FIGURA 2 - EXTRAÇÃO E PREPARO DAS FIBRAS, COMPREENDENDO (A) PLANTIO E EXTRAÇÃO DA MALVA, (2) PROCESSO DE MACERAÇÃO, (E) SECAGEM DAS FIBRAS MACERADAS, (D) FIBRAS ENFARDADAS.....	24
FIGURA 3 - LOTES DE MALVA.....	38
FIGURA 4 - PROCESSO DE PREPARAÇÃO DAS FIBRAS, COMPREENDENDO (A) E (B) COLETADAS NA FÁBRICA, (C) COSTURA DAS FIBRAS, (D) E (E) PROCESSO DE HORNIFICAÇÃO, (F) IMERSÃO DAS FIBRAS COM VERNIZ E (G) FIBRAS NATURAIS SEM TRATAMENTO.....	39
FIGURA 5 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DA LIGNINA, ONDE (A) AMOSTRA + (H <sub>2</sub> SO) COM 24 HORAS, (B) PROCESSO DE REFLUXO, (C) E (D) PROCESSO DE FILTRAGEM, (E) LIGNINA RETIDA NA PLACA E (F) LIGNINA OBTIDA.....	43
FIGURA 6 - PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA CELULOSE, ONDE (A) PROCESSO DE FILTRAGEM, (B) ADIÇÃO DA AMOSTRA, (C) RESULTADO OBTIDO DA CELULOSE ANTES DA ESTUFA E (D) PROCESSO FINAL, CELULOSE OBTIDA APÓS A ESTUFA.....	43
FIGURA 7 - ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA DAS FIBRAS, ONDE (A) EQUIPAMENTO SHIMADZU AGX, (B) GARRAS DO EQUIPAMENTO, (C) FIBRAS E (D) FIBRA TRACIONADA.....	45
FIGURA 8 - IMPERMEABILIZAÇÃO DAS FIBRAS, ONDE (A) VERNIZ UTILIZADO, (B) RECIPIENTE PARA IMERSÃO, (C) FIBRAS IMERSAS E (D) FIBRAS TRATADAS SECAS.....	46
FIGURA 9 - PREPARAÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO, COMPREENDENDO (A) RESÍDUO SOVADO, (B) PASSAGEM PELA MÁQUINA EXTRUSORA, (C) MOAGEM NO MOINHO DE BOLAS E (D) PENEIRAMENTO.....	47
FIGURA 10 - CARACTERIZAÇÃO DO RESÍDUO CERÂMICO.....	48
FIGURA 11 - PRODUÇÃO DAS PLACAS, ONDE (A) DISTRIBUIÇÃO DAS CAMADAS DE ARGAMASSA COM ESPÁTULA, (B) COLOCAÇÃO DAS FIBRAS SOBRE A CAMADA DE ARGAMASSA, (C) COLOCAÇÃO DA ULTIMA CAMADA DE ARGAMASSA E (D) FECHAMENTO FINAL DA FORMA.....	51
FIGURA 12 - DESFORMA DAS PLACAS, ONDE (A) PLACA APÓS 24 HORAS DE MOLDAGEM, (B) RETIRANDO AS PLACAS DA FORMA E (C) E (D) PLACAS APÓS A DESFORMA.....	51
FIGURA 13 - CORTE DAS PLACAS PARA PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS.....	52
FIGURA 14 - EQUIPAMENTO UTILIZADO NO ENSAIO TERMOGRAVIMÉTRICO.....	53
FIGURA 15 - EQUIPAMENTO EMPREGADO NO ENSAIO DE TRAÇÃO.....	54
FIGURA 16 - DISPOSITIVO PARA ENSAIO DE AMOSTRAS DAS PLACAS À TRAÇÃO DIRETA, ONDE (A) PLACA PARA ENSAIO, (B) PLACA TRACIONADA, (C) DISPOSITIVO FIXADOR, (D) GARRA DA PRENSA E (E) ALONGAMENTO DEVIDO À TRAÇÃO.....	55
FIGURA 17 - POSICIONAMENTO DA PLACA PARA O ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS.....	59
FIGURA 18 - PLACA FLETIDA DURANTE O ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS.....	59

FIGURA 19 - ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS, SENDO (A) ESQUEMA PARA REALIZAÇÃO DO ENSAIO, (B) EQUIPAMENTO DE AQUISIÇÃO DE DADOS, (C) COMPUTADORES E (D) ACESSÓRIOS COM SENSORES DE AJUSTES E CARGA.....	61
FIGURA 20 - POSICIONAMENTO DA PLANA PARA O ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS.....	61
FIGURA 21 - PLACAS NO ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS, ONDE (A) PLACA NO INÍCIO DO ENSAIO E (B) DURANTE O ENSAIO.....	62
FIGURA 22 - GRANULOMETRIA DA AREIA, COM REFERÊNCIA ÀS ZONAS ÓTIMAS E UTILIZÁVEIS PADRONIZADAS (NBR 7217:1987 E NBR 7211:2009).....	63
FIGURA 23 – CURVA TG E DTG DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TERMOGRAVIMETRIA NAS PASTAS COM 1 DIA DE HIDRATAÇÃO.....	65
FIGURA 24– CURVA TG E DTG DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TERMOGRAVIMETRIA NAS PASTAS COM 28 DIAS DE HIDRATAÇÃO.....	65
FIGURA 25 - ABSORÇÃO DA ÁGUA NO TRATAMENTO DE HORNIFICAÇÃO.....	67
FIGURA 26 - GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO DO COMPÓSITO COM MELHOR RESULTADO DIVIDIDO POR REGIÕES.....	69
FIGURA 27 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS MÉDIOS DE OLIVEIRA (2013) E DESTA PESQUISA.....	72
FIGURA 28 - GRÁFICO TENSÃO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS X DEFLEXÃO DO COMPÓSITO AHCV70 DIVIDIDO POR REGIÕES.....	78
FIGURA 29 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS DE TRAÇO A E TRAÇO B AMBOS COM FIBRAS HORNIFICADAS, QUANTO À FLEXÃO EM QUATRO PONTOS.....	82
FIGURA 30 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS DO ENSAIO FLEXÃO EM QUATRO PONTOS EM GERAL.....	84
FIGURA 31 - COMPARAÇÃO DO COMPÓSITO AHCV70 NOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM 4 E 3 PONTOS.....	86
FIGURA 32 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM QUATRO E TRÊS PONTOS.....	86

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS FIBRAS NATURAIS VEGETAIS.....	19
TABELA 2 - PROPRIEDADES FÍSICAS E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO CP II F-32.....	64
TABELA 3 - PROPRIEDADES QUÍMICAS DO RESÍDUO CERÂMICO.....	64
TABELA 4 - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA FIBRA DE MALVA.....	68
TABELA 5 – VALORES OBTIDOS NO ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA DA FIBRA DE MALVA.....	69
TABELA 6 - RESULTADOS MÉDIOS E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRAÇÃO OBTIDAS DAS CURVAS TENSÃO X DEFORMAÇÃO.....	70
TABELA 7 - COMPARAÇÃO DOS MELHORES E PIORES RESULTADOS QUANTO AO PERCENTUAL DE GANHO DOS COMPÓSITOS.....	71
TABELA 8 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA.....	73
TABELA 9 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS NAS SITUAÇÕES MENCIONADAS.....	75
TABELA 10 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS NAS SITUAÇÕES MENCIONADAS.....	76
TABELA 11 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS NAS SITUAÇÕES MENCIONADAS.....	76
TABELA 12 - RESULTADOS MÉDIOS E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS OBTIDAS DAS CURVAS TENSÃO X DEFLEXÃO PARA O COMPÓSITOS.....	79
TABELA 13 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS.....	80
TABELA 14 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS NAS SITUAÇÕES MENCIONADAS.....	82
TABELA 15 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS NAS SITUAÇÕES MENCIONADAS.....	83
TABELA 16 - COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS COMPÓSITOS NAS SITUAÇÕES MENCIONADAS.....	83
TABELA 17 - RESULTADOS MÉDIOS E COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS OBTIDAS DAS CURVAS TENSÃO X DEFLEXÃO PARA OS COMPÓSITOS.....	85

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
1.3	JUSTIFICATIVAS .....	12
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>14</b>
2.1	INTRODUÇÃO .....	14
2.2	MATRIZ CIMENTÍCIA .....	14
2.3	MATERIAL COMPÓSITO .....	17
2.3.1	<i>FIBRAS NATURAIS</i> .....	17
2.3.2	<i>FIBRAS DE MALVA</i> .....	23
2.4	TRATAMENTOS DAS FIBRAS E OU MATRIZ.....	26
2.5	PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM FIBRAS VEGETAIS .....	31
<b>3.</b>	<b>DESCRIÇÃO METODOLÓGICA.....</b>	<b>37</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS .....	37
3.2	MÉTODOS EXPERIMENTAIS .....	39
3.2.1	<i>CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE MALVA</i> .....	39
3.2.2	<i>PROCESSAMENTO DO RESÍDUO CERÂMICO.</i> .....	46
3.2.3	<i>PRODUÇÃO DA MATRIZ CIMENTÍCIA COM BAIXO TEOR DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO LIVRE</i> .....	48
3.2.4	<i>PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS PLACAS DOS COMPÓSITOS</i> .....	49
3.3	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	52
3.3.1	<i>ENSAIO DE TERMOGRAVIMETRIA</i> .....	52
3.3.2	<i>ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA</i> .....	54
3.3.3	<i>ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS</i> .....	55
3.3.4	<i>ENSAIO DE FLEXÃO EM 3 PONTOS</i> .....	60
<b>4.</b>	<b>APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>63</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	63
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE MALVA .....	66
4.3	ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA NO COMPÓSITO .....	69
4.4	ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS .....	78
4.5	ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS .....	84
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>87</b>
<b>6.</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>89</b>
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>90</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>96</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No desenvolvimento de uma pesquisa que envolve um novo material de engenharia é necessário nos dias de hoje o uso de tecnologia e inovação, visando obter sempre vantagens técnicas, econômicas e ambientais. Deste modo, para garantir o sucesso desta pesquisa foi primordial definir os objetivos, aplicabilidades, composição e caracterização deste novo material compósito.

Para dar início a esta pesquisa foi necessário uma fundamentação teórica, onde pode-se observar as pesquisas já realizadas no que se refere a matriz cimentícia, material compósito com fibras naturais e malva, os tratamentos destas fibras, como também o desempenho de placas cimentícias reforçadas com fibras naturais.

Quanto à descrição metodológica, enfatizou-se as características dos materiais para assim ter um conhecimento amplo da função de cada material empregado neste compósito em estudo. Valendo ressaltar que os métodos experimentais nos revelam a caracterização da fibras de malva, o processamento do resíduo cerâmico para sua empregabilidade, a produção da matriz cimentícia com baixo teor de hidróxido de cálcio e o processo de produção das placas dos compósitos, sendo cada placa com dosagens únicas e diferenciadas, para assim garantir a comparação e a busca dos compósitos mais favoráveis e suas aplicabilidades.

Para conhecer os compósitos produzidos nesta pesquisa, sua caracterização será fundamenta nos ensaios de termogravimetria, tração direta, flexão em quatro pontos e flexão em três pontos, com isso comparando e avaliando os resultados apresentados, visando sempre o compósito com características superiores aos demais compósitos, aqui produzidos.

Neste contexto, a seguir são apresentados os objetivos e justificativas para o presente trabalho.

## **1.1 OBJETIVO GERAL**

Caraterização quanto as propriedades físicas e mecânicas dos compósitos reforçados com fibras longas de malva tratadas

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

✓ Caracterizar as fibras de malva em relação à morfologia, composição química e propriedades físicas e mecânicas;

✓ Avaliar os tratamentos superficiais de hornificação e aplicação de verniz quanto a melhoria da adesão fibra-matriz e da variação dimensional da fibra;

✓ Produzir e caracterizar quanto as suas propriedades físicas e mecânicas os compósitos com fibras tratadas e não tratadas; e

✓ Avaliar o comportamento físico e mecânico dos compósitos produzidos reforçados com fibras tratadas e não tratadas.

✓

## **1.3 JUSTIFICATIVAS**

Na busca de novos materiais alternativos, cujas características sejam equivalentes ou superiores àqueles dos materiais já disponíveis no mercado, diversos benefícios podem ser obtidos. Para o escopo da presente pesquisa, pode-se destacar o reaproveitamento de resíduo cerâmico, a utilização de fibras naturais, a criação de novas cadeias produtivas, com consequente criação de novos empregos e novas fontes de renda.

Além disso, busca-se a obtenção de materiais de baixo custo, tornando-os mais competitivos no setor da construção civil. Deste modo, o uso dos recursos naturais precisa ser feito em linha com o pensamento atual de produção sustentável destes recursos, com redução do consumo de matéria prima e energia, e reaproveitamento de resíduos.

Neste contexto, o uso da fibra de malva como reforço da matriz cimentícia mostra-se promissor, tendo em vista os bons resultados obtidos para este compósito em ensaios físicos e mecânicos como mostra o trabalho de Oliveira (2013), ressaltando a sua larga produção e pouco valor econômico agregado dos produtos oriundos do processo de beneficiamento desta fibra, abrindo portas de desenvolvimento para todos os envolvidos na produção desta fibra, do plantio a sua aplicabilidade na construção civil, visando no futuro uma nova fase de sustentabilidade e progresso.

Muito embora outros estudos já tenham abordado o comportamento dos compósitos cimentícios reforçados com fibras de malva, outros aspectos relacionados à sua durabilidade ou não foram ou ainda foram poucos estudados. Dentre estes, destacam-se a resistência à degradação da fibra na matriz cimentícia e a sua variação dimensional devido à alta absorção de água, características dos materiais lignocelulósicos. Sendo assim, o presente estudo busca agregar conhecimentos que minimize os efeitos produzidos por esses dois mecanismos de degradação por meio de tratamento na fibra e na matriz.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos com a evolução das técnicas de modelagem computacional e com os avanços na ciência dos materiais, vem-se buscando incansavelmente novos materiais cuja característica físico-mecânica seja superiores àquelas que são hoje tradicionalmente utilizados.

Dentre os diversos tipos de novos materiais tem ganho cada vez mais destaque aqueles que fazem o uso de fibras naturais como reforço a compósitos cimentícios, uma vez que estas possuem disponibilidade em grande escala, custo baixo de produção, não necessitam de mão de obra especializada e qualificada, e em especial possuem altas resistências mecânicas (Bentur et al., 1990).

Assim, a união das fibras naturais com um material tradicional, permite a produção de diversos compósitos, buscando baixo custo de produção em larga escala, alta resistência, ductilidade, leveza e esbeltes. Essas características são interessantes para aplicação na construção civil, tais como, peças esbeltas com altas resistências mecânicas e peso próprio mais baixo do que aquelas que atualmente são produzidas.

### **2.2 MATRIZ CIMENTÍCIA**

Tradicionalmente, a matriz cimentícia é o material de construção mais utilizado nas diversas aplicabilidades da engenharia, sendo determinadas em proporções exatas e bem definidas, onde a pasta formada pela mistura de cimento e água envolve os agregados com efeito de liga, formando um material de consistência plástica, permitindo que seja moldado em fôrmas, de forma compacta e trabalhável.

O endurecimento, ou pega, da pasta acontece ao longo do tempo, devido às reações químicas entre o cimento e a água, denominada hidratação do cimento. Pode-se afirmar que a mais importante de suas características é o aumento da resistência à compressão com o tempo, porém, apresentando uma baixa resistência a tração, na ordem de 1/10 (compressão/tração).

A quantidade teórica dos materiais que compõem a matriz cimentícia denomina-se de “traço” ou “dosagem”, onde se determina a quantidade de cimento e de agregado sempre em busca de uma proporção mais econômica e com boas características de trabalhabilidade, abatimento, coesão e resistência mecânica, evitando-se características indesejáveis, tais como, exsudação e segregação.

## CIMENTO PORTLAND

A base da matriz cimentícia é o aglomerante, que para a presente pesquisa foi utilizado o cimento Portland Composto CP II F- 32, que dentre os diversos tipos produzidos no Brasil é o mais utilizado comercialmente na cidade de Manaus.

De uma forma geral, as principais características do cimento Portland são: o peso específico variando entre 3.000 a 3.250 kg/m<sup>3</sup>, densidade aparente entre 1,1 a 1,5, grau de impermeabilidade elevado com o tempo, finura nos grãos aumentando o grau de atividade e qualidade do material.

## AREIA

É uma substância mineral, conhecida como areia natural quartzona, que tem como principal função, na matriz cimentícia, aumentar a coesão, torná-la mais econômica, reduzir sua retração e aumentar sua resistência. Ressalta-se que a Norma EB 4 (NBR7211, 2009), fixa as condições exigíveis na utilização dos agregados, como sua composição granulométrica, teor máximo de substâncias nocivas e impurezas orgânicas, e outros dados importantes, para assim garantir o resultado esperado da matriz cimentícia.

Considerando ainda, a NBR NM -248 (2003) caracteriza o Módulo de Finura (MF) do agregado miúdo como as porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado nas peneiras de série normal, dividido por 100. Quanto ao MF essa Norma classifica os agregados miúdos em:

$2,20 < MF < 2,90$  ----- Areia Média;

$1,55 < MF < 2,20$  ----- Areia Fina;

E quanto a zonas de classificação desse agregado podem ser:

$2,20 < MF < 2,90$  ----- Zona Ótima;

$1,50 < MF < 2,20$  ----- Zona utilizável Inferior;

$2,90 < MF < 3,50$  ----- Zona utilizável Superior;

## ÁGUA

Para que a placa cimentícia seja produzida, é necessária a utilização da água, devendo esta ser livre de impurezas para que não interfira no processo de hidratação do cimento. A razão entre as quantidades de água e de cimento na mistura é denominada “fator água-cimento”, a qual está diretamente relacionada à resistência, durabilidade, trabalhabilidade e impermeabilidade da matriz cimentícia, sendo que, quanto menor for o teor de água na matriz, maior será a resistência da matriz e menor será sua trabalhabilidade.

A NBR 6118 (2013) nos orienta em relação aos teores máximos aceitáveis de substâncias nocivas para a água, lembrando ainda que a água do mar é inadequada para o uso em estruturas reforçadas com aço, tais como o concreto armado, devido à corrosão provocada pelo teor de sal nela presente.

## ADITIVOS

Com a necessidade de adquirir algumas características, que a matriz cimentícia não apresenta o suficiente para situações particulares, toma-se como recurso, a utilização de aditivos, que são substâncias adicionadas intencionalmente para melhorar determinadas propriedades da matriz cimentícia em seu estado fresco ou endurecido.

Desde modo, com o uso de aditivo busca-se: facilitar o preparo e utilização da matriz; aumentar a resistência; aumentar a durabilidade; aumentar a impermeabilidade; proporcionar uma desforma em um pequeno intervalo de tempo; retardar ou acelerar o tempo de pega; dentre outros.

## **2.3 MATERIAL COMPÓSITO**

A composição desse tipo de material pode se dar pela junção dos mais diversificados materiais, como, entre metais, material cimentício, cerâmica, polímeros, fibras e outros, devendo ressaltar sempre as condições de processo e compatibilização química e física dos materiais (SILVA, 2003).

No caso de materiais cimentícios reforçados por fibras, busca-se sempre a adesão entre os materiais constituintes, a interface fibra/cimento e a produção mais adequada deste compósito, visando sua aplicabilidade na engenharia.

Daremos ênfase às fibras, por ser o escopo da presente pesquisa.

### **2.3.1 FIBRAS NATURAIS**

Fibras são materiais alongados com seção transversal muito menor que o seu comprimento, com o formato delgado muito parecido a um fio ou linha, as fibras naturais, são fibras coletadas na natureza, podendo ser submetidas a algum processo de beneficiamento.

As fibras naturais são subdivididas, de acordo com sua origem, nos seguintes grupos:

- Origem mineral, que são estruturas fibrosas originadas das rochas, com sua composição essencialmente de silicato, como é o caso do amianto, material muito utilizado antigamente em telhas e reservatórios devido sua alta resistência mecânica, durabilidade,

oferta e custo, porém, ao longo do tempo percebeu-se que os seus longos e finos fios, são separados facilmente, gerando com isso a produção de um pó de partículas minúsculas que flutuam e ao entrar em contato com o corpo provoca uma série de doenças graves podendo levar a morte, por isso foi proibido o uso desta fibra nas suas diversas formas de aplicação;

- Origem animal, proveniente tanto da secreção glandular de alguns insetos, como é o caso da seda, como também do próprio pelos animais como as lãs, ambos muito utilizados na produção de tecido têxteis;

- Origem vegetal, com estruturas alongadas e seção de formato irregular, possuem em sua estrutura dois componentes fundamentais, a lignina e a celulose, por isso, são conhecidas como materiais lignocelulósicos, comum nos vegetais, e conforme o elemento da planta em que é coletada, pode se obter as seguintes fibras:

- ✓ Fibras do algodão e açai que são extraídas da semente;

- ✓ Fibras de linho, rami, bambu, malva, juta, eucalipto e piaçava, extraídos do caule;

- ✓ Fibras de sisal e curauá extraídas de folhas;

- ✓ Fibras de coco e cupuaçu, extraídas do fruto;

- ✓ No Brasil, os principais centros produtores das citadas fibras são:

- Malva e Juta: Amazônia e Pará;

- Rami: Norte Paulista;

- Curauá: Amazônia Paraense;

- Sisal: Bahia e Paraíba;

- Coco: Recife e Aracajú;

- Algodão: Campina Grande;

- Eucalipto: Aracruz-Es;

- Piaçava: Valença-BA;

- Açai: várzea da região amazônica;

- Linho: Rio Grande do Sul;

- Bambu e Cupuaçu: Amazônia. (Susheel, B. S., & Inderjeet, 2011)

Na Tabela 1 são apresentadas as propriedades mecânicas de algumas fibras naturais vegetais, tais como, o Módulo de Resistência à Tração ( $\sigma$ ), o Módulo de Elasticidade (E), Deformação a Ruptura ( $\epsilon$ ) e a Massa Específica (P).

Tabela 1 - Propriedades mecânicas das fibras naturais vegetais.

<b>Tipo de Fibra</b>	<b><math>\sigma_t</math> (MPa)</b>	<b>E (GPa)</b>	<b><math>\epsilon_t</math> (%)</b>	<b>P (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Sisal	126 – 800	3,80 – 62,0	2,8 – 10	1,27 – 1,50
Coco	95 – 149	2,80 – 13,7	3,3 – 5,1	1,18 – 1,45
Juta	320 – 500	12,0 – 100	1,3 – 2,8	1,5
Malva	160	17,4	5,2	1,41
Rami	393 – 900	7,30 – 25,0	1,8 – 5,3	1,51
Piaçava	143	5,6	5,9	1,05

Fonte: Satyanarayana, 2007.

As fibras vegetais são utilizadas no processo industrial há muito tempo, devido a sua grande disponibilidade, qualidade e diversidade, porém, nos últimos anos, as fibras vêm sendo estudadas para utilização e aproveitamento em construções e ferramentas da construção civil, isso devido à facilidade de manufatura, aproveitamento de carácter ecológico com benefício ao meio ambiente.

Há uma tendência mundial crescente para utilização de recursos naturais, por meio de novos processos e produtos (Satyanarayana, Guimarães, & Wypych, 2007), movimentando toda uma geração de novos empregos e melhoria no padrão de vida, como alternativa ao alto custo de exploração não renovável de reservas de energia. Além disso, busca-se também desenvolver novas tecnologias para substituição de produtos tradicionais; contudo, o uso de recursos naturais precisa ser feito em linha com o pensamento atual, sobre a produção sustentável destes recursos, empregando tecnologias que elevem as taxas de emprego e promovam o desenvolvimento da economia nacional.

### UTILIZAÇÃO DAS FIBRAS

As fibras sempre foram utilizadas para diversos fins, como a produção de papel, vestuários, barbantes, cordas, cortinas, fios, forração de estofados, fundo de tapetes, lonas, telas para artesanato, e em especial, a produção de sacarias (Figura 1), utilizadas para o armazenamento de café, açúcar, castanha-de-caju e cacau (Martins Neto, 2010).



Figura 1 - Produtos produzidos com fibras de malva.

Porém, nos últimos anos têm sido desenvolvidas pesquisas com a sua utilização na construção civil, como reforço da matriz cimentícia, por apresentar alta resistência à tração, trabalhabilidade, baixo custo, baixo peso próprio e outras características que são importantes para este tipo de compósito. Alguns estudos realizados no Brasil com matrizes cimentícia reforçadas com fibras vegetais merecem ser mencionados, os quais são destacados a seguir:

→ São Paulo – Materiais à base de cimento reforçados com fibras vegetais: Reciclagem de resíduo para a construção de baixo custo – (Savastano Júnior, 2000);

→ Rio de Janeiro RJ – desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal. (Melo Filho, 2005);

→ Manaus AM – Caracterização das propriedades da fibra vegetal de arumã para aplicação com reforço à matriz cimentícia. (Marques, 2009);

→ Mossoró RN – Estudo da durabilidade dos compósitos cimentício com fibras vegetais. (Batista, 2011);

→ Rio de Janeiro RJ – Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósito de alto desempenho reforçados com fibra de sisal. (Melo filho, 2012);

e

→ Manaus AM – Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva. (Oliveira, 2013);

→ E podemos ainda citar alguns estudos realizados e publicados internacionalmente, tais como:

→ (Satyanarayana, Guimarães, & Wypych, 2007) – Estudo sobre fibras lignoceluloses do Brasil: Fonte, produção, morfologia, propriedades e aplicações. Nesse trabalho são apresentadas as tendências internacionais no estudo da fibra natural, tendo um potencial de uso em aplicação automotiva, onde conclui-se que é possível produzir fibras de qualidade, adequadas para diferentes aplicações, através de um melhor cultivo, incluindo métodos de engenharia genética e de tratamento para obter propriedades uniformes;

→ (Sedan, Pagnoux, Smith, & Chotard, 2008) – São apresentadas as propriedades mecânicas do compósito reforçadas com fibras de cânhamos, avaliando a influência da interação de fibra/matriz e afirmando que as propriedades mecânicas de um compósito dependem principalmente do teor de fibras e a orientação, e também sobre a qualidade da transferência de carga entre matriz e o reforço, sempre na busca pela qualidade da ligação entre a matriz e a fibra;

→ (Kestur, 2010) – Apresentam um composto de polímeros biodegradável à base de lignoceluloses brasileira, apresentando novas abordagens para o design industrial de produtos e processos, juntamente com a implementação de estratégias de produção sustentável mitigar o desperdício de materiais; e.

→ (Roy, Chakraborty, Kundu, Basak, Majumber, & Adhikari, 2012) – Trabalharam com a melhoria das propriedades de fibras de juta por meio alcalino, caracterizando as fibras quimicamente modificadas como potenciais para o reforço em compósitos naturais e concluindo que o tratamento alcalino melhora a resistência à tração e o alongamento de ruptura no compósito.

Observaram-se nos trabalhos citados algumas considerações, como:

✓ Os laminados cimentícios reforçadas com fibras vegetais curtas apresentam menor número de microfissuras com aberturas e espaçamentos maiores em comparação aos

compósitos reforçados com fibras longas. E que os compósitos reforçados com fibras longas suportam maiores esforços com maiores números de fissuras e menos espaçamento;

✓ Os compósitos reforçados com fibras longas são, devido as suas características, ideais para aplicação em estruturas sujeitas a maiores esforços;

✓ Alguns exemplos da aplicabilidade do compósito reforçado com fibras são: reforço de elementos estruturais, bancada de divisória entre ambientes internos e externos, pisos elevados, elementos de cobertura, no formato de telhas e painéis, canaletas, revestimento e reparo de tubos, taludes e canais abertos e pavimentação de condomínios diversos, praça e indústria.

Muitas fibras estudadas como reforço à matriz cimentícia apresentam normalmente uma boa resistência à tração, porém, há a necessidade do completo conhecimento das principais características do compósito resultante para sua correta utilização no mercado, isto porque, por ser um material lignocelulósico o contato com a água e o hidróxido de cálcio resultante do processo de hidratação do cimento podem deteriorar a fibra, tornando assim a sua durabilidade um fator negativo para sua aplicação.

Apesar disso, diversas fibras foram estudadas, com suas variadas possibilidades de aplicação na engenharia, tais como:

✓ Fibras de Arumã – aplicação em placa cimentícia como reforço (Marques, 2015);

✓ Bucha vegetal – aplicação em painel de vedação (Sousa, 2013);

✓ Fibras de Curauá – aplicação em matriz poliméricas (Santos, 2013);

✓ Fibras da semente do açaí – aplicação em matriz polimérica (Quirino, 2010); e

✓ Fibras da casca de arroz, casca do coco, da casca do cupuaçu, do bagaço de cana, da juta, da malva, do bambu, e várias outras fibras amazônicas, na busca de um reforço na matriz cimentícia, para aplicação estrutural e arquitetônica (Lima, 2009).

De uma forma simples e clara, a principal característica que hoje se busca para a utilização de fibras naturais, é a melhoria da matriz cimentícia quanto suas características

mecânicas e físicas, visando um material mais econômico e durável, uma vez que o custo que envolve todo processo de produção da fibra é bem inferior que a produção das fibras sintéticas e artificiais. Devendo-se atentar para as fragilidades e características individuais das fibras.

### **2.3.2 FIBRAS DE MALVA**

A Malva (*Urena Lobata Linn*) é extraída do caule da planta do mesmo nome, sendo, desde os anos 30, os maiores centros produtores os estados do Amazonas e Pará. Pertence à família Malvacea, planta herbácea anual, onde o seu nome em latim significa suave e emoliente ao tato. Adapta-se facilmente ao clima quente e úmido, com períodos alternados de sol e chuva, provocando assim um crescimento rápido e satisfatório para seu uso, pois seu ciclo dura de 150 a 180 dias, se submetidos a temperaturas de 18 a 32°C.

Em condições normais, pode-se esperar uma produção média de 1300 a 1500 kg de fibras secas limpas por hectare, sendo que o rendimento das fibras sobre seus caules verdes enfolhados é em média de 5 a 6%. Hoje um dos maiores produtores desta fibra é o município de Manacapuru / AM.

#### **EXTRAÇÃO E PREPARO DAS FIBRAS**

O procedimento descrito a seguir foi observado *in loco* no município de Manacapuru, estado do Amazonas.

- As plantas de Malva são retiradas após 150 até 180 dias do seu plantio; (Figura 2 – A);
- Em seguida, é iniciado o processo de maceração, sendo os feixes de caule submetidos à água corrente, durante 15 a 20 dias, podendo variar de acordo com a temperatura ambiente; onde os tecidos vegetais são separados e dissolvem o cimento péctico que une os feixes entre si; (Figura 2 – B);
- Depois de completada a maceração, as fibras são facilmente separadas a mão;

➤ Devendo agora as fibras ser lavadas em água limpa e postas a secar; (Figura 2 – C);

➤ Já secas, são separadas para eliminar os detritos vegetais ainda aderentes, para torna-las mais macias; e

➤ As fibras, então, são reunidas em porções não tratadas, de 10 a 15 cm de diâmetros, separados de acordo com suas qualidades, comprimentos, cores e brilho. Lembrando ainda que essas porções são amarradas nas extremidades correspondentes aos pés das fibras.

Logo após, as porções, são enfardadas como mostra a Figura 2-D.



Figura 2 - Extração e preparo das fibras, compreendendo (A) plantio e extração da malva, (2) processo de maceração, (E) secagem das fibras maceradas, (D) fibras enfardadas.

Vale ressaltar que já foram desenvolvidas diversas máquinas para descascar o caule macerado, porém, elas perdem muitas fibras nos resíduos ou não limpam as fibras com eficiência. Assim, a única máquina utilizada na extração e preparo das fibras, são as máquinas que separam, no campo, as cascas das varas verdes recém-cortadas, para assim as fibras serem retiradas do tecido e levadas ao processo de maceração. (HOMMA A.K.O & FERREIRA A.S., 2010)

## PREOCUPAÇÕES

Analisando o processo produtivo, observa-se que a produção das fibras de malva apresenta baixo padrão tecnológico, devido às condições encontradas nos locais onde estas são produzidas, onde a maior parte é obtida por meio de um grande esforço físico exigido pela mão-de-obra. Ressaltando ainda, que as máquinas utilizadas, na sua descorticação - processo de separação dos caules dos lenhos – são perigosas e ineficientes, resultando na alta incidência de acidentes de trabalho (Waldo, 2003).

Mesmo o maior produtor de fibras de malva, o município de Manacapuru-AM, ter como facilitador para o cultivo desta espécie a fertilidade natural dos solos, devido os ciclos de enchente que transportam grande quantidade de sedimentos elevando o nível de fertilidade, e sua proximidade com o rio, que serve como canal de transporte para comercialização deste produto, a população deste município encontra muitas dificuldades com a produção desta espécie, não somente pela falta de tecnologia, como já mencionado, mas também, pela falta de capacitação profissional, que possibilite uma maior eficiência na produção em quantidade e qualidade de produtos de forma que atenda a atual necessidade de mercado, capaz de torná-los mais competitivos.

A comunidade que trabalha com o cultivo é de baixa renda, não possuindo o suficiente para investir neste cultivo, nem ajuda governamental que o faça. As difíceis condições de trabalho ocasionam impactos ambientais, que afetam a saúde humana, sendo frequentes as doenças como hepatite, reumatismo, problema de visão, viroses, e ainda picada de insetos peçonhentos levando-os ao envenenamento. Assim esta produção vem passando por dificuldades, onde a atual situação causa preocupação aos produtores, cooperativas e indústrias, os quais reafirmam que este assunto merece uma imediata providencia para tentar salvar o setor no Amazonas, conforme declara a Sra. Lúcia Costa, presidente da cooperativa Malva de Manacapuru.

Na utilização da fibra como reforço em compósitos cimentícios, podemos considerar algumas preocupações, tais como:

a. A degradação da fibra – A hidratação do cimento é um fator determinante no comportamento da degradação das fibras naturais. A baixa durabilidade causada pela degradação da fibra natural em ambiente alcalino-mineral do cimento prejudica o efeito de

reforço da fibra, gerando assim, uma busca pela redução da alcalinidade da solução pura, sendo a metacaulinita eficiente em amenizar a deterioração destas fibras (Wei & Meyer, 2015).

b. Durabilidade de um novo material – deve-se providenciar um estudo sistêmico contemplando as seguintes etapas: (Melo Filho, 2005 e 2012):

- Identificação da função e das características desejadas do material ao longo do seu uso e verificação das suas condições de degradação;
- Caracterização dos principais agentes de degradação atuantes;
- Identificação dos mecanismos de degradação causados pelos agentes;
- Quantificação dos danos presenciais devido à ação imposta pelos agentes através dos mecanismos de degradação;

c. Tratamento das fibras –. Existe uma série de tratamentos feitos nas superfícies das fibras em busca de melhorar a aderência e reduzir a degradação das fibras na placa; o nível de tratamento aplicado influencia consideravelmente na resistência mecânica do compósito, pois a durabilidade do compósito está diretamente relacionada com as características da interface da fibra com a matriz, facilitando a transmissão das tensões internas que serão distribuídas uniformemente para a matriz por meio do elemento de reforço (Marques, 2015).

## **2.4 TRATAMENTOS DAS FIBRAS E OU MATRIZ**

O ataque do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) livre às fibras vegetais no interior do compósito cimentício causa a sua degradação, por isso, busca-se produzir uma matriz cimentícia isenta de  $\text{Ca(OH)}_2$  livre, como mostram os estudos já realizados por (Melo Filho, 2005), (Melo Filho, 2012), (Margem, 2013), (Oliveira, 2013) e (Marques, 2015).

Outra alternativa, são os tratamentos nas fibras e ou na matriz, os quais buscam melhorar a aderência e reduzir a sua degradação, para com isso garantir que este compósito

tenha melhores resistências mecânicas e maior durabilidade que o tradicional. Alguns tipos de tratamentos tanto para a matriz quanto para as fibras já foram estudados, dentre os quais podemos destacar os seguintes estudos:

a) Tratamento químico à base de soluções de hidróxido de sódio, utilização de processos com água quente e hornificação (Marques, 2015);

b) Substituição de 50% do cimento Portland por argila calcinada, visando aumentar a durabilidade dos compósitos reforçados com fibras vegetais. Onde as propriedades químicas dessa argila apresentam um teor de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  de aproximadamente de 94% e um teor de CaO de 0,2% (Oliveira, 2013);

c) Tratamento com plasma, em fibras de celulose, onde se concluiu que a capacidade de absorção de água das fibras diminui com o aumento do tempo de exposição das fibras ao tratamento com plasma (Kolarová, Vosmanská, Rimpelová, & Svorcik, 2013);

d) Substituição de 50% do cimento por 30% de metacaulinita e 20% de tijolo moído, onde resulta em um material cimentício com menor quantidade de clínquer e, conseqüentemente, menor consumo de energia e menor emissão de dióxido de carbono. Onde as propriedades químicas dessa argila apresentam um teor de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  de aproximadamente de 90% e um teor de CaO de 2,6% (Melo Filho, 2012);

Vale ainda ressaltar, os tratamentos que foram empregados nesta pesquisa:

#### e) HORNIFICAÇÃO

A hornificação é um fenômeno físico-químico, promovido pela molhagem e secagem, que ocorre com as fibras durante um processo de remoção de água, proporcionando mudanças em sua estrutura, como a perda na capacidade de retenção de água e a redução na resistência à tração (ZHANG, 2004).

O estudo de Brancato (2008) sobre fibras de celulose, dando continuidade aos estudos de Scalalan et al (1997), Stone et al (1986) e Thode et al (1953), diz que existem várias hipóteses sobre as causas da hornificação, citando as seguintes:

- Colapso de poros: defendia a ideia de que após todos os ciclos ocorria o fechamento, colapso, dos poros;
- Pontes de hidrogênio: defendia a hipótese da ponte de hidrogênio irreversível, as microfibrilas que compõem as fibras seriam ligadas após a secagem, prevenindo a expansão excessiva quando saturada novamente;
- Ligações covalentes: Defendia a hipóteses da água penetrar completamente em áreas amorfas das fibras de celulose e da quebra das pontes de hidrogênio, provocando o inchamento e flexibilidade, pontos que proporcionam uma boa adesão entre as fibras;
- Cristalinidade da celulose e perda de hemicelulose: Defendia o aumento da cristalinidade da fibra, e que a celulose cristalina é menos susceptível a penetração da água.

Assim, Brancato (2008) pôde observar que, após os 10 ciclos, a variação no índice de absorção das fibras é em média de 30% e há uma diminuição de 50% na capacidade de retenção de água. Observou também que além da variação nas propriedades físicas das fibras, a hornificação, causada pelo processo de ciclos de molhagem e secagem, modificou o comportamento tensão-deformação das fibras sob tração direta, tornando-as mais resistente e mais deformável. Concluindo que após o tratamento, as fibras apresentam um aumento de 5,2% para tensão de ruptura e 38,7% para deformação de ruptura, porém uma redução de 8,7% no módulo de elasticidade.

Para Claramunt et.al (2011) o processo de hornificação, definitivamente, melhora a durabilidade do compósito reforçado com fibras naturais, e é visto como um processo simples, seguro e amigo do ambiente.

#### f) USO DE RESÍDUOS DE CERÂMICA MOÍDA NOS COMPÓSITOS

O resíduo de cerâmica moído é um material pozolânico que vem sendo estudado e cujo foco é o seu benefício na substituição de parte do cimento na matriz cimentícia, como um aditivo mineral.

Ressalta-se que outros aditivos minerais também estão sendo estudados com esse objetivo, como a microssílica, cinza volante, metacaulinita e outros.

A atividade pozolânica é caracterizada por produzir uma estrutura de poros mais densa aumentando a resistência química, a resistência à compressão e a impermeabilidade nos

componentes a base de cimento (Rodriguez-Camacho, 2001). As reações pozolânicas consomem o hidróxido de cálcio, formando o Silicato de Cálcio Hidratado (CSH), diminuindo a alcalinidade.

Em geral, a atividade pozolânica compreende toda e qualquer reação que envolve os constituintes ativos das pozolana, hidróxido de cálcio e água; esta reação depende da qualidade e quantidade das fases ativas (amorfas) presentes na pozolana, formando um composto de propriedades aglomerantes, que melhoram as propriedades do cimento, concreto e argamassa, isso devido à presença do silício e óxido de alumínio na composição das estruturas amorfas ou desordenadas atômicamente. (Farias Filho et al., 2000).

Quanto aos efeitos físicos das pozolana no concreto, Souza (2003), descreve que os mesmos podem ocorrer de formas distintas, tais como:

→ Pelo efeito microfíler, onde acontece um aumento na densidade da mistura pelo maior preenchimento dos vazios, decorrentes principalmente das minúsculas partículas de cimento;

→ Pelo preenchimento dos poros, pois ao invés de grandes cristais serão gerados pequenos cristais em grandes números que preencherão os espaços deixados pela reação de hidratação. Como resultado tem-se o refinamento da estrutura dos poros e dos produtos de hidratação do cimento;

→ Através da densidade da zona de transição entre a pasta de cimento e o agregado, devido à interferência na movimentação das partículas de água livre em relação aos sólidos da mistura. A alteração na movimentação provoca a eliminação ou redução do acúmulo de água que comumente fica retido sobre o agregado, como também a diminuição do número de vazios entre as partículas de cimento e a superfície do agregado (efeito microfíler) e a redução da concentração de hidróxido de cálcio nesta região do concreto (ação química).

Em especial, a utilização do resíduo cerâmico tende a contribuir com a proteção do meio ambiente, grande preocupação do mundo atual, pois esse leva um tempo indeterminado para serem decompostos pela natureza, sem falar da situação de novas oportunidades de emprego, nova fonte de renda e uma economia significativa do aglomerante cimento.

Os resíduos em questão, são materiais recolhidos em indústrias de materiais cerâmicos, tijolos e telhas. A partir da coleta esses são submetidos a processos industriais que reduzem o tamanho de suas partículas com a utilização de moinhos.

O emprego do resíduo cerâmico de tijolos, segundo Gonçalves (2004) e Anjos (2003), na substituição de 20% tem os seguintes benefícios:

- ✓ Mantém as características mecânicas da matriz cimentícia que seriam obtidas caso o resíduo não fosse adicionado;
- ✓ Aumenta o refinamento da estrutura dos poros;
- ✓ Reduz a absorção e a penetração acelerada de íons cloreto, aumentando a resistência ao ataque por sulfato de magnésio;
- ✓ Gera economia no produto final.

Na busca por uma pasta isenta de hidróxido de cálcio livre vale ressaltar os resultados obtidos por Melo Filho (2005).

→ Melo Filho (2005) realizou a substituição parcial do cimento por metacaulinita comercial e tijolo moído, concluindo que:

- ☞ A substituição parcial do cimento em teores de 50% e 55% se mostra eficiente para o consumo do hidróxido de cálcio;
- ☞ A substituição incrementa a resistência em cerca de 30% e 27%, à compressão e à flexão, respectivamente; e
- ☞ Quanto à tenacidade há um acréscimo de 120%, produzindo-se ainda, um material de baixo custo, com baixa emissão de CO<sub>2</sub> e baixo consumo de energia, características estas apropriadas para uma construção sustentável.

g) O tratamento impermeabilizante, seja ele através da imersão em silicato de sódio, sulfato de alumínio ou cloreto de cálcio (Magalhães, 2009) ou ainda por verniz, como apresenta esta pesquisa, onde através de imersão, há a impermeabilização e diminuição da absorção de água das fibras vegetais, com conseqüente maior durabilidade desta no compósito

e maiores propriedades mecânicas no compósito final, em comparação ao tradicional (Izquierdo, 2011). Quanto ao tratamento impermeabilizante com verniz, este apresenta-se detalhadamente no item 3.2 – Métodos experimentais, no subitem Caracterização física e mecânica da malva.

## **2.5 PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM FIBRAS VEGETAIS**

As pesquisas com placas cimentícias reforçadas com fibras não é algo recente, pois em 1895, o Austríaco Ludwig Habschek, descobriu a importante mistura de cimento, amianto (fibra) e água, que ele chamou de fibrocimento. Em 1901, Habschek obteve a patente de sua invenção, que ele denominou de ETERNIT, permitindo que apenas uma empresa utilizasse esta ideia, em todos os países interessados na produção do fibrocimento. Porém por volta de 1940, iniciou-se o processo de expansão, no mundo, pela fabricação desse produto, chegando assim ao Brasil.

Esta foi à única invenção de fibrocimento que explodiu no mercado de produtores e consumidores mundialmente. No Brasil, somente em 1975, voltaram-se os interesses para a busca da utilização de fibras como reforço de placa cimentícia, para utilização na construção civil, daí então como uma junção de ideias foram desenvolvidas diversas pesquisas, cujos pontos principais podemos destacar:

→ Na produção de placa cimentícia reforçada com fibras de coco e sisal, visando determinar as propriedades físicas e mecânicas do reforço e o estudo da influência do tipo de fibra, fração volumétrica, tamanho das fibras, orientação e composição da matriz nas propriedades mecânicas deste compósito, realizando ensaios de fluência, retração, durabilidade e ensaio de flexão - Toledo Filho (1997):

➤ As fibras trazem ganhos de desempenho em relação à matriz sem reforço, pela melhor distribuição das tensões no material;

➤ Maior resistência à fissuração, ao impacto, aumento da resistência à flexão, da capacidade de suportar carregamento pós-fissuração, maior ductilidade e tenacidade;

- Podem ser obtidas, adicionalmente, melhores propriedades de isolamento térmico e acústico;

- As placas com fibras têm desempenho estrutural limitado, pois as fibras, normalmente, possuem baixo módulo de elasticidade, assim não atuam como reforço antes da fissuração da matriz;

- Curta durabilidade, necessitando a busca pela compatibilização entre os compósitos das fibras e matriz cimentícia, este sendo o principal desafio das pesquisas;

- Os seus carboidratos como a lignina, hemicelulose, açúcares, fenóis e taninos interferem na pega do cimento;

- As fibras ainda estão sujeitas a ação degradante de fungos e insetos;

- Há também o ataque alcalino por produto da hidratação do cimento e a fragilização por mineralização da fibra, resultante da migração desses produtos para seus vazios; e

- As fibras ainda possuem alta absorção de água, o que prejudica a aderência com a matriz, pois sofrem expansão quando imersas na mistura ainda úmida e se retraem, na secagem, gerando deslocamento na interface.

→ Na produção de laminados planos e corrugados, reforçados com fibras longas de sisal, com fração volumétrica variando de 0 a 8% formados por 3 e 5 camadas de fibras, a uma pressão de moldagem de 2, 3 e 4 MPa. Buscando a caracterização mecânica desses compósitos pelos ensaios de compressão, tração direta e de flexão, realizando ainda ensaios físicos como de retração por secagem, de estanqueidade, de absorção de água, índice de vazios e massa específica - Melo Filho (2005):

- Proporcionam um aumento na resistência de 3 a 3,5 vezes nos laminados;

- O comportamento mecânico dos laminados bem superior àquele sem reforço;

- Enorme potencial para aplicação em semiestruturas e estruturas;

- Ótima impermeabilização nos laminados.

→ Na produção de placa cimentícia reforçada com fibras de cânhamos, com variação do teor desta fibra entre 0 e 20%, utilizando as fibras sem tratamento e com dois tratamentos, com hidróxido de sódio e solução de cloreto de alumínio. Caracterizando este compósito nos ensaios de tração direta e flexão em três pontos - Sedan, Smith & Chotard (2008):

➤ O compósito apresentou um comportamento mecânico com aumento de resistência à flexão para um teor ótimo de fibras de 16%;

➤ Com 16% de fibras, a resistência à flexão é máxima e 40% mais elevada que a pasta cimentícia;

➤ Observou-se igualmente uma diminuição do módulo de elasticidade do compósito em comparação com a pasta cimentícia;

➤ Os tratamentos aplicados sobre as fibras de cânhamo só melhoraram a resistência à flexão; e

➤ Tais compósitos poderiam ser interessantes em várias aplicações, desde que estudada.

→ Na produção de placa cimentícia reforçada com fibras de linho e rami, buscando o modo de falha e reconhecimento da quebra das fibras utilizando o microscópio escopo, buscando ainda a influência do comprimento da fibra por medida ótima, influência da taxa de deformação sobre os compósitos, análise e distribuição da força elástica, resistência das fibras e resistência ao cisalhamento interfacial do compósito - Awal, Cescutti & Mussing (2011):

➤ Os testes foram conduzidos para caracterizar adesão da fibra-matriz de diferentes fibras naturais com uma matriz pura;

➤ Melhor condição de ensaio encontrado foi para um comprimento de 15,50 mm e uma velocidade de ensaio de 0,2 mm / min, correspondendo a uma taxa de deformação de 1,29% / min;

➤ O valor do comprimento crítico dos filamentos de linho foi de aproximadamente 2,42 mm, nos compósitos com 2% desta fibra;

➤ Para rami o comprimento crítico das fibras foi de 0,98 mm para 2% da matriz com esta fibra, e não há extremidades da fibra quebrada.

➤ Os valores encontrados nos ensaios têm uma boa concordância com valores da literatura.

→ Na produção de compósito cimentício reforçado com fibras de celulose / papel e algodão, caracterizando o compósito pelo ensaio de flexão e compressão e a caracterização microestrutural das fibras pelo microscópio eletrônico de varreduras - Claramunt et al. (2011):

➤ A hornificação das fibras melhora a durabilidade;

➤ O comportamento mecânico aumentou cerca de 8% com a hornificação de fibras de papel e 16% com a hornificação da fibra de algodão, em comparação as fibras não tratadas;

➤ A hornificação melhorou o desempenho mecânico dos compósitos envelhecidos, em cerca de 13% (fibras de papel) e 21% (fibras de algodão) para a resistência à flexão e cerca de 20% (fibras de papel) e 10% (fibra de algodão) para a resistência à compressão em relação aos valores obtidos para os compósitos produzidos com fibras não tratadas;

➤ O compósito reforçado com fibra de papel apresentou uma resistência à flexão cinco vezes maior que o compósito reforçado com fibra de algodão;

➤ A permeabilidade mais baixa foi obtida para o compósito reforçado com as fibras de algodão, o que resultou numa menor degradação das fibras e, como consequência, menos perda de resistência em diferentes idades para os compósitos analisados.

→ Na produção de placa cimentícia reforçada com fibras de sisal, onde busca suas propriedades pelos ensaios de compressão, tração na flexão, tração direta, ensaios microestruturais como: ensaio de termogravimetria, porosimetria por intrusão de mercúrio e

análise microscópica, ensaios físicos como porosidade total e ensaio de durabilidade - Melo Filho (2012):

➤ O maior volume de fibras no compósito permite a formação de mais fissuras com menor espaçamento entre elas nas placas;

➤ Com relação aos resultados de ensaios de flexão, o compósito reforçado com fibras apresenta uma expressiva estabilidade térmica até a temperatura de 200°C;

➤ Nos compósitos reforçados com fibras submetidos à temperatura de 250°C, as fibras se deteriorizam significativamente, resultando numa expressiva mudança do comportamento carga x deflexão.

→ Na produção dos compósitos reforçados com fibras longas de juta e malva, produzidos com o teor de 8% de fibras longas, alinhadas unidirecionalmente e distribuídas em 5 camadas, formando como produto final um compósito em formato de placas. Os principais ensaios utilizados para a caracterização das fibras foram análise química, termogravimetria, análise microestrutural e tração direta, enquanto para os compósitos foram análise microestrutural, tração direta e flexão em quatro pontos (Oliveira, 2013):

➤ Os ensaios físicos-mecânicos apresentaram, tanto nas fibras de malva como nas fibras de juta, a possibilidade da aplicação destas fibras em compósitos de alta resistência;

➤ Os compósitos reforçados com ambas as fibras, apresentaram propriedades mecânicas promissoras no desenvolvimento de peças semi-estruturais e estruturais;

➤ Os compósitos reforçados com fibras de malva apresentaram resistência superior aos dos compósitos reforçados com fibras de juta (cerca de 20% na tração à flexão e 10% na tração direta);

➤ Ambos os compósitos apresentaram um comportamento de múltipla fissuração tanto na flexão como na tração.

Para a produção das placas cimentícias reforçadas com fibras, baseando-se em pesquisas já realizadas, deve-se definir os métodos e processos que viabilizem economicamente e industrialmente tal processo, tornando-o sustentável e viável. A escolha da

fibra a ser utilizada é uma decisão bem criteriosa e consciente, para facilitar o sucesso da pesquisa, como também seu comprimento, tratamento ideal e adequado, determinando sua distribuição de forma retilínea e homogênea, se dispersa aleatoriamente, hibridação com fibras curtas, alinhadas em uma única direção ou em camadas perpendiculares.

### 3. DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

Todos os procedimentos realizados nesta pesquisa serão descritos e apresentados neste capítulo, como também os materiais, visando um melhor entendimento do compósito em estudo.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Para que o compósito alcançasse os objetivos propostos, os materiais utilizados foram escolhidos de acordo com suas características, propriedades e disponibilidades de uso.

O aglomerante utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland CP II F-32, e suas propriedades químicas foram determinadas no Laboratório de Materiais da Universidade de Brasília, empregando-se para isso o microscópio eletrônico de varredura (MEV), marca LEICA, modelo S440i, equipado com um espectrômetro a dispersão de energia (EDS).

Para substituição parcial do cimento foi utilizado o resíduo cerâmico obtido na coleta de resíduo de tijolos na empresa Miranda Correa, situada no Município de Iranduba a 22 km de Manaus. Para tanto, foi necessário submeter o resíduo a um processo de moagem contínuo e específico para que suas características fossem adequadas à pesquisa.

O agregado miúdo empregado na pesquisa foi a areia quartzosa de rio obtida no comércio de Manaus, a qual passou por uma peneira *mesh* 100, sendo descartado o material que ficou retido e às impurezas.

O aditivo usado foi o GLENIUM SP, aditivo superplastificante de terceira geração, baseado em Naftaleno sulfonado. Este aditivo foi desenvolvido para produção de concreto fluído e de alto desempenho, propiciando uma superplastificação e alta redução de água, tornando a pasta cimentícia com maior trabalhabilidade sem alterar seu tempo de pega. Suas principais propriedades, segundo o fabricante, são: a alta taxa de redução de água, cerca de 20%; aumento da coesão e redução da segregação; aumento da trabalhabilidade da pasta; facilita o adensamento e o lançamento em forma; reduz o fator água-cimento; aumenta à resistência a compressão; aumenta à resistência a flexão; aumenta o módulo de elasticidade; aumenta a durabilidade do concreto; redução de permeabilidade; redução de fissura; e é

compatível com todos os tipos de cimento Portland e atende os requisitos das normas brasileiros NBR11768 (Aditivo para concreto de cimento Portland).

A água utilizada nas fases experimentais foi proveniente de poços artesianos localizados dentro da universidade, que abastece o Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade Federal do Amazonas, onde foram realizados.

Nesta pesquisa foi utilizada a fibra vegetal MALVA, cedida pela empresa Brasjuta da Amazônia S/A fiação, tecelagem e sacaria, localizada na Avenida Guaruba, 288, Distrito Industrial, Manaus/AM; sendo abastecida pelo município de Manacapuru. As fibras doadas para esta pesquisa apresentavam-se em condições de comercialização (Figura 3), ou seja, organizadas em lotes, lavadas e sem nenhum tratamento.



Figura 3 - Lotes de malva.

## 3.2 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

### 3.2.1 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE MALVA

Para caracterizar a fibra de malva, vale ressaltar que inicialmente dos 13 kg de fibras coletados, realizou-se uma classificação em relação ao seu comprimento e diâmetro. Aleatoriamente, do total foram selecionadas 20 gramas de fibras, que equivale em média a 300 fios, sendo obtidos para esta amostragem os resultados em termos de diâmetro, comprimento e seus coeficientes de variância (CV).

As fibras foram cortadas num comprimento de 40 cm, e penteadas para garantir a linearidade dos fios, sendo separadas para as demais etapas da pesquisa.

Depois, as fibras foram costuradas na horizontal, para garantir a sua distribuição mais homogênea e retilínea na placa. 50% das fibras naturais e hornificadas passaram pelo tratamento a base de verniz extra rápido, a base de água, para garantir que a água da pasta não penetrasse nas fibras. Para tanto, as fibras ficaram submersas no verniz, por 20 minutos, garantindo que toda fibra ficasse completamente impermeabilizada, e assim foram preparadas as fibras para a produção do compósito que se deseja (Figura 4).



Figura 4 - Processo de preparação das fibras, compreendendo (A) e (B) coletadas na fábrica, (C) costura das fibras, (D) e (E) processo de hornificação, (F) imersão das fibras com verniz e (G) Fibras naturais sem tratamento.

## CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

Além disso, parte das fibras naturais sem qualquer tratamento foi submetidas aos ensaios de caracterização química conforme as normas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Normas e referências bibliográficas da caracterização química da fibra.

<b>Análises</b>	<b>Referência bibliográfica</b>
Teor de extrativos	ABTCP M3/69
Teor de extrativos totais	NBR 14853
Teor de lignina insolúvel / ácida	NBR 7989
teor de inorgânica	NBR 13999
Determinação da lignina	TAPPI T222 M-88
Extração da celulose	ABTCP - TAPPI 2000

Conforme as normas, a caracterização da fibra de malva se deu inicialmente com o preparo das amostras, onde uma porção de 200g de fibra com 40 cm de comprimento foi moída no moinho de facas, para um tamanho de partículas finas de modo a garantir a reação completa com os reagentes utilizados na análise. Antes do ensaio, preparou-se o Extrator Soxhlet (balão de destilação, corneta e condensador), adicionando pérolas de vidro no interior do balão, assim evitando risco de explosão durante o processo de fervura dos solventes. Em seguida, deu-se início ao processo de extração I, realizado por cerca de 6 a 8 horas, mantendo-se o líquido em ebulição, de modo que ocorresse a sifonação pelo menos 4 vezes por hora.

Passou-se então para a fase de pós-extração I, onde após a extração com etano-tolueno, transfere-se as amostras a um funil de Buchner, uma amostra por vez, devendo-se atentar, para o peso do papel de filtro, para reduzir o erro em caso de resíduos da amostra nestes.

No processo de filtração I, com a bomba a vácuo, removeu-se o excesso de solvente da amostra do funil Buchner, este com filtro de papel, por sucção através da mangueira, fazendo sua passagem pelo Kitassato e lavou-se os cartuchos com álcool etílico para remover a solução, sendo este procedimento repetido para as 3 amostras separadamente.

Para o processo de extração II, cada amostra separadamente foi recolocada no cartucho de Extração I, para extração com etanol a 95% durante 4 horas e Etanol a 95%.

No processo de refluxo transferiu-se as amostras para um balão de 1000ml, adicionou-se 500ml de água destilada em ebulição e levou-se ao balão com a amostra durante 1 hora para o equipamento que garantiu o refluxo, passando ao processo de filtração II, onde se removeu o excesso de solvente por sucção, e lavou-se os cartuchos com água destilada em ebulição para remover a solução esse procedimento foi repetido para as 3 amostras separadamente sendo obtida a “amostra pós-processos” ou processo de amostra final onde se levou a “amostra pós-processo” para a estufa, até atingir um peso constante.

Ao ser retirado, destinou-se esta amostra ao dessecador, para assim resfriar até a temperatura ambiente, garantindo o baixo teor de umidade, e pesou-se na balança analógica, chegando a “amostra final”.

Com a amostra final foi determinado o teor de lignina (Figura 5), pesou-se 1g da amostra final e adicionou-se 15 ml de ácido sulfúrico 72% ( $H_2SO_4$ ), deixando-a descansar por 24 horas em temperatura ambiente, então, adicionou-se 560ml de água destilada ( $H_2O+H_2SO_4$ ), logo após, levou-se ao sistema de refluxo por 4 horas. E em seguida, iniciou-se o processo de filtragem, onde se filtra a solução após as 4 horas, em um cadinho de placa porosa, lavando-se várias vezes com água destilada, para assim, filtrar a lignina insolúvel no ácido. A lignina, resultado do processo anterior, deve ser levada uma estufa a  $600^\circ C$  até obter um peso constante, chegando-se assim na lignina obtida da amostra.

Para extração da celulose (Figura 6) pesou-se 1g da “amostra final”, adicionou-se uma porção de 25ml, de uma solução de 90ml de ácido-nítrico e 732ml de ácido acético glacial. Em seguida, iniciou-se o processo de filtragem, onde foi removido o excesso de solvente por sucção, e lavaram-se os cartuchos com água destilada em ebulição para remover a solução, assim a celulose, resultado do processo anterior, foi levada para uma estufa a  $600^\circ C$  até obter um peso constante e chegar à celulose obtida.

A determinação dos teores de extrativos, lignina e celulose foram obtidas pelas equações (3.1), (3.2) e (3.3) respectivamente.

$$E = \frac{M_i - M_f}{M_i} \quad (3.1)$$

Onde:

E = teor de extrativo (%);

Mi = Massa inicial (g);

Mf = Massa final (g).

$$L = \frac{Pl}{Pa} \quad (3.2)$$

Onde:

L = teor de lignina (%);

Pl = Peso da lignina obtida (g);

Pa = peso da amostra inicial (g).

$$C = \frac{Pc}{Pa} \quad (3.3)$$

Onde:

C = teor de celulose (%);

Pc = Peso da celulose obtida (g);

Pa = Peso da amostra inicial (g).

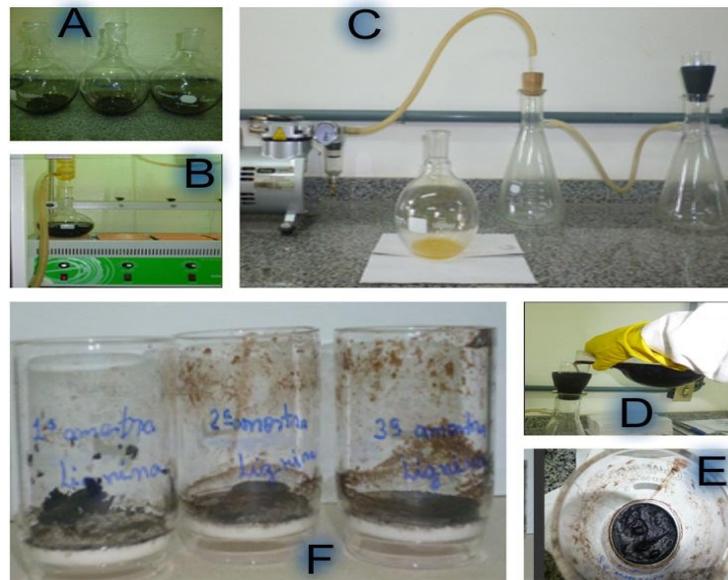


Figura 5 - Processo de obtenção da lignina, onde (A) amostra + (H<sub>2</sub>SO) com 24 horas, (B) processo de refluxo, (C) e (D) processo de filtragem, (E) lignina retida na placa e (F) lignina obtida.

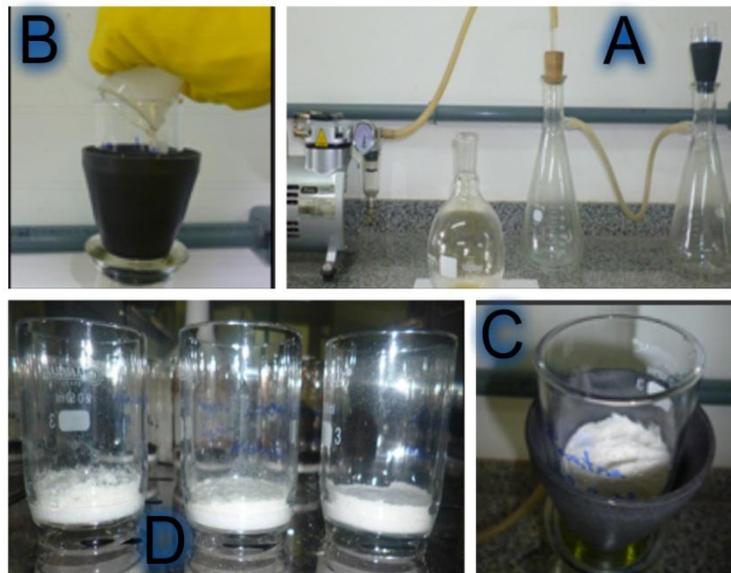


Figura 6 - Processo de extração da celulose, onde (A) processo de filtragem, (B) adição da amostra, (C) resultado obtido da celulose antes da estufa e (D) processo final, celulose obtida após a estufa.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA

Num primeiro instante as fibras foram separadas em dois grandes grupos, o primeiro com as fibras que seriam submetidas ao processo de hornificação, e o segundo, com as fibras sem tratamento que seriam submetidas aos ensaios e a produção dos compósitos.

Para o processo da hornificação, as fibras foram organizadas em maços com aproximadamente 100 g cada e comprimento de 40cm, sendo estas submetidas a 10 ciclos de molhagem e secagem, de acordo com o trabalho realizado por Ferreira (2012), tendo a duração de 24 horas por ciclo, sendo 12 horas noturnas de molhagem a uma temperatura ambiente em média de 15°C e 12 horas diurnas de secagem a uma temperatura ambiente em média de 28°C.

Em cada maço de 100g de fibras foi escolhido um fio, para que durante todo processo de hornificação, fossem observados sua variação dimensional e a capacidade de absorção de água das fibras (ANEXO 1) e no final dos 10 ciclos foi realizado o ensaio de tração direta nestas fibras hornificadas para analisar seu comportamento em relação à tensão-deformação, observando sua tensão de ruptura, deformação de ruptura e módulo de elasticidade.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos (LAMAC) da Universidade Federal do Amazonas, sendo utilizados para observar a variação dimensional e a capacidade de absorção de água das fibras selecionadas durante o processo de hornificação uma máquina fotográfica, uma balança de precisão, uma lupa tipo microscópio portátil “Carton”, com ampliação de 60 vezes, e o programa “Image J”.

Foram feitas medições em cada intervalo de ciclos de molhagem e secagem (ANEXO 1), valendo ressaltar que a capacidade de absorção de água foi determinada pela subtração do peso molhado da fibra pelo seu peso seco, dividido pelo seu peso seco, a qual é expressa em porcentagem, como mostra a equação 3.4.

$$Aa = \frac{Fm - Fs}{Fs} * 100 \quad (3.4)$$

Onde:

$A_a$  = Absorção da água (%);

$F_m$  = Fibra molhada (g); e

$F_s$  = Fibra seca.

O ensaio de tração direta foi realizado pela máquina de ensaio Shimadzu AGX – 500kN (Figura 7), utilizando uma célula de carga de 1kN e velocidade de 1,0 mm/mim, no laboratório de tecnologia da Universidade de Brasília no polo de Gama. As fibras foram presas a um molde de papel para alinhamento na máquina e aderência entre a garra superior e inferior, de acordo com a norma ASTM C1557. (ASTM C 1557, 2008).

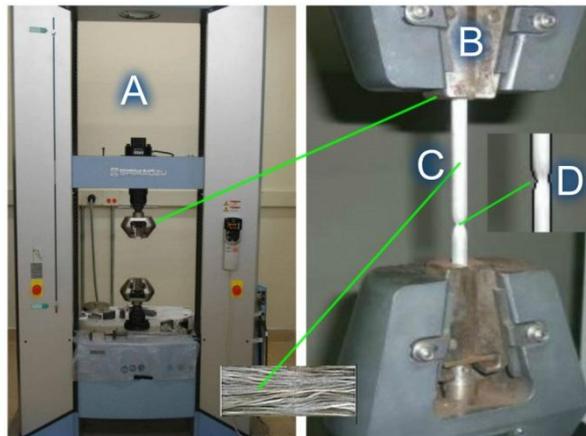


Figura 7 - Ensaio de tração direta das fibras, onde (A) equipamento Shimadzu AGX, (B) garras do equipamento, (C) fibras e (D) fibra tracionada.

Em um segundo instante, 50% das fibras hornificadas e naturais passaram por um tratamento impermeabilizante à base de verniz, com o objetivo de evitar a troca de água da matriz cimentícia com a fibra do compósito.

No processo de impermeabilização fez-se o uso do verniz a base de solvente com secagem extra rápido (Figura 8-A), utilizou-se um reservatório e dois pincéis para facilitar a imersão das fibras e garantir a uniformidade e eficiência do verniz (Figura 8-B). As fibras foram submersas, em movimentos lentos com ajuda dos pincéis, por cerca de 3 minutos para

cada maço de fibras (Figura 8-C). Após o processo de imersão das fibras, estas foram retiradas e estendidas num piso de concreto, expostas ao sol, a uma temperatura média de 30°C, para a secagem por cerca de 1 horas (Figura 8-D), sendo em seguida armazenadas em caixas abertas de madeira até o dia da confecção do compósito.



Figura 8 - Impermeabilização das fibras, onde (A) verniz utilizado, (B) recipiente para imersão, (C) fibras imersas e (D) fibras tratadas secas.

### 3.2.2 PROCESSAMENTO DO RESÍDUO CERÂMICO.

Para a utilização do resíduo cerâmico nos compósitos desta pesquisa, foi necessário um processo sequencial de moagem destes resíduos (Figura 9). Primeiramente fez-se uma seleção desses resíduos em cascalhos, para assim garantir um material limpo e sem interferência de outro material que estivesse misturado.

Em seguida, colocou-se esses cascalhos em uma caixa de madeira de 0,5x0,5x1m, para ser sovado por um equipamento compactador de solo manual, com a ideia de diminuir ao máximo sua granulometria, sendo estes procedimentos executados pelo II Grupamento de Engenharia.

O resíduo sovado foi submetido a três ciclos em uma máquina extrusora, no Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Amazonas, que após estes ciclos o material passou pela peneira 30 (abertura 0,6mm), conforme a NBR 7217 – 1987, sendo em seguida separado em 100 porções de 200g.

Cada porção de 200g, durante 4 horas, sofreu um processo de moagem em moinho de bolas, para assim garantir um material que passasse na peneira 200, como esperado. Logo o material moído foi peneirado empregando-se uma peneira 200, de abertura de 0,074mm, para se obter uma granulometria mais próxima a do cimento. Assim, o material que passou pela peneira 200 foi separado em porções exatas, de acordo com o traço previamente definido, enquanto que o material retido foi levado por mais quatro horas para o moinho de bolas para assim ser submetido à peneira 200 mais uma vez e o retido descartado.

Para a caracterização deste resíduo final, passante na peneira 200, foi realizado o ensaio de fluorescência, no Laboratório de Materiais Amazônicos e Compósitos (LAMAC) da Universidade Federal do Amazonas, com o auxílio do laboratorista, o equipamento empregado foi o “PANalytical Epsilon 3 – XL”, vide Figura 10.

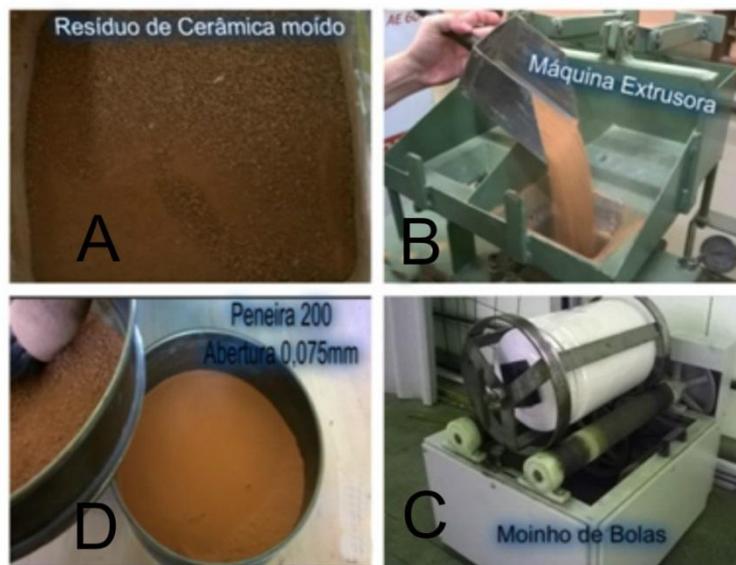


Figura 9 - Preparação do resíduo cerâmico, compreendendo (A) Resíduo sovado, (B) passagem pela máquina extrusora, (C) moagem no moinho de bolas e (D) peneiramento.



Figura 10 - Caracterização do resíduo cerâmico.

### **3.2.3 PRODUÇÃO DA MATRIZ CIMENTÍCIA COM BAIXO TEOR DE HIDRÓXIDO DE CÁLCIO LIVRE**

Quanto ao comportamento das placas produzidas com matrizes com baixo teor de  $\text{Ca(OH)}_2$  e reforçadas com fibras longas de malva, estas foram produzidas e estudadas com relação ao comportamento físico e mecânico: consistência média de acordo com a (NBR 13276, 2005), resistência à compressão, módulo de elasticidade, deformação de ruptura e resistência à tração indireta, considerando as particularidades de cada placa. Tais ensaios serão descritos a seguir, antes, porém, será descrito o processo de produção das placas.

Os estudos das dosagens das misturas, ANEXO 2, necessário para a determinação de uma formulação correta para a produção da placa, ANEXO 3, iniciou-se com a produção da matriz, onde primeiramente por 2 minutos são levados a argamassadeira os constituintes secos, tais como cimento, resíduo moído, metacaulinita e areia. Em seguida o superplastificante é disperso na água, sendo logo depois acrescentada a massa seca lentamente e misturados por cerca de 5 minutos, até tornar-se uma massa homogênea.

Para a produção do laminado a matriz deve ser distribuída como planejado na pesquisa, assim como também as fibras; utilizando uma espátula para sua regularização, sendo o compósito montado sempre com uma camada de fibras intercaladas por camada de argamassa, onde o ideal é que após a sua montagem o compósito seja colocado em uma mesa vibratória sendo posta a vibrar até que apareça um filme de água na superfície da camada

superior. Melo Filho (2005) sugere ainda que após o processo de vibração o compósito seja submetido a uma pressão de 50 toneladas.

Para os ensaios a serem realizados após o processo de moldagem, o ideal, é que as placas sejam cobertas 24 horas por uma manta úmida, depois levadas a uma câmara úmida por 28 dias. Assim estará pronta para passar por todos os ensaios necessários para caracterizar este compósito.

### **3.2.4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DAS PLACAS DOS COMPÓSITOS**

O processo de produção das placas se deu em dois momentos, onde o primeiro refere-se à escolha e caracterização dos materiais a serem usados, já descritos anteriormente, e o segundo ao processo prático de produção e confecção das placas.

O processo prático consistiu da seguinte sequência:

1) Escolha dos traços conforme o objetivo da pesquisa, baseados na pesquisa de Melo Filho (2005), traços esses 1:1:0,4 e 1:2:0,4 (aglomerante, agregado e água/aglomerante; respectivamente) em busca de um compósito com boa resistência e durabilidade. Para cada traço foram moldadas placas empregando os seguintes materiais aglomerantes: 100% de cimento; 50% de cimento e 50% de resíduo cerâmico moído; 70% de cimento e 30% resíduo cerâmico moído. Além disso, foi empregado 1% de superplastificante e 6% de fibras longas de malvas, sendo moldadas placas com fibras tratadas e outras com fibras não tratadas;

2) Escolha da forma: forma de acrílico de 40x40x1cm, devendo esta ser untada com óleo 15w/40, antes de receber a argamassa e o reforço;

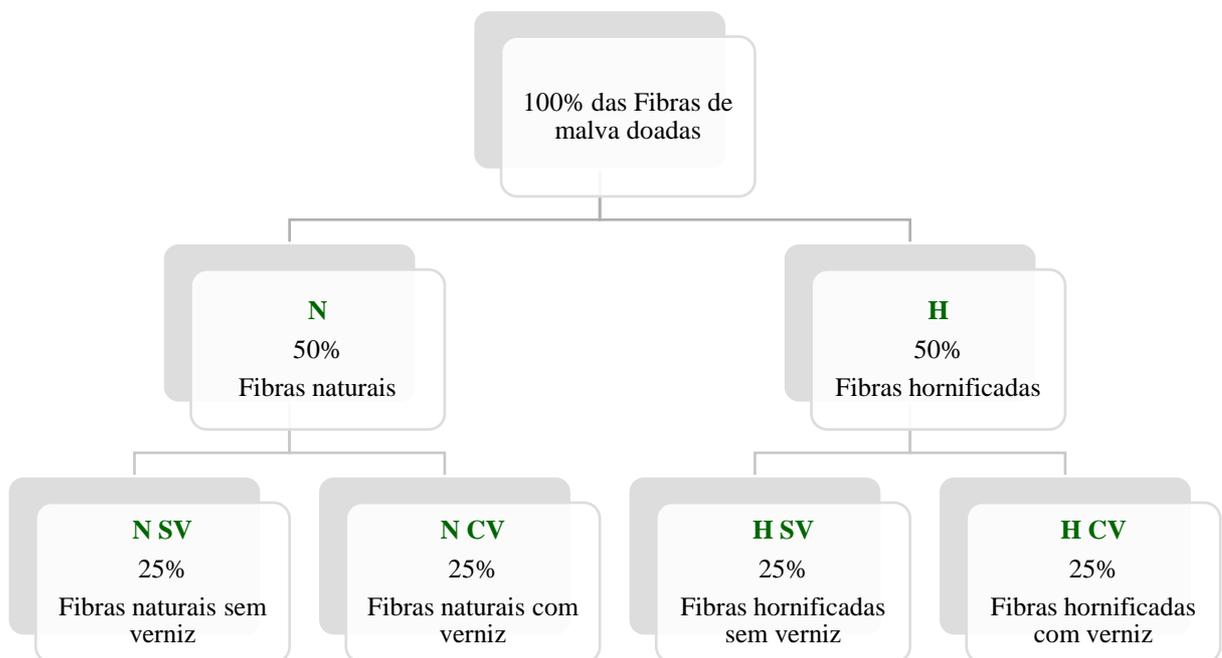
3) Nomenclatura dos compósitos (organograma 1), onde:

→ **A**- refere-se ao traço 1:1:0,4;

→ **B**- refere-se ao traço 1:2:0,4;

- **H**- fibras hornificadas;
- **N**- fibras naturais ou não hornificadas;
- **CV**- fibras impermeabilizadas com verniz;
- **SV**- fibras sem impermeabilização;
- **70%**- substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico;
- **50%**- substituição de 50% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico;

Assim temos a nomenclatura dos compósitos, como por exemplo o compósito **AHCV70**, compósito com traço A, com fibras hornificadas e impermeabilizadas e com substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico.



Organograma 1 - Nomenclatura das fibras de acordo com seu tratamento

Vale ainda ressaltar que a escolha desses tratamentos, foi baseada em resultados satisfatórios em pesquisas realizadas, como mostra o item 2.4 – Tratamento das fibras. Assim dando ênfase e embasamento para que esta pesquisa tenha resultados satisfatórios.

4) Pesagem prévia de cada componente conforme as quantidades apresentadas no ANEXO 2, para assim facilitar a confecção das argamassas;

5) Iniciou-se a produção da argamassa para a confecção da placa A (Placa com traço 1:1:0,4 sem fibras), como descrito no ANEXO 3. As Figuras 12 e 13 mostram a moldagem e a desforma da placa respectivamente;

6) Após a cura em câmara úmida por 28 dias foram preparadas as amostras para os ensaios físicos e mecânicos, sendo estas obtidas através do corte das placas empregando uma máquina de corte (Figura 13); e

7) Repetiu-se os procedimentos para todas as demais placas confeccionadas.

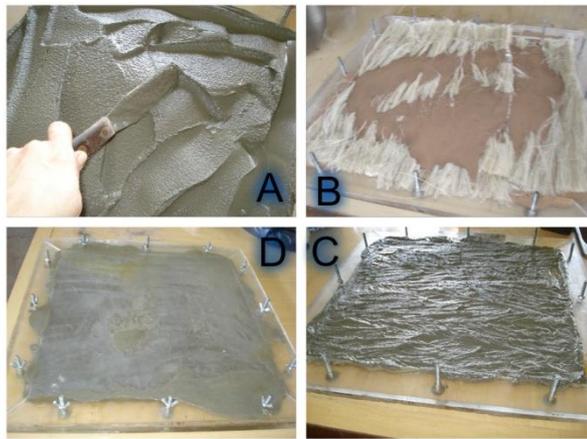


Figura 11 - Produção das placas, onde (A) distribuição das camadas de argamassa com espátula, (B) Colocação das fibras sobre a camada de argamassa, (C) colocação da última camada de argamassa e (D) fechamento final da forma.



Figura 12 - Desforma das placas, onde (A) placa após 24 horas de moldagem, (B) retirando as placas da forma e (C) e (D) placas após a desforma.



Figura 13 - Corte das placas para preparação de amostras para ensaios.

### **3.3 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS**

Para a análise das características mecânicas das placas foi necessário à realização de três tipos de ensaios mecânicos: tração direta; flexão em 4 pontos e flexão em 3 pontos; todos realizados no laboratório para ensaios mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica da UnB, no equipamento MTS 810 (Figura 19), com a montagem dos acessórios de acordo com cada ensaio realizado. Além disso, para que fosse avaliado o consumo de hidróxido de cálcio foram realizados ensaios de termogravimetria nas pastas conforme os traços definidos e de acordo com o percentual de aglomerantes.

#### **3.3.1 ENSAIO DE TERMOGRAVIMETRIA**

O  $\text{Ca(OH)}_2$  quando submetido a temperaturas entre  $420^\circ\text{C}$  e  $600^\circ\text{C}$  se decompõe quimicamente e perde água em um processo de desidratação ou desidroxilação, deste modo o ensaio termogravimétrico, que é um processo contínuo que envolve a medida da variação de massa da amostra em função da temperatura e/ou tempo, torna-se uma ferramenta útil para a identificação deste composto. Sendo assim, buscou-se realizar esse ensaio com a finalidade de verificar se os compósitos produzidas com o resíduo cerâmico realmente estavam isentos de  $\text{Ca(OH)}_2$ .

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Físico-química da Universidade de Brasília, empregando-se o equipamento TG/DTA marca Shimadzu, modelo TGA-50, conforme mostrado na Figura 14, cujas principais características deste equipamento estão apresentadas no Quadro 2.



Figura 14 - Equipamento utilizado no ensaio termogravimétrico.

Quadro 2 - Descrição do equipamento utilizado no ensaio termogravimétrico.

Equipamento	TG / DTA
Fabricante	Shimadzu
Modelo	TGA - 50
Composição	Micro balança
	Forno
	Programador de temperatura
	Sistema de aquisição de dado computacional
Faixa de temperatura	Ambiente a 100°C
Faixa de medição de peso	20 mg e 200 mg
Leitura	0,001 mg
Massa da amostra	1 g incluindo tara

Fonte: fabricante

Na realização do ensaio foi adotada uma variação de temperatura de 0 a 1000°C e uma velocidade de 10°C/min. Colocou-se o cadinho vazio no equipamento, para zerar a massa desse recipiente, em seguida, retirou-se o cadinho do equipamento para adicionar a amostra de 1g da pasta de cimento e resíduo cerâmico, com 1 e 28 dias de hidratação. Retornou-se o cadinho com amostra para o equipamento e iniciou-se a leitura de variação da

massa da amostra com variação de temperatura, dentro da faixa pré-estabelecida, finalizando o procedimento com a retirada e limpeza do cadinho do equipamento.

As informações ficaram gravadas no computador, sendo posteriormente gerada a curva de variação de massa em porcentagem pela variação de temperatura e tempo sendo realizados 4 ensaios, individualmente, para as pastas das placas produzidas nesta pesquisa.

### 3.3.2 ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA

O ensaio de tração direta foi realizado em uma prensa MTS 810, Sistemas de Testes Universais Eletromecânicos; com garras SERIE 647; Tipo Garras em cunha hidráulica, gerenciada por um programa computacional (Figura 15).

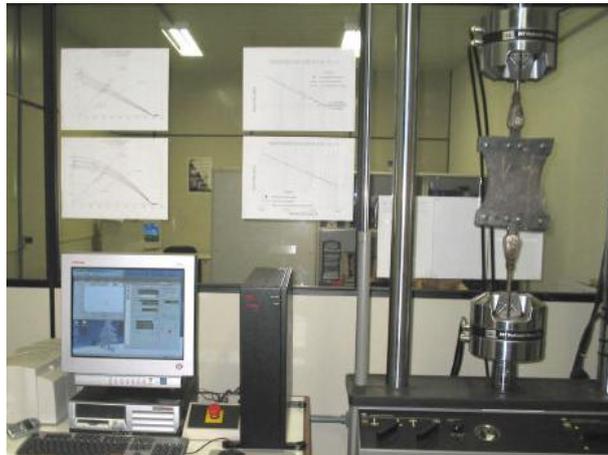


Figura 15 - Equipamento empregado no ensaio de tração.

As amostras para avaliação das propriedades de resistência a tração direta do compósito em estudo foram confeccionadas nas dimensões de 100x400x10 mm (Figura 16– A), sendo fixadas por um dispositivo (Figura 16 – C) ligado as garras da prensa (Figura 16 – D).

A placa foi tracionada a uma velocidade constante de 10mm/min até sua ruptura, havendo um alongamento vertical (Figura 16- B e E) o qual foi medido por sensores de medição do deslocamento linear, LVDT's, a aplicação destes sensores foi feita de acordo com

a pesquisa de Melo Filho (2009). Deve-se lembrar de que durante todo ensaio foi realizada a aquisição de dados em termos de deslocamentos e cargas até a ruptura da placa.

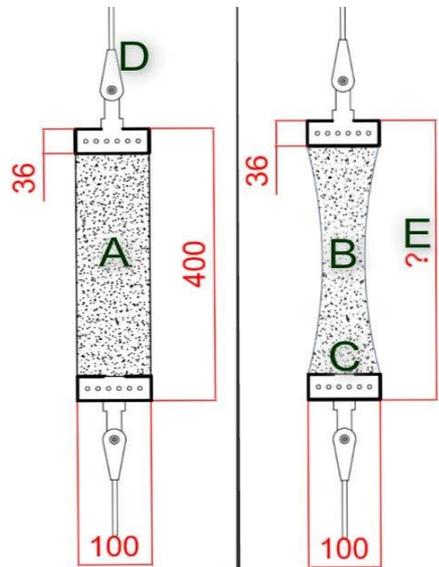


Figura 16 - Dispositivo para ensaio de amostras das placas à tração direta, onde (A) placa para ensaio, (B) Placa tracionada, (C) dispositivo fixador, (D) garra da prensa e (E) alongamento devido à tração.

Vale ressaltar que antes de iniciar o ensaio, alguns procedimentos devem ser realizados no programa computacional que gerencia a prensa, para garantir um procedimento correto do ensaio. Procedimentos estes que são apresentados no ANEXO 5.

### 3.3.3 ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS

Para a realização do ensaio de flexão em quatro pontos foi necessário seguir os seguintes passos:

1. Para o posicionamento da placa no equipamento, seguiu-se o mostrado na Figura 17, lembrando que a placa tem o comprimento de 400mm e que os roletes superiores devem ficar numa distância de um terço do comprimento total da placa ao centro da placa apoiada nos roletes inferiores. Os roletes possuem um diâmetro de 12mm;

2. Com o dispositivo de flexão bem fixado no atuador, deve-se atentar para o posicionamento adequado dos roletes em relação às réguas disponíveis do equipamento;
3. As amostras das placas que foram ensaiadas apresentavam as dimensões de 100x400x10mm, sendo necessário o ajuste do dispositivo do equipamento de ensaio, para assim evitar folgas, vibrações indesejáveis e escorregamento durante os testes, garantindo a exclusão de toda e qualquer interferência nos resultados esperados;
4. Em seguida, foi posicionada a placa sobre os roletes inferiores e alinhada ao dispositivo;
5. As placas foram alinhadas com ajuda de um esquadro e um bloco de aço, de modo garantir a perpendicularidade entre as placas e os roletes de apoio;
6. Com a máquina e o computador ligados, finalmente, foi posicionado o atuador de modo que houvesse o contato entre a placa e os roletes superiores, sendo este feito através da estação remota de controle, que possui um ajuste manual fino de controle do atuador, permitindo observar as mínimas cargas lida pela estação, isto desde que, haja o contato correto entre a placa e os roletes;
7. Verificou-se visualmente, pouco antes do contato, a necessidade de zerar a força lida na estação, assim evitando qualquer efeito residual de ajuste nos leitores;
8. Em todos os ensaios foram utilizados uma carga inicial mínima de 20 a 30 N, sobre as placas ensaiadas, para evitar possíveis deslocamentos, deformações, impactos e movimentações, e garantir ainda o contato já mencionado;
9. Com o contato certo e a placa fixa, zerou-se o deslocamento lido pela máquina, para obter uma leitura adequada de deslocamento durante o teste;
10. Assim, verificou-se a ativação dos “*interlocks*”, um mecanismo de segurança utilizado pelo software para evitar que a máquina seja danificada; pois sua principal função é o desligamento da máquina uma vez que os patamares determinados, de força ou deslocamento, sejam ultrapassados;

11. Lembrando ainda, que, para se evitar choques sobre as placas, é recomendável o uso de uma frequência inicial baixa, onde iniciou-se com 0,1 Hz e aumentando gradativamente até o de 10 Hz, valor onde se verificou que as forças mínimas e máximas estavam estabilizadas nos valores esperados (Figura 18).

12. Em seguida, o ensaio foi realizado medindo-se em intervalos de tempo pré-definidos o valor da carga aplicada e o deslocamento no centro do vão. Os resultados foram expressos em tensão de tração na flexão, onde foram utilizadas as equações 3.4 a 3.8 para os cálculos da mesma. E para calcular os índices de tenacidades pelo método da RILEM (1984), calculando-se a área sob a curva do gráfico carga x deflexão até a ruptura e dividindo o valor encontrado pela área da seção transversal (Melo Filho, 2012).

$$\sigma = \frac{6M}{bd^2} \quad (3.4)$$

$$T = \frac{A}{bd} \quad (3.5)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão de tração na flexão;

M = momento de inércia;

T = energia absorvida;

b = largura da amostra;

d = altura da amostra; e

A = área do gráfico carga x deflexão.

Para o cálculo do módulo de elasticidade dos compósitos através dos resultados dos ensaios de flexão em quatro pontos foi empregada a equação 3.8, a qual é obtida da resistência dos materiais.

$$E = \frac{23L^3}{1296I\left(\frac{P}{\delta}\right)} \quad (3.8)$$

Onde  $(P/\delta)$  é o coeficiente da reta obtida da curva  $P \times \delta$  (carga flecha) no trecho elástico.

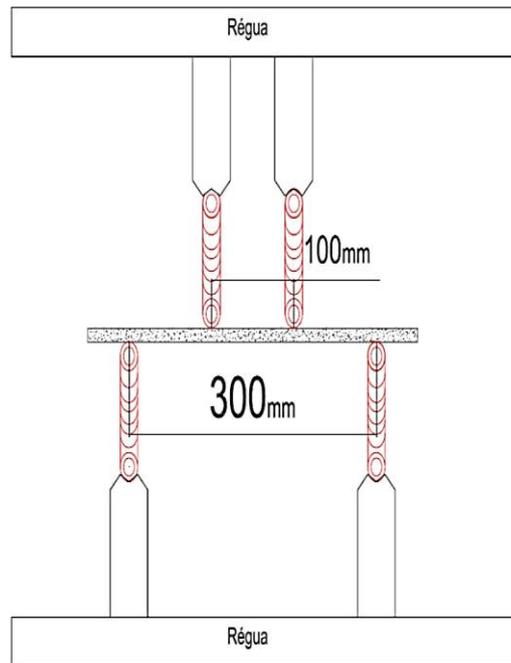


Figura 17 - Posicionamento da placa para o ensaio de flexão em quatro pontos.

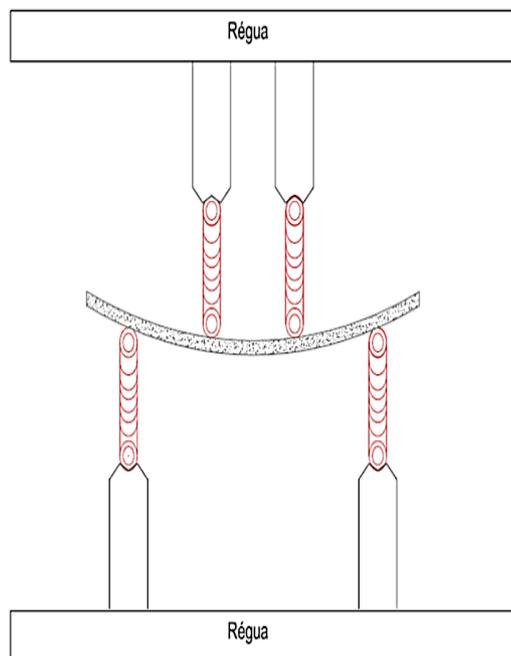


Figura 18 - Placa fletida durante o ensaio de flexão em quatro pontos.

### 3.3.4 ENSAIO DE FLEXÃO EM 3 PONTOS

Para a realização do ensaio de flexão em três pontos (Figura 19) foi necessário seguir os mesmos passos descritos para o ensaio de flexão em quatro pontos, pois se trata de ensaios realizados no mesmo equipamento MTS 810 (Figura 15) com mudanças das garras e dispositivos, conforme observado nas Figuras 20 e 21. Porém, a tensão normal foi determinada para cada instante de carga e deslocamento no centro do vão por meio da equação 3.9 definida pela resistência dos materiais:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (3.9)$$

Para o cálculo do módulo de elasticidade dos compósitos através dos resultados dos ensaios de flexão em três pontos, foi adotada a fórmula conhecida da resistência dos materiais. O módulo de elasticidade é obtido da equação da flecha no vão central em função da força aplicada (equação 4.0), ressaltando que a deflexão ( $df$ ) foi medida pelo programa computacional.

$$E = \frac{PL^3}{4bd^3 \cdot df} \quad (4.0)$$

Onde (Para as equações 3.9 e 4.0):

$\sigma$  = tensão de flexão em três pontos;

P = Carga de aplicação;

L = Distância entre os apoios inferiores ao superior;

B = largura da amostra;

d = altura da amostra e

df = deflexão da placa.

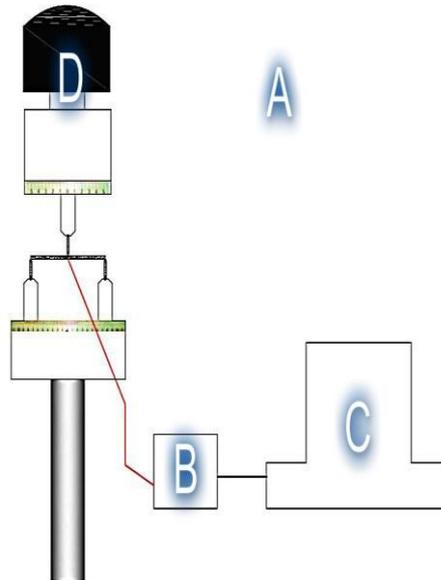


Figura 19 - Ensaio de flexão em três pontos, sendo (A) esquema para realização do ensaio, (B) Equipamento de aquisição de dados, (C) computadores e (D) acessórios com sensores de ajustes e carga.

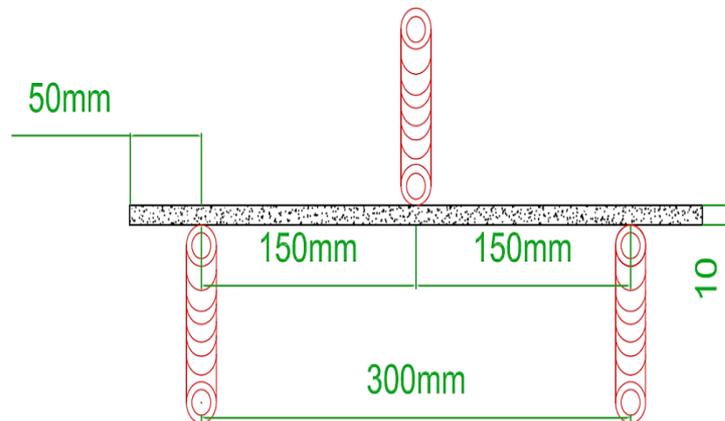


Figura 20 - Posicionamento da plana para o ensaio de flexão em três pontos.

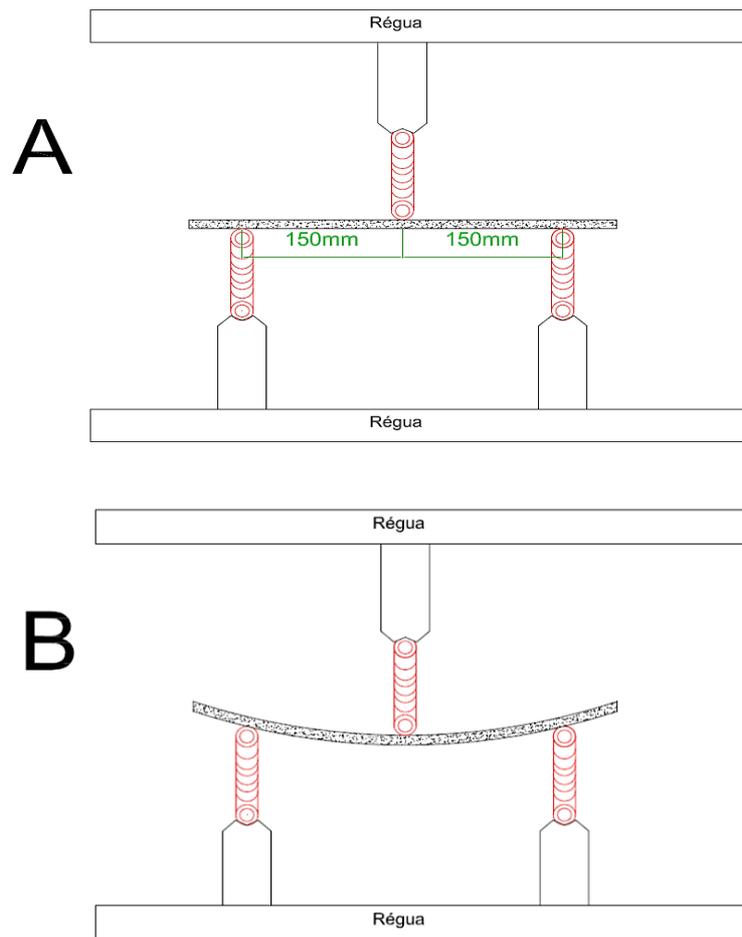


Figura 21 - Placas no ensaio de flexão em três pontos, onde (A) placa no início do ensaio e (B) durante o ensaio.

## 4. PRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste item são apresentados e analisados os resultados dos ensaios químicos, físicos e mecânicos realizados nos materiais que compõe a matriz cimentícia, nas fibras de malva e nos compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de malva.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

A areia utilizada neste compósito é uma areia quartzosa de rio, com massa específica de  $2,67\text{g/cm}^3$ ; e que apresenta para o módulo de finura (MF) o valor de 2,55 determinado pelo ensaio de granulometria, cuja curva granulométrica é mostrada na Figura 22.

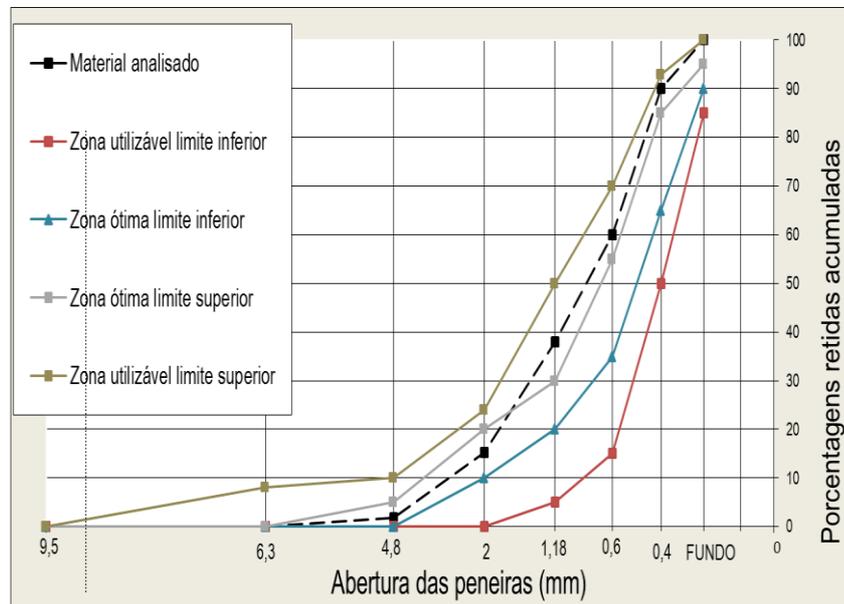


Figura 22 - Granulometria da areia, com referência às zonas ótimas e utilizáveis padronizadas (NBR 7217:1987 e NBR 7211:2009).

Assim observa-se, conforme a Figura 22, que a areia utilizada na pesquisa está de acordo com a norma (NBR 7211, 2009), e que esta é classificada como uma areia média ótima de acordo com norma (NBR NM -248, 2003); logo, a areia é ideal para esta pesquisa.

Quanto ao cimento, de acordo com o procedimento realizado e descrito no item 3.1, possui propriedades físicas e composição química de acordo com aquelas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2 - Propriedades físicas e composição química do cimento CP II F-32.

<b>Propriedades físicas e químicas</b>		<b>CP II F - 32</b>
Óxido de Cálcio	CaO	63%
Óxido de Silício	SiO <sub>2</sub>	20%
Óxido de Alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5%
Óxido de Ferro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3%
Óxido de Magnésio	MgO	3%
Óxido de Potássio	K <sub>2</sub> O	1%
Óxido de Sódio	Na <sub>2</sub> O	0%
Resíduo insolúvel		1%
Densidade		3,10 g/cm <sup>3</sup>
Perda ao fogo		2,54%

Logo, analisando-se os resultados de acordo com a norma (NBR 11578, 1991), onde MgO  $\leq$  6,5%, perda ao fogo  $\leq$  6,5% e resíduo insolúvel  $\leq$  2,5%, observa-se que o cimento utilizado nesta pesquisa se enquadra nas condições da norma citada.

No resíduo cerâmico utilizado para o compósito, de acordo com o procedimento realizado e descrito no item 3.1, os componentes mais significativos da caracterização química estão descritos na Tabela 4, podendo-se ainda observar que tais componentes apresentaram valores muito próximos àqueles obtidos por Melo Filho (2005) para o resíduo cerâmico empregado por ele e cujos compósitos produzidos com este resíduo apresentaram bons resultados na caracterização mecânica e física.

Tabela 3 - Propriedades químicas do resíduo cerâmico.

<b>PROPRIEDADES QUÍMICAS DO RESÍDUO CERÂMICO.</b>			
		Nesta pesquisa (2016)	Pesquisa de Melo Filho (2005)
Dióxido de Silício	SiO <sub>2</sub>	61,8%	63,9%
Trióxido de Alumínio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,2%	25,5%

Quanto aos ensaios de termogravimetria nas pastas, os resultados são apresentados nas figuras 23 e 24, sob a forma de curvas TG e DTG das pastas com 100% do cimento Portland, com substituição de 30% do cimento pelo resíduo cerâmico e com 50% de substituição do cimento pelo resíduo cerâmico, aos 1 e 28 dias de hidratação destas pastas.

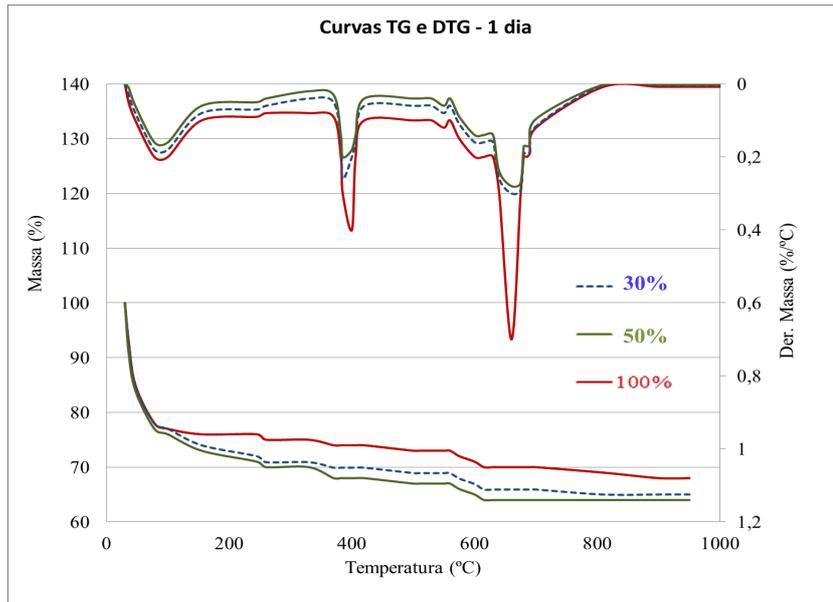


Figura 23 – Curva TG e DTG dos resultados dos ensaios de termogravimetria nas pastas com 1 dia de hidratação.

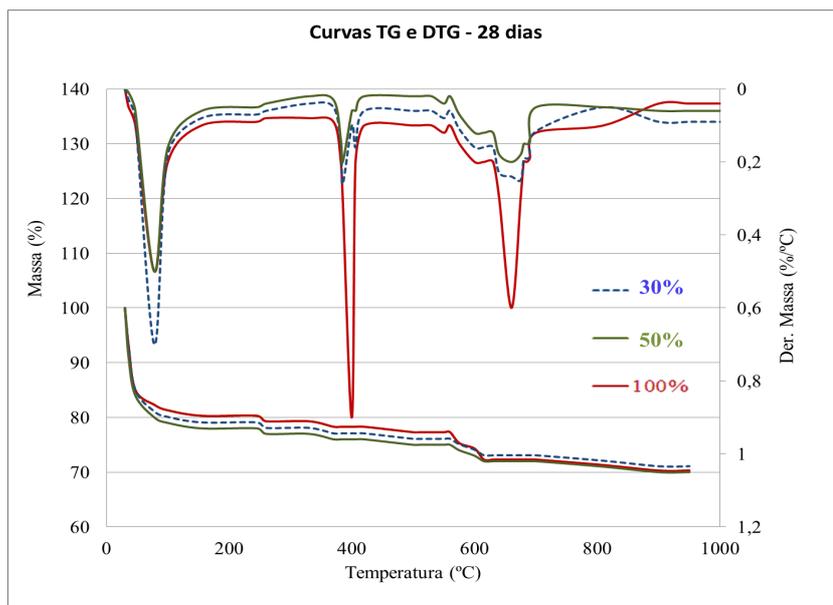


Figura 24– Curva TG e DTG dos resultados dos ensaios de termogravimetria nas pastas com 28 dias de hidratação.

Analisando as Figuras 23 e 24, pode-se observar que com o aumento do tempo de hidratação ocorre uma redução do hidróxido de cálcio livre nas pastas com substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, enquanto que para a pasta com 100% do cimento há um aumento do teor de hidróxido de cálcio.

Quanto a substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, vale ainda ressaltar que a substituição de 50% do cimento pelo resíduo cerâmico apresentou um resultado mais favorável que a substituição de 30%, porém ambas substituições, aos 28 dias de hidratação, nos dão uma redução no hidróxido de cálcio livre nas pastas, como era esperado com base na pesquisa de Melo Filho (2012).

Deve-se observar que mesmo com a substituição de 50% do cimento por resíduo cerâmico o hidróxido de cálcio livre não foi totalmente consumido, uma vez que ainda são observados picos próximos as temperaturas de 400°C e 700°C, os quais indicam a presença do hidróxido de cálcio.

## **4.2 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE MALVA**

Conforme já mencionado, com o auxílio de uma máquina fotográfica, uma lupa tipo microscópio portátil “Carton” e o programa “Image J” foi obtido, para a fibra de malva, o diâmetro médio de 13  $\mu\text{m}$  (CV de 1,39%) e com uma trena a laser foi obtido o comprimento médio de 235  $\mu\text{m}$  (CV de 1,07%).

Além disso, conforme o ensaio de absorção realizado para as amostras de fibras submetidas ao tratamento de hornificação, foi possível determinar a absorção para cada ciclo do tratamento e deste modo montar o gráfico apresentado na Figura 25.

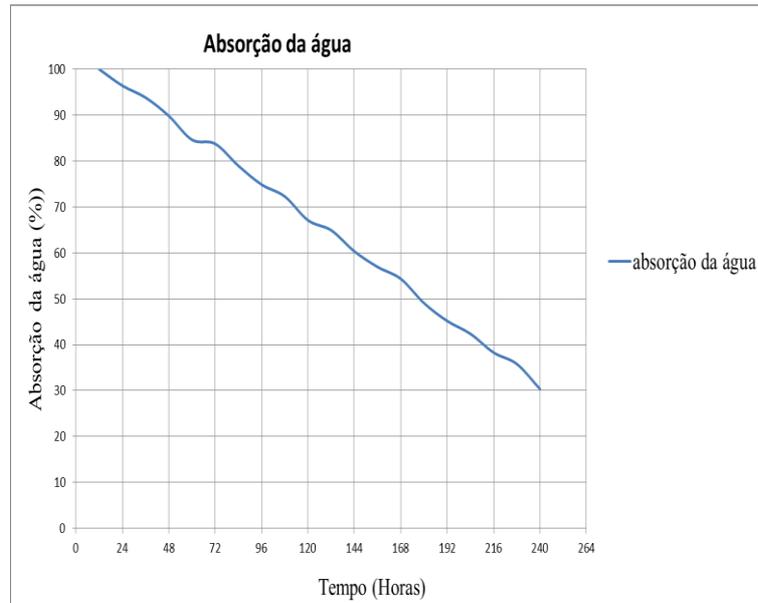


Figura 25 - Absorção da água no tratamento de hornificação.

De acordo com a figura 25, pode-se observar que o tratamento de hornificação nas fibras de malva se mostrou efetivo quanto à diminuição da capacidade de absorção. É possível notar que, no 5º ciclo (que equivale à 120 horas), a absorção das fibras sofreu um decréscimo de cerca de 30% e que no último ciclo (que equivale ao 10º ciclo ou 240 horas), a absorção atingiu este valor.

Vale ressaltar que em outras pesquisas realizadas com fibras vegetais naturais esta absorção ficou em média de 38% no resultado final, como mostra a pesquisa de Marques (2015) com fibras de arumã, Ferreira (2012) com fibras de Sisal e Margem (2013) com fibras de Malva. Contudo, vale notar que estas pesquisas mencionadas adotaram um procedimento de ciclos com curto intervalo de tempo, enquanto que esta pesquisa, intencionalmente, utilizou ciclos com maior intervalo de tempo, com 24 horas por ciclo, para se ter condições melhores de absorção, de modo a garantir um compósito com resultados superiores ao encontrados anteriormente, com maior eficiência e eficácia em seus resultados mecânicos.

Na caracterização química, de acordo com o item 3.2.1 os resultados encontrados para três amostras estão apresentados no **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, os quais são comparados com os obtidos no trabalho desenvolvido por Oliveira (2013). Considerando que, quanto menor for sua variância menor será seu desvio padrão, retratando assim num coeficiente de variação de baixa dispersão e de dados homogêneo, sendo assim, observa-se que os resultados obtidos, em termos de caracterização química, representam mais fielmente as características das fibras empregadas em cada uma das pesquisas.

Quanto à avaliação dos teores de lignina e de celulose, segundo Sousa Pereira (2010), vale lembrar que estes são os principais constituintes das fibras naturais que influenciam diretamente nas propriedades mecânicas de cada fibra, onde a lignina é uma macromolécula tridimensional amorfa, que associada à celulose na parede celular tem a função de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência a ataques microbiológicos e mecânicos nas fibras. Por sua vez, a celulose trata-se de um composto orgânico responsável pela flexibilidade e também resistência das fibras.

Em comparação aos resultados desta pesquisa e a pesquisa de Oliveira (2013), podemos concluir que:

As fibras de malva utilizadas nas duas pesquisas apresentam uma variação quanto as suas características químicas (Tabela 5), podendo ser consideradas devido às fibras vegetais apresentarem variações em suas características de acordo com a posição do talo onde a fibra foi extraída, do local, das condições climáticas e de outros fatores (Marques, 2005).

Uma vez que o teor de lignina é o responsável direto pelo aumento da rigidez e do módulo de elasticidade, e o teor de celulose responsável pela resistência à tração da fibra (Sousa Pereira - 2010), como mostra a Tabela 5, espera-se que os compósitos reforçados com as fibras de malva, produzidos na presente pesquisa, apresente desempenho mecânico equivalentes ou superiores àqueles apresentados no estudo de Oliveira (2013).

Tabela 4 - Resultados da caracterização química da fibra de malva.

Teor de:	<b>Resultados</b>			
	Desta pesquisa		Oliveira (2013)	
	Média	CV	Média	CV
Extrativos totais (%)	18,07	0,098	7,55	0,063
Lignina (%)	16,57	0,048	13,55	0,064
Celulose (%)	78,44	0,009	69,36	0,002

1) Os valores médios para o módulo de elasticidade, da tensão última de tração e da deformação de ruptura das fibras de malvas desta pesquisa foram superiores as pesquisas de Oliveira (2013), em 24%, 15% e 13% respectivamente, como mostra a Tabela 6, o que vem confirmar as observações feitas no parágrafo 1 com relação aos teores de lignina e de celulose.

Tabela 5 – Valores obtidos no ensaio de tração direta da fibra de malva.

<b>Resultados</b>				
Valores médios e coeficientes	Desta pesquisa		Oliveira (2013)	
	Média	CV (%)	Média	CV (%)
Módulo de elasticidade (GPa)	38,42	6,30	30,93	7,82
Tensão última de tração (MPa)	451,12	17,34	391,47	19,98
Deformação de ruptura (%)	1,35	11,97	1,19	13,58

2) Vale ainda ressaltar que a pesquisa de Oliveira (2013), apresentou bons resultados para o compósito reforçado com fibras de malva, dando assim indicação de uma forte tendência de resultados satisfatórios para este compósito em seu comportamento na tração direta e flexão.

### 4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO DIRETA NO COMPÓSITO

A figura 26 apresenta os gráficos da Tração direta, onde na busca pela melhora das análises das curvas do gráfico tensão x deformação dos compósitos, estas foram divididas em quatro regiões, de acordo com a pesquisa de Oliveira (2013).

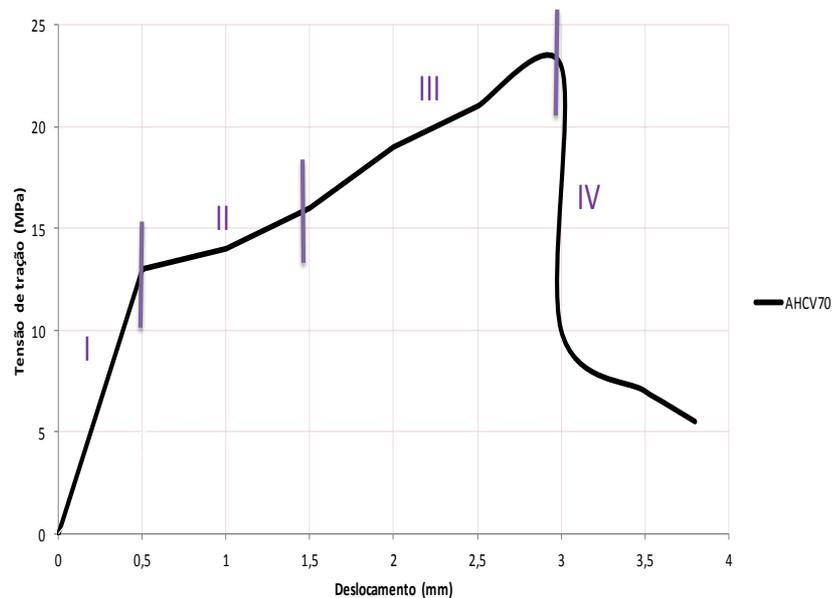


Figura 26 - Gráfico tensão x deformação do compósito com melhor resultado dividido por regiões.

Em conformidade com Oliveira (2013), de acordo com a figura 26, que representa o gráfico tensão x deformação do compósito produzido com o traço A, com fibras hornificadas e impermeabilizadas e com substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, nomeada por AHCV70, a região I corresponde ao trecho de limite elástico ( $\sigma_e$ ), podendo-se observar o valor da tensão e deformação de primeira fissura,  $\sigma_{if}$  e  $\epsilon_{if}$  respectivamente. A região II é caracterizada pela formação de múltiplas fissuras. A região III é caracterizada pela abertura progressiva das fissuras, onde nesta região calculou-se a resistência à tração máxima ( $\sigma_t$ ) ou tração de ruptura ( $\sigma_r$ ) e sua deformação máxima correspondente ( $\epsilon_u$ ). A partir deste ponto inicia-se a região IV, caracterizada pelo decaimento rápido da curva tensão x deformação.

Assim, dos resultados obtidos nos ensaios dos diversos compósitos analisados nesta pesquisa, foi possível estabelecer gráficos semelhantes àquele apresentado na Figura 26, destes gráficos foram determinados os valores da tensão de primeira fissura ( $\sigma_{if}$ ), deformação de primeira fissura ( $\epsilon_{if}$ ), tensão de ruptura ( $\sigma_r$ ), deformação máxima ( $\epsilon_r$ ) e respectivos coeficientes de variação (CV), para o ensaio de tração direta, onde estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas de tração obtidas das curvas tensão x deformação.

Regiões	I		III	
	$\sigma_{if}$ (MPa) CV(%)	$\epsilon_{if}$ (%) CV(%)	$\sigma_r$ (MPa) CV(%)	$\epsilon_r$ (%) CV(%)
AHCV70	13,03 (1,23)	0,29 (2,13)	22,99 (3,07)	0,75 (2,25)
AHCV50	12,83 (1,94)	0,25 (2,84)	16,99 (3,78)	0,62 (2,03)
ANCV70	9,33 (1,04)	0,15 (1,94)	14,99 (2,88)	0,55 (4,03)
ANCV50	9,03 (0,96)	0,14 (1,86)	13,89 (2,8)	0,50 (1,08)
AHSV70	8,53 (1,11)	0,14 (2,01)	11,99 (2,95)	0,44 (0,96)
AHSV50	8,13 (0,74)	0,13 (1,64)	9,99 (2,58)	0,37 (1,46)

ANSV70	7,73 (1,42)	0,13 (2,32)	9,09 (3,26)	0,32 (1,84)
ANSV50	7,23 (2,63)	0,12 (3,53)	8,29 (2,05)	0,27 (2,86)
BHCV70	6,83 (0,85)	0,12 (1,75)	7,99 (1,09)	0,26 (0,91)
BHCV50	6,33 (2,64)	0,11 (3,54)	6,99 (1,48)	0,24 (2,75)
BNCV70	6,13 (3,05)	0,11 (3,95)	6,49 (2,89)	0,22 (1,99)
BNCV50	5,53 (2,97)	0,10 (3,87)	5,79 (4,81)	0,21 (2,76)
A	4,97 (2,77)	0,06 (1,27)	5,00 (5,31)	0,10 (3,06)
B	3,81 (1,97)	0,04 (6,27)	3,90 (7,71)	0,07 (6,96)

De uma forma geral, observou-se (Tabela 6) que os compósitos apresentaram um comportamento dúctil com aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Aumento este significativo, tanto para os melhores como os piores resultados, conforme análise dos resultados dos compósitos com traço A com reforço da fibra de malva, tomando como base o compósito de traço A sem reforço das fibras, seguindo este mesmo parâmetro para o traço B, como mostra a Tabela 8.

Tabela 7 - Comparação dos melhores e piores resultados quanto ao percentual de ganho dos compósitos.

Comparando resultados		Percentual de ganho	
if (%)	Resultados mais significativos	HCV70	162%
		HCV70	79%
r (%)		HCV70	359%
		HCV70	104%

if (%)	Resultados menos significativos	NSV50	45%
		NCV50	45%
r (%)		NSV50	65%
		NCV50	48%

Logo, de acordo com a Tabela 8, pode-se observar um indicativo de que os reforços das fibras de malva fazem grande diferença nos compósitos analisados, uma vez que seus resultados foram bem superiores aos resultados dos compósitos sem as fibras, tanto para a tensão de primeira fissura ( $\sigma_{if}$ ) como para a tensão de ruptura ( $\sigma_r$ ).

De todos os compósitos submetidos à tensão de tração direta, o que apresentou melhores resultados foi à placa AHCV70 (Figura 267), placa com traço A (A), fibra hornificadas (H) com tratamento de Verniz (CV) e substituição de 30% de cimento pelo resíduo cerâmico (70), onde sua tensão de primeira fissura foi de 14,03 MPa com deslocamento de 0,5 mm com sua resistência máxima ou última de fissuração de 22,99 Mpa, com deslocamento de 3 mm.

Comparando-se os resultados obtidos e dos coeficientes de variação dos compósitos desta pesquisa com os da pesquisa de Oliveira (2013), vide Tabela 9 e figura 27, quanto os ensaios de tração direta temos:

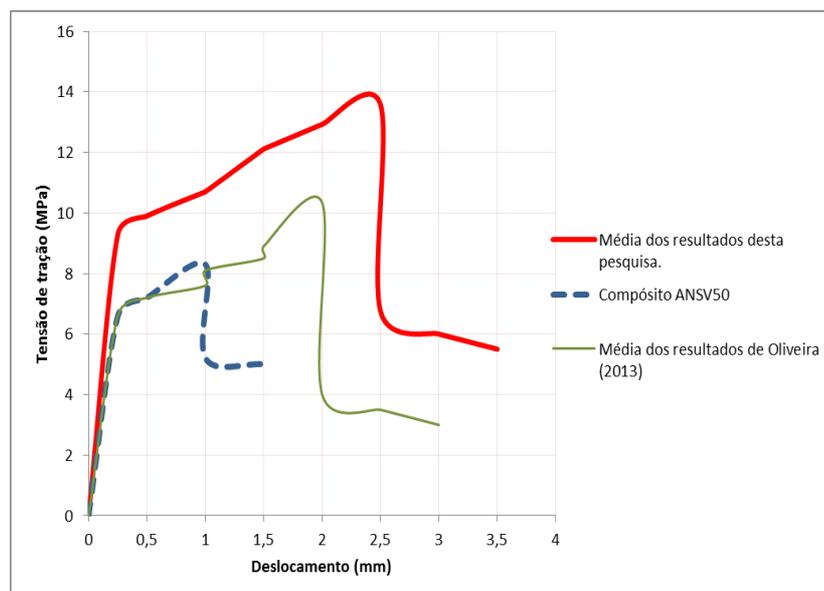


Figura 27 - Comparação dos resultados médios de Oliveira (2013) e desta pesquisa.

Tabela 8 - Comparação dos resultados do ensaio de tração direta.

<b>Comparação</b>	<b>Esta pesquisa</b>	<b>Oliveira (2013)</b>
$\sigma_{if}$ (MPa)	13,03	6,6
CV(%)	1,23	0,11
$\epsilon_{if}$ (MPa)	0,29	0,06
CV(%)	2,13	2
$\sigma_r$ (MPa)	22,99	10,34
CV(%)	3,07	2,9
$\epsilon_r$ (MPa)	0,75	0,48
CV(%)	2,25	8,32

Na Figura 28, temos a curva média dos resultados da pesquisa de Oliveira (2013), a média dos resultados desta pesquisa e o resultado do ensaio de tração do compósito reforçado com fibras de malva sem tratamento e com substituição de 50% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, onde este compósito é o que apresentou pior resultado dentre os compósitos produzidos e ensaiados.

Vale observar que os resultados em média desta pesquisa são superiores aos resultados em média da pesquisa de Oliveira (2013), porém os resultados do compósito ANSV50 mesmo apresentando os piores resultados deste estudo estão próximos aos resultados de Oliveira (2013) onde suas diferenças variam em torno de 38%, considerando que esta diferença nos resultados é ocasionada pelas peculiaridades nas produções dos compósitos de Oliveira (2013).

Observa-se ainda que no estudo de Oliveira (2013) houve a substituição de 50% do cimento pelo metacaulinita, uso de 2% de superplastificante e 8% do volume de fibras longas de malva, enquanto que nesta pesquisa os compósitos foram produzidos com a substituição de 50% e 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, uso de 1% de superplastificante e 6% de volume de fibras longas de malva.

Por outro lado, analisando-se a região I da Tabela 8, nota-se uma diferença significativa nos valores de tensão de primeira fissura e o correspondente deslocamento, onde

os resultados desta pesquisa foram superiores aos apresentados por Oliveira (2013), em 97,4% e 383% respectivamente, ressaltando que, a matriz cimentícia reforçada com fibras adquire uma heterogeneidade devido à introdução de vazios provocados durante o processo de produção dos compósitos, assim, pode-se considerar que a diferença mencionada, esteja ligada a condição de que os compósitos produzidos por Oliveira (2013) seja mais heterogêneo que os compósitos produzidos nesta pesquisa.

Além disso, observa-se que o tratamento de hornificação e a aplicação de verniz, utilizados nesta pesquisa, reduziram a absorção e a variação dimensional da fibra, enquanto que Oliveira (2013) empregou fibras sem tratamentos, assim implicando em um desempenho inferior.

Quanto à região III, os resultados desta pesquisa também apresentaram valores superiores aos obtidos com Oliveira (2013) em 122% e 56% na tração de ruptura e deslocamento máximo, respectivamente, o que era esperado considerando a análise da região I.

Analisando as peculiaridades do comportamento à tração direta de cada compósito (ANEXO 5 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**), vale ressaltar que:

**Quanto aos traços A e B:** observa-se que a resistência à tração máxima para a placa de matriz sem adição de resíduo cerâmico e sem reforço de fibras, utilizando o traço A é 60% maior que matriz pura do traço B, uma vez que este é um resultado esperado tendo em vista que para o traço A, a proporção entre material cimentante e agregado miúdo é de 1:1, enquanto para o traço B esta proporção é de 1:2.

#### **Quanto aos tratamentos:**

👉 Nas placas reforçadas com fibras tratadas por meio do processo de HORNIFICAÇÃO, para a primeira fissura, limite da região I, em média, os compósitos produzido com o traço A apresentaram uma resistência à tração superior a 57% dos compósitos com o traço B. Além disso, a tensão última, limite da região III, em média, para os compósitos com o traço A apresentaram uma resistência à tração superior a 107% a dos compósitos com traço B. Ambos os comportamentos devem estar ligados ao teor de aglomerantes, que no primeiro caso, região I, o comportamento é linear, sendo muito

influenciado pela matriz cimentícia, e como já explicado anteriormente, o traço A possui bem mais aglomerante que o traço B. No segundo caso, devido ao teor maior de aglomerante, supõe-se que os compósitos produzidos com o traço A, promovam mais aderência fibra/matriz do que aqueles produzidos com o traço B. Presumisse que a maior disponibilidade de aglomerante promova mais ligações entre a superfície da fibra e da matriz.

☞ Nas placas reforçadas com fibras com o tratamento de HORNIFICAÇÃO, podemos analisar as seguintes situações (Tabela 9):

1) Os compósitos com fibras hornificadas em geral apresenta melhores resultados que os compósitos com fibras naturais;

2) Os resultados para os compósitos com fibras hornificadas e impermeabilizadas em comparação aos compósitos com as fibras hornificadas sem o tratamento impermeabilizante, mostram a importância do tratamento da hornificação em soma com o tratamento impermeabilizante;

3) Com relação aos compósitos com fibras hornificadas e com tratamento impermeabilizante, observa-se que os melhores resultados são os dos compósitos com o tratamento de substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, sendo estes superiores aos obtidos com a substituição de 50%.

Tabela 9 - Comparação dos resultados dos compósitos nas situações mencionadas.

Situação	$\sigma_{if}$	$\epsilon_{if}$	$\sigma_r$	$\epsilon_r$
1)	27,65%	49,63%	33,93%	33,33%
2)	3,65%	12,88%	19,13%	17,31%
3)	4,92%	3,73%	18,41%	24,20%

Obs. 1: Os resultados apresentados são as porcentagens superiores em cada situação de comparação dos compósitos com as fibras hornificadas.

☞ Nas placas reforçadas com fibras tratadas com IMPERMEABILIZAÇÃO, podemos analisar as seguintes situações (Tabela 10):

4) Os compósitos com fibras impermeabilizadas em geral nos apresenta melhores resultados que os compósitos com fibras sem impermeabilização;

5) Os resultados obtidos para os compósitos com fibras impermeabilizadas e hornificadas em comparação aos compósitos com as fibras impermeabilizadas e naturais, mostram a importância do tratamento de impermeabilização em soma com o tratamento de hornificação;

6) Nos compósitos com fibras impermeabilizadas os que melhores apresentam resultados são os compósitos com o tratamento de substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, sendo estes superiores a substituição de 50%.

Tabela 10 - Comparação dos resultados dos compósitos nas situações mencionadas.

Situação	$\sigma_{if}$	$\epsilon_{if}$	$\sigma_r$	$\epsilon_r$
4)	17,10%	42,31%	25,02%	14,30%
5)	3,65%	12,88%	19,13%	17,31%
6)	4,92%	3,73%	18,41%	24,20%

Obs. 2: Os resultados apresentados são as porcentagens superiores em cada situação de comparação dos compósitos com as fibras impermeabilizadas.

☞ Nas placas reforçadas com fibras e SUBSTITUIÇÃO do cimento Portland por RESÍDUO CERÂMICO, podemos analisar as seguintes situações (Tabela 11):

7) Os compósitos com substituição de 30% do cimento Portland por resíduo cerâmico em geral apresenta melhores resultados que os compósitos com substituição de 50%;

8) Os compósitos com fibras impermeabilizadas e hornificadas com substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico em comparação aos mesmos compósitos com substituição de 50%, mostram a importância da união dos tratamentos na fibra e na matriz.

Tabela 11 - Comparação dos resultados dos compósitos nas situações mencionadas.

Situação	$\sigma_{if}$	$\epsilon_{if}$	$\sigma_r$	$\epsilon_r$
7)	5,09%	7,69%	18,72%	14,82%
8) H	4,03%	10,42%	26,49%	17,12%
8) CV	4,74%	9,29%	20,15%	13,16%
8) H+CV	6,67%	11,22%	22,08%	15,09%
8) H+SV	3,84%	8,39%	19,25%	12,26%

Obs. 3: Os resultados apresentados são as porcentagens superiores em cada situação de comparação dos compósitos com a substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico. Na situação (8), pode-se ainda destacar as situações dos compósitos com a soma dos tratamentos de hornificação (H), impermeabilização (CV), hornificação com impermeabilização (H+CV) e hornificação sem impermeabilização (H+SV).

Pode-se assim concluir que, para se ter um melhor resultado, quanto à resistência a tração direta, é ideal que o compósito seja produzido com os tratamentos de hornificação e impermeabilização com verniz nas fibras, além da substituição de 30% do cimento Portland por resíduo cerâmico e com traço A (Traço de 1:1:0,4). Presume-se que esse resultado está diretamente relacionado aos seguintes fatos:

➤ A superioridade dos resultados dos compósitos do traço A está ligado a proporção entre material cimentante e agregado miúdo que é de 1:1, enquanto que para os compósitos do traço B esta proporção é de 1:2;

➤ Acredita-se que os bons resultados do tratamento de hornificação nos compósitos estejam ligados as características da perda na capacidade de retenção de água, devido ao fechamento dos poros das fibras, que as tornaram mais resistentes e deformáveis;

➤ A impermeabilização das fibras com verniz apresenta características positivas, pois estas garantem que a água da pasta não penetre nas fibras no compósito, uma vez que a água é a principal causa de deterioração das fibras, deste modo, com a impermeabilização a penetração da água torna-se insignificante, resultando em compósitos superiores àqueles sem impermeabilização;

➤ O bom resultado da substituição de parte do cimento Portland pelo resíduo cerâmico apresenta ligação com o fato da matriz cimentícia se tornar mais resistente a agentes químicos, com menor porosidade e menor calor de hidratação, menor risco de fissuração térmica e maior consumo de hidróxido de cálcio livre por meio das reações pozolânicas, resultando na formação de C-S-H (Silicato de cálcio hidratado) que diminui a alcalinidade da matriz cimentícia (Oliveira, 2013 / Marques, 2009).

#### 4.4 ENSAIO DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS

Para um melhor entendimento dos resultados do ensaio de flexão em quatro pontos, as curvas tensão x deflexão foram divididas em cinco regiões, conforme o trabalho apresentado por Oliveira (2013), de acordo com a Figura 28.

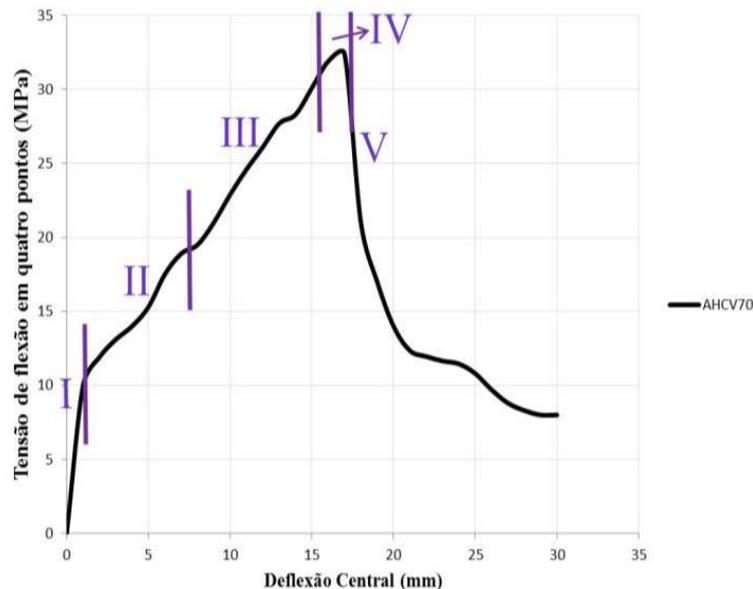


Figura 28 - Gráfico tensão de flexão em quatro pontos x deflexão do compósito AHCV70 dividido por regiões.

A região I refere-se ao trecho onde o compósito apresenta um comportamento linear elástico, se extrai daí a tensão de primeira fissura e sua deflexão como também o módulo de elasticidade do compósito ( $\sigma_{if}$ ,  $d_{if}$  e  $E_c$  respectivamente). A região II tem seu início após o surgimento da primeira fissura e suas características predominantes são a formação de múltiplas fissuras com gradual redução do módulo de elasticidade dos compósitos. A região III tem como característica principal a abertura progressiva das fissuras, com possibilidade de abertura de novas fissuras, pode-se observar nesta região a rigidez aparente de endurecimento ( $E_{pf}$ ) determinada pelo reforço das fibras. A região IV é caracterizada pela máxima tensão pós-fissuração, seu ponto inicial é quando a curva tensão x deflexão apresenta um desvio de linearidade e encerra-se quando a capacidade de tensão máxima do compósito, ou tensão de ruptura ( $\sigma_r$ ) é atingida. A partir deste ponto inicia-se a região V, representada pelo

decaimento rápido da curva tensão x deflexão, com expressivo aumento das aberturas de fissuras até que uma delas abra predominantemente até o final do ensaio.

Os valores médios das propriedades obtidas em cada região estudada com seus respectivos coeficientes de variação estão apresentados na Tabela 13, de acordo com o ANEXO 6.

Tabela 12 - Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas obtidas das curvas tensão x deflexão para o compósitos.

Regiões	I			III		IV	
Compósitos	$\sigma_{if}$ (MPa)	dif (mm)	$E_c$ (GPa)	$E_{pf}$ (GPa)	$\sigma_r$ (MPa)	$D_u$ (mm)	$T_{ou}$ (kJ/m <sup>2</sup> )
	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)	CV(%)
AHCV70	10,5	1	20,52	4,75	36,5	17	13,8
	8,43	7,31	4,89	6,72	7,03	8,91	5,78
AHCV50	10	0,92	20,02	4,25	32,1	17	12,15
	7,21	5,98	2,86	3,67	5,34	6,75	7,49
ANCV70	8,3	0,87	18,32	2,55	28,8	16	11,15
	5,31	4,08	0,96	1,77	3,44	4,85	5,59
ANCV50	7,9	0,81	17,92	2,15	27,5	16	11,15
	9,3	8,07	4,95	5,76	7,43	8,84	9,58
AHSV70	7	0,78	17,02	1,25	25,9	16	11,15
	7,4	6,17	3,05	3,86	5,53	6,94	7,68
AHSV50	6	0,71	16,02	1,19	23	15	10,15
	4,5	3,27	5,7	8,21	5,22	7,46	4,78
ANSV70	5	0,64	15,02	1	20	14	9,15
	6,3	5,07	1,95	2,76	4,43	5,84	6,58
ANSV50	5	0,79	15,02	0,85	19,3	14	9,15
	7,34	4,87	6,45	5,99	4,74	5,69	7,11
BHCV70	4	0,75	14,02	0,73	17	14	9,15
	3,89	4,22	6,34	6,92	5,78	7,71	8,22
BHCV50	3	0,69	13,02	0,7	15	13	8,15
	2,89	3,73	2,56	6,03	5,78	6,36	2,95
BNCV70	3	0,66	13,02	0,67	15,6	12	7,15
	4,04	3,99	6,68	8,35	9,12	5,69	6,91
BNCV50	3	0,6	13,02	0,65	15	12	7,15
	9,23	7,47	5,89	8,31	7,74	6,87	3,96

De todos os compósitos submetidos à tensão de flexão em quatro pontos, o que apresentou melhores resultados foi à placa AHCV70, onde sua tensão de primeira fissura foi de 10,5 MPa com deslocamento de 1,0 mm e módulo de elasticidade de 20,52 GPa, apresentando ainda uma rigidez aparente de endurecimento de 4,75 GPa. Com sua resistência máxima de 36,5 Mpa, com um deslocamento de 17mm e com índice de tenacidade de 13,80 kJ/m<sup>2</sup>.

Comparando os resultados e os coeficientes de variação dos compósitos desta pesquisa com os de Oliveira (2013) quanto os ensaios de flexão em quatro pontos temos a Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação dos resultados do ensaio de flexão em quatro pontos.

<b>Comparação</b>	<b>Esta pesquisa</b>	<b>Oliveira (2013)</b>
$\sigma_{if}$ (MPa)	10,50	7,96
CV(%)	8,43	10,90
dif (mm)	1,00	0,75
CV(%)	7,31	18,57
$E_c$ (GPa)	26,52	17,98
CV(%)	4,89	8,20
$E_{pf}$ (GPa)	3,45	2,21
CV(%)	6,72	2,52
$\sigma_r$ (MPa)	36,50	27,27
CV(%)	7,03	10,86
$D_u$ (mm)	18,00	15,05
CV(%)	8,91	1,52
$T_{\sigma u}$ (kJ/m <sup>2</sup> )	13,80	10,2
CV(%)	5,78	17,12

Comparando os resultados apresentados na Tabela 13, verifica-se que os compósitos desta pesquisa apresentam resultados superiores aos da pesquisa de Oliveira (2013), cerca de 37% em geral. Assim, como no caso da tração direta, pressupõe-se que esta diferença está relacionada aos tratamentos submetidos nas fibras e na pasta cimentícia com a substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico.

A análise do comportamento individual de cada compósito (Tabela 14) encontra-se a disposição no ANEXO 6. Podendo ressaltar que:

**Quanto aos traços A e B:** A resistência máxima a flexão em quatro pontos, a placa de matriz sem adição de resíduo cerâmico e sem reforço de fibras, produzida com o traço A é 38% maior que aquela com o traço B. Muito embora a diferença de valores entre as resistências máximas a flexão esteja relacionada ao teor de material cimentante, esta diferença menor em relação àquelas obtidas para a tração direta se deve a natureza do comportamento da placa sob flexão, tendo em vista que na seção central, onde ocorre o valor do momento máximo, existem tanto tensões normais de compressão quanto de tração, com uma variação linear e valores máximo nas fibras inferiores e superiores, enquanto que para tração direta a tensão normal está uniformemente distribuída ao longo da seção transversal.

#### **Quanto aos tratamentos:**

☞ Nas placas reforçadas com fibras tratadas por meio do processo de HORNIFICAÇÃO comparando os resultados dos compósitos em relação ao traço A e traço B, temos uma superioridade nos resultados encontrados, onde apontam o melhor desempenho nos compósitos com traço A considerando estes com tratamento de hornificação. Na região I, a tensão de primeira fissura, sua deflexão e módulo de elasticidade apresentam resultados superiores a 318%, 127% e 162% respectivamente. Na região III, considerando a rigidez aparente de endurecimento temos um resultado superior a 283%. E na região IV, os resultados encontrados quanto à resistência última ou de ruptura, sua deflexão de ruptura e índice de tenacidade são superiores a 245%, 132% e 158% respectivamente (Figura 29). Como falado anteriormente, estes resultados devem estar ligados ao teor maior de aglomerantes, supondo que compósitos produzidos com o traço A, promovam mais aderência fibra/matriz do que aqueles produzidos com o traço B. Presumisse que a maior disponibilidade de aglomerante promova mais ligações entre a superfície da fibra e da matriz.

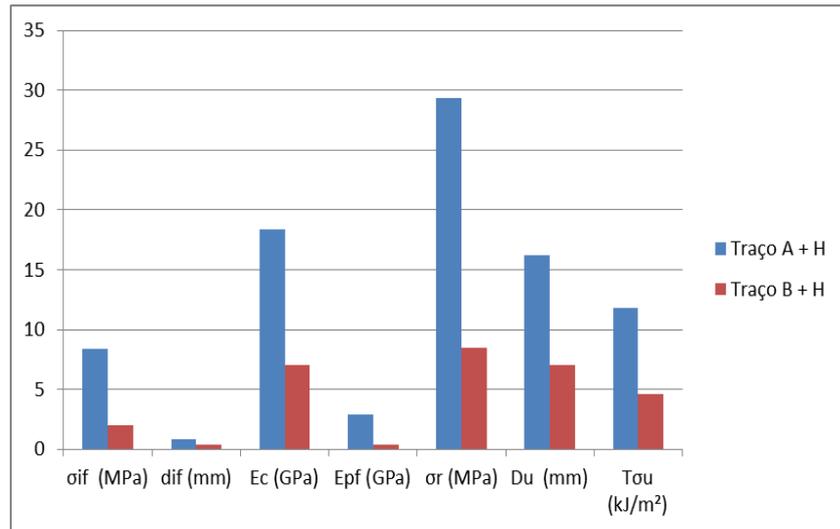


Figura 29 - Comparação dos resultados dos compósitos de traço A e traço B ambos com fibras hornificadas, quanto à flexão em quatro pontos.

Obs. 4: Traço A + H = Compósito produzido com Traço A (1:1:0,4) e fibras hornificadas. Traço B + H = Compósito produzido com Traço B (1:2:0,4) e fibras hornificadas.

☞ Nas placas reforçadas com fibras com o tratamento de HORNIFICAÇÃO, confirmamos os resultados obtidos para o ensaio de tração direta, conforme mencionados nas situações 1, 2 e 3, aqui, equivalentes às situações 9, 10 e 11 (Tabela 14).

Tabela 14 - Comparação dos resultados dos compósitos nas situações mencionadas.

Situação	$\sigma_{if}$	dif	$E_c$	$E_{pf}$	$\sigma$	Du	T $\sigma_u$
9	27,86%	9,65%	11,01%	74,66%	22,91%	8,33%	16,38%
10	57,69%	28,86%	22,69%	268,85%	40,29	9,68%	21,83%
11	3,85%	4,97%	1,51%	10,10%	9,34%	7,99%	8,13%

Obs. 5: Os resultados apresentados são as porcentagens superiores em cada situação de comparação dos compósitos com as fibras hornificadas.

☞ Nas placas reforçadas com fibras com o tratamento de IMPERMEABILIZAÇÃO, confirmamos os resultados obtidos para o ensaio de tração direta, conforme mencionados nas situações 4, 5 e 6, aqui, equivalentes às situações 12, 13 e 14, como mostra a Tabela 15.

Tabela 15 - Comparação dos resultados dos compósitos nas situações mencionadas.

Situação	$\sigma_{if}$	dif	$E_c$	$E_{pf}$	$\sigma_r$	$D_u$	$T_{\sigma u}$
12	59,57%	23,29%	21,71%	219,35%	41,61%	11,86%	21,84%
13	26,54%	14,29%	11,86%	91,49%	21,85%	6,25%	16,37%
14	5,03%	8,09%	2,37%	14,06%	9,56%	13,61%	7,08%

Obs. 6: Os resultados apresentados são as porcentagens superiores em cada situação de comparação dos compósitos com as fibras impermeabilizadas.

☞ Nas placas reforçadas com fibras e SUBSTITUIÇÃO do cimento Portland por RESÍDUO CERÂMICO, não podiam ser diferentes, reafirmam os resultados obtidos para o ensaio de tração direta, como mostra a Tabela 16.

Tabela 16 - Comparação dos resultados dos compósitos nas situações mencionadas.

Situação	$\sigma_{if}$ (%)	dif (%)	$E_c$ (%)	$E_{pf}$ (%)	$\sigma_r$ (%)	$D_u$ (%)	$T_{\sigma u}$ (%)
H70>H50	13,16	9,05	5,09	9,61	13,27	4,44	11,99
CV70>CV50	7,95	8,61	2,97	12,26	9,26	1,72	6,87
HCV70>HSV70	3,85	4,97	1,51	10,10	9,34	7,99	8,13
HSV70>HSV50	16,67	9,86	6,24	5,04	12,61	6,67	9,85

Obs. 7: Os resultados apresentados são as porcentagens superiores em cada situação de comparação dos compósitos com a substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico. Na situação (16), pode-se ainda destacar as situações dos compósitos com a soma dos tratamentos de hornificação (H), impermeabilização (CV), hornificação com e sem impermeabilização (H+CV e H-CV).

Assim, pode-se concluir que, para se ter um melhor resultado, quanto à resistência a tração direta e flexão em quatro pontos, é ideal que o compósito seja produzido com os tratamentos de hornificação e impermeabilização com verniz nas fibras, além da substituição de 30% do cimento Portland por resíduo cerâmico e com traço A (Traço de 1:1:0,4). Presume-se que esse resultado está diretamente relacionado aos mesmos fatores mencionados nos ensaios de tração direta, valendo ressaltar que a diferença significativa dos resultados da tração direta e flexão em quatro pontos esta relacionada à natureza do comportamento dos compósitos sobre a flexão, uma vez na seção central ocorre o momento máximo.

Comparando: De uma forma geral, analisando a tensão de primeira fissura ( $\sigma_{1f}$ ), o módulo de elasticidade ( $E_c$ ), a tensão de ruptura ( $\sigma_r$ ) e a deformação de ruptura ( $D_u$ ), quanto às particularidades dos compósitos como traço A ou traço B (TA ou TB), fibras com ou sem

tratamento de hornificação (CH ou CN), fibras com ou sem impermeabilização (CCV ou CSV) e a substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico (S30% ou S50%), temos os comparativos na Figura 30, onde é visível a superioridade nos resultados dos compósitos com tratamentos.

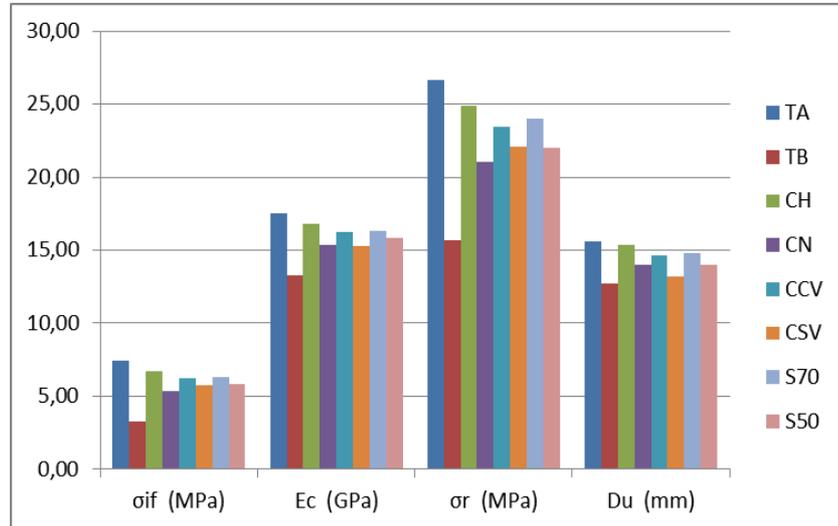


Figura 30 - Análise comparativa dos resultados do ensaio flexão em quatro pontos em geral.

Deste modo, para se ter um melhor resultado, quanto à resistência à flexão em quatro pontos como também na tração direta, o ideal é que o compósito seja produzido com as fibras hornificadas e impermeabilizadas com verniz, sendo a matriz produzida com a substituição de 30% do cimento por resíduo cerâmico e com traço de 1:1:0,4.

#### 4.5 ENSAIO DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS

Os compósitos submetidos ao ensaio de flexão de três pontos apresentaram um comportamento semelhante aos de tração de direta e de flexão em quatro pontos, como mostra o ANEXO 7, porém, os gráficos para este caso não apresentam as cinco regiões bem definidas como àqueles obtidos para a flexão em quatro pontos.

Os valores médios das propriedades obtidas com seus respectivos coeficientes de variação são apresentados na Tabela 17, de acordo com o ANEXO 7.

Tabela 17 - Resultados médios e coeficientes de variação das propriedades mecânicas obtidas das curvas tensão x deflexão para os compósitos.

<b>Propriedades mecânicas - Flexão em três pontos</b>					
Compósitos	$\sigma_{if}$ (MPa)	dif (mm)	$E_c$ (GPa)	$\sigma_r$ (MPa)	dif (mm)
	V(%)	V(%)	V(%)	V(%)	V(%)
AHCV70	14,10	1,00	22,3	38,64	19,2
	9,42	8,30	5,88	8,02	9,90
AHCV50	12,15	0,97	21,9	33,30	17,40
	8,02	6,79	3,67	6,15	7,56
ANCV70	11,79	0,91	19,4	31,00	17,08
	6,41	5,18	2,06	4,54	5,95
ANCV50	11,79	0,86	18,8	29,31	16,51
	8,34	7,11	3,99	6,47	7,88
AHSV70	10,99	0,80	18,1	27,88	16,22
	6,80	5,57	2,45	4,93	6,34
AHSV50	10,10	0,71	17,9	25,21	15,60
	5,10	3,87	6,30	5,82	8,06
ANSV70	9,21	0,68	16,7	22,55	14,83
	5,80	4,57	1,45	3,93	5,34
ANSV50	9,40	0,63	15,5	21,92	14,40
	7,11	4,64	6,22	4,51	5,46
BHCV70	8,60	0,60	14,8	20,77	14,03
	4,19	4,52	6,64	6,08	8,01
BHCV50	7,89	0,59	14	18,81	13,37
	2,99	4,13	2,96	6,18	6,76
BNCV70	7,62	0,56	13,7	18,64	12,91
	3,04	2,99	5,68	8,12	4,69
BNCV50	7,44	0,53	13,2	18,10	12,44
	7,43	5,67	4,09	5,94	5,07

De todos os compósitos submetidos à tensão de flexão em três pontos, o que apresentou melhores resultados foi a placa AHCV70, onde sua carga de primeira fissura foi de 14,10 MPa com deslocamento de 1,0 mm com sua carga máxima de 38,64 MPa, com um deslocamento de 19,2 mm e com módulo de elasticidade de 28,3GPa. Um resultado esperado pelo desempenho deste compósito nos resultados da flexão em quatro pontos.

Analisando as peculiaridades do comportamento à flexão em três pontos de cada compósito (ANEXO 7), temos um resultado bem aproximado com os resultados do comportamento à flexão em quatro pontos (ANEXO 7), como mostra a Figura 31.

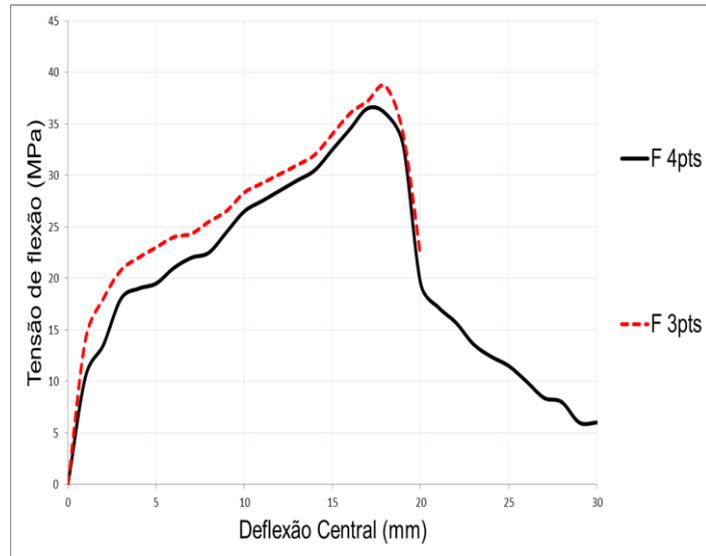


Figura 31 - Comparação do compósito AHCV70 nos ensaios de flexão em 4 e 3 pontos.

Obs. 8 - Onde: F 4pts (ensaio de flexão em quatro pontos) e F 3pts (ensaio de flexão em três pontos).

Comparando os resultados dos ensaios de flexão em quatro e três pontos observou-se uma diferença nos resultados com superioridade da flexão em três pontos, sendo considerável quanto a tensão de primeira fissura, onde esta foi de aproximadamente 34% em relação à flexão de quatro pontos. Porém, quanto ao módulo de elasticidade, tensão de ruptura e deflexão máxima os resultados apresentados foram bem aproximados, com variação inferior a 7%, como mostra a Figura 32.

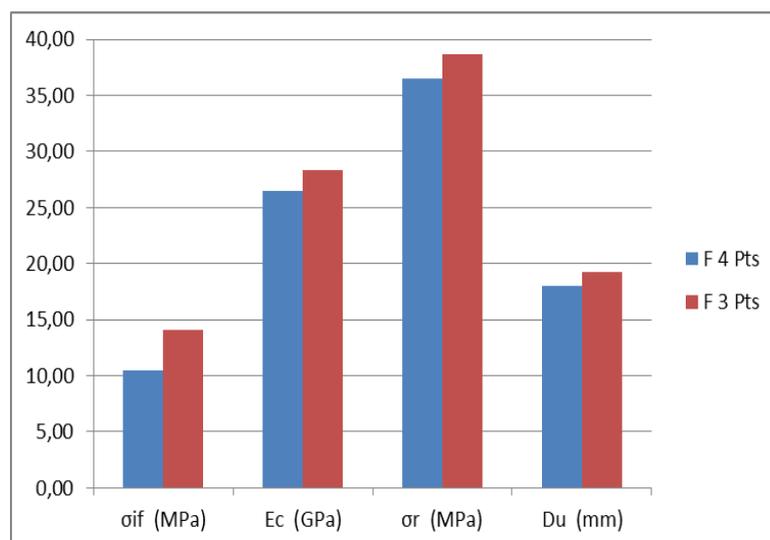


Figura 32 - Resultados dos ensaios de flexão em quatro e três pontos.

## 5. CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos nesta pesquisa, é possível concluir que:

As fibras de malva, quanto as suas caracterizações químicas e mecânicas, quando comparados aos estudos realizados por Oliveira (2013), apresentam características favoráveis ao uso destas como reforço a matrizes cimentícias desenvolvidas nesta pesquisa.

Quanto as propriedades químicas, estas apresentaram resultados superiores aos obtidos por Oliveira (2013), com valores superiores a 13% no teor de celulose e de 23% no teor de lignina. Nas propriedades mecânicas o resultado foi similar, apresentando valores superiores de 25% no módulo de elasticidade, 16% na tensão de ruptura e 14% na deformação máxima de ruptura. Isso sugere que os teores de celulose e lignina estão diretamente relacionados as propriedades mecânicas das fibras, conforme já observado em estudos anteriores.

O uso do resíduo Cerâmico em substituição ao cimento apresentou redução no teor de hidróxido de cálcio livre nas misturas, e na substituição em 30% e 50%, como mostrou os resultados dos ensaios de termogravimetria, sendo tal condição desejável para diminuição da degradação da fibra.

A caracterização mecânica dos compósitos produzidos nesta pesquisa apresentou excelentes resultados quando são comparados os compósitos que apresentaram os melhores resultados, AHCV70, AHCV50 e ANCV70, respectivamente, com os resultados obtidos por Oliveira (2013), quanto ao comportamento na tração direta (TD), flexão em quatro (F4) e três pontos (F3). Ressaltando-se que Oliveira (2013) empregou as fibras de malva, sem qualquer tratamento superficial, como reforço a matriz cimentícia.

Quanto aos tratamentos aplicados nos compósitos conclui-se que de uma forma geral os compósitos com os tratamentos de hornificação apresentaram resultados bem superiores aos compósitos sem este tratamento, cerca de 72% e quando adicionado o tratamento de impermeabilização este se torna ainda mais superior, porém, com um acréscimo de 16%, levando a considerar que o tratamento de impermeabilização complementou o de hornificação, diminuindo a absorção da fibra com a provável redução da

variação dimensional desta no interior do compósito, sendo responsável pelo significativo ganho de resistência observado para todos os compósitos que empregaram estes tratamentos em relação aos compósitos reforçados com fibras sem tratamento.

Quanto ao tratamento da matriz cimentícia por meio da substituição do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, vale notar que os resultados dos compósitos onde foram empregados 70% do cimento é superior àqueles com 50% em torno de 28%, em média, para toda caracterização mecânica dos compósitos.

Assim, pode-se concluir, que no final desta pesquisa, desenvolveu-se um compósito promissor produzido com o traço 1:1:0,4, com fibras hornificadas e impermeabilizadas e pasta com substituição de 30% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico, apresentando características físicas relatadas nos ensaios de termogravimetria e caracterização das fibras de malva, apresentando também as características mecânicas, tratadas nos ensaios de tração e flexão em quatro e três pontos, para sua aplicabilidade, de acordo com seu desempenho.

## **6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Segue abaixo algumas sugestões para pesquisas futuras:

→ Avaliar outros tratamentos para as fibras de malva considerando as mesmas dosagens dos compósitos;

→ Avaliar outros teores de fibras como 8% e 10%, para as mesmas dosagens;

→ Avaliar os compósitos com diversas pressões de moldagem, e seu comportamento mecânico;

→ Avaliar a durabilidade desses compósitos com condições de envelhecimento natural e envelhecimento acelerado.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABNT. (2004). NBR 6118 - projeto de estrutura de concreto - Procedimentos.

AFROUGHSAKET, V., OZBAKKALOGLU, T. (2015) Mechanical and durability properties of high-Strength concrete containing steel and polypropylene fibers. *Construction and building materials*, 94.

AGOPYAN, V., SAVASTANO, JR., H., JOHN, V., M., & CINCOTTO, M. A. (2005). Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: An overview. *Cement and Concrete Composites*, 27, 527- 536.

ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., TOLEDO FILHO, R. M. (2015). Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: a review of recent research. *Construction and building materials*, 79.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO – ABIT. Disponível em: < <http://www.abit.org.br>>. Acesso em 10 fevereiro 2016.

ASTM C 1557. (2008). Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

ALBINANTE, S. R., PACHECO, E. B., VISCONTE, L. Y. (2012). Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para misturas com poliolefinas.

AWAL, A., CESCUTTI, G., GHOSH, S., & MUSSIG, J. (2011). Interfacial studies of natural fibre / polypropylene composites using single fibre fragmentation test (SFFT).

BALLESTEROS, J. E. M. (2014). Compósitos cimentícios reforçados com polpa celulósicas tratadas por hornificação para aplicação em construções rurais. USP.

BATISTA, S. M. (2011). Estudo da durabilidade dos compósitos cimentício com fibras vegetais. Programa de pós-graduação em engenharia civil - UFRN.

BENTUR, M. A. (1990). Fibre reinforced cementitious composites. Elsevier.

- BENTUR, M. S. (1990). FIBRE REINFORCED CEMENTITIOUS COMPOSITES, 1990, Elsevier. Elsevier.
- BLEDZKI, A.K.; FARUK, O. ; SAIN, M. Biocomposites Reinforced with Natural Fibers. Prog. Polym. Sci, v. 37, p. 1552-1596, 2012.
- BRANCATO, A. A. (2008). Effect of progressive recycling on cellulose fiber surface properties.
- CANTWELL, W., & MORTON, J. (1997). The impact resistance of composites materials. Reviem - composites ; Volume 22.
- CEZAR, D. S. (2011). Características de durabilidades de concretos com cinza volante e cinza de casca de arroz com e sem beneficiamento. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA, RS.
- CLARAMUNT, J., HORTAL, J., ARDANUY, M., & TÔLEDO FILHO, R. (2011). The hornification of vegetable fibres to improve the durability of cement mortar composites.
- COOPERATIVA MISTA AGROPECUÁRIA DE MANACAPURU – COOMAPEM . Disponível em: < <http://www.coomapem.coop.br>>. Acesso em 20 fevereiro 2016.
- CODISPOTI, R., OLIVEIRA, D. V., OLIVITO, R. S., LOURENÇO, P. B., FRANGUEIRO, R. (2015). Mechanical performance of natural fiber-reinforced composites for the strengthening of masonry. Composites – Part B.
- CORREIA, E. A. S. (2011). Compósitos de matriz geopolimérica reforçadas com fibras vegetais de abacaxi e de sisal. Universidade Federal de Paraíba.
- DE SOUSA, L.K. (2013). Produção de caracterização mecânica de compósitos de resina poliuretana a base de óleo de mamona e fibras de rami, sisal e bucha vegetal. UFU.
- FARUK, O., BLEDZKI, A., FINK, H.-P., & SAIN, M. (2010). Biocomposites Reinforced with natural fibers.

FERREIRA, A. D. (2009). Trabalhadores da malva, (re) produção material e simbólica da vida no baixo rio solimões. Programa de pós-graduação em sociedade e cultura na Amazônia - UFAM.

FERREIRA, S. R. (2012). Influência do tratamento de molhagem e secagem na aderência fibra-matriz e no comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados randomicamente com fibras de sisal.

FIBER ORGANON – FO. Disponível em: < <http://www.citeve.pt>>. Acesso em 13 janeiro 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. Disponível em: < <http://www.fao.org>>. Acesso em 23 março 2016.

FONSECA, et at., (2013). Properties of na amazonian vegetable fiber as a potencial rein forcing material. *Industrial Crops and Products*, Volume 47, May 2013, Pages 43–50

GRAM, H. E. (1983). Durability of natural fibres in concrete. *Swedish Cement and Concrete - Research Institute*.

HOLMER, S. J. (2000). Materiais à base de cimento reforçados com fibras vegetais: Reciclagem de resíduo para a construção de baixo custo.

HOMMA A.K.O, & FERREIRA A.S. (2010). Aspectos botânicos e agrônômicos da cultura da juta eiou da malva. in: witkoski, a.c.et al. (orgs.). *acultura da juta e malva na amazônia: sementes de uma nova racionalidade ambiental?*

IZQUIERDO, I. S. (2011). *Uso de fibras naturais em blocos de concretos para alvenaria estrutural*. São Carlos.

JOSÉ COUTINHO, P. (2012). *Diretor da cooperativa "Utilizando a Malva"*, em Manacapuru.

KESTUR, G. (2010). *Biodegradable polymer composites based on brazilian ligcellulosic*.

KOLAROVÁ, K., VOSMANSKÁ, V., RIMPELOVÁ, S., & SVORCIK, V. (2013). Effect of plasma treatment on cellulose fiber. *Cellulose* (2013) 20:953–961 // DOI 10.1007/s10570-013-9863-0.

LIMA, P. R. (2004). Análise teórica experimental de compósito reforçado com fibras de sisal. Doutorado - programa de pós-graduação em engenharia da universidade Federal do Rio de Janeiro.

LIMA, S. P. B. (2009). Estudos da produção e aplicação em pastas cimentícias de sílica gel proveniente das cinzas da casca de arroz. UFAM.

MACIEL, A. C. (2015). Tendência do cultivo da malva por agricultores familiares em manacapuru- AM. Programa de pós-graduação em agronomia tropical - UFAM.

MARGEM, J. I. (2013). Estudo das características estruturais e propriedades de compósito poliméricos reforçados com fibras de malva. programa de pós-graduação em doutorado - Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF.

MARQUES, M. G. (2009). Caracterização das propriedades da fibra vegetal de Arumã para aplicação como reforço à matriz cimentícia. . UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS, programa de pós graduação em Engenharia civil.

MARQUES, M. G. (2015). Estudo das propriedades físicas e mecânicas e da durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibra Amazônica. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, programa de pós graduação em Engenharia civil (Estruturas).

MARTINS NETO, S. F. (2010). Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlação das propriedades mecânicas. Programa de pós-graduação em engenharia mecânica - UFPA.

MELO FILHO, J. D. (2005). Desenvolvimento e caracterização de laminados cimentícios reforçados com fibras longas de sisal. Programa de pós-graduação de engenharia civil - UFRJ.

MELO FILHO, J. D. (2012). Durabilidade química e térmica e compota mecânico de compósito de compósito de alto desempenho reforçado com fibras de sisal. Tese de Doutorado em Ciência em engenharia Civil - COPPE - UFRJ.

NBR 11578. (1991). Cimento portland Composto. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

NBR 13276, A. (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. ABNT.

NBR NM -248. (2003). Agregados - Determinação da composição granulométrica.

NBR6118. (2004). Projeto de estrutura de concreto - procedimentos.

NBR7211. (2009). Agregado para concreto - Especificações.

OLIVEIRA, I. R. (2013). Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva. Programa de pós-graduação em engenharia civil - UFAM.

PEREIRA, A. L. S. (2010). Extração de nanocelulose de fibras vegetais. UFC, Engenharia Química.

QUIRINO, M. G. (2010). Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibras da semente de açaí. UFAM

ROY, A., CHAKRABORTY, S., KUNDU, S., BASAK, R., MAJUMBER, S., & ADHIKARI, B. (2012). Improvement in mechanical properties of Jute through mild alkali treatment as demonstrated by utilisation of the weibull distribution model.

SATYANARAYANA, K. G. (2007). Structure and properties of some vegetables fibres . Part 3. Talipot and palmyrah fibres Journal of material Science, 21, 57.

SATYANARAYANA, K., GUIMARÃES, J., & WYPYCH, F. (2007). Studies on Lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications.

SAVASTANO JUNIOR, H., & PIMENTEL, L. (2000). Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção.

SAVASTANO, H. J. (1992). Zonas de transição entre fibras e pastas de cimento portland. Tese de Doutorado - Escola Politécnica - USP.

SEDAN, D., PAGNOUX, C., SMITH, A., & CHOTARD, T. (2008). Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre / matrix interaction.

- SILVA. (2003). Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras. Ciência e Engenharia de Materiais/USP, São Carlos.
- SILVA, A. S. (2004). “Tenacidade de materiais compósitos não convencionais”. Tese de mestrado PUC, Departamento de engenharia Civil. Rio de janeiro.
- SILVA DOS SANTOS, F. R. (2013). Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica reforçadas com fibras de Curauá e resíduo de madeira Amazônica. UFAM.
- SUSHEEL, K., B. S., K., & INDERJEET, K. (2011). Fibras de Celulose Bio e Nano - Compósito de polímeros. Springer.
- TOLÊDO FILHO, R. D. (1997). Materiais Compósitos Reforçados com Fibras Naturais: Caracterização Experimental. Tese de Doutorado, DEC - PUC - Rio de janeiro.
- Wang, W.-M., Cai, Z.-S., Yu, J.-Y., & Xia, Z.-P. (2009). Changes in Composition, Structure, and properties of Jute Fibers after Chemical Treatments.
- WILKERES, J., GREENE, O., & JOSEPH, P. (1981). Steady-State and Dynamic Properties of Concentrated Fiber-Filled Thermoplastics. Polymer Engineering and Science, MID-November, v. 35, n. 21, p. 1-12, 1995.

## ANEXOS

### ANEXO 1 - OBSERVAÇÃO DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DAS FIBRAS NO PROCESSO DE HORNIFICAÇÃO.

Para cada fio selecionado na hornificação						
Ciclos	Antes	Processo	Depois	Antes	Processo	Depois
1º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 1	→ medido e pesado ←	Secagem 1	→	medido e pesado
2º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 2	→ medido e pesado ←	Secagem 2	→	medido e pesado
3º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 3	→ medido e pesado ←	Secagem 3	→	medido e pesado
4º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 4	→ medido e pesado ←	Secagem 4	→	medido e pesado
5º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 5	→ medido e pesado ←	Secagem 5	→	medido e pesado
6º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 6	→ medido e pesado ←	Secagem 6	→	medido e pesado
7º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 7	→ medido e pesado ←	Secagem 7	→	medido e pesado
8º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 8	→ medido e pesado ←	Secagem 8	→	medido e pesado
9º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 9	→ medido e pesado ←	Secagem 9	→	medido e pesado
10º Ciclo	medido e pesado ←	Molhagem 10	→ medido e pesado ←	Secagem 10	→	medido e pesado
Medido na seção transversal utilizando a lupa, a máquina fotográfica e o programa "Image J".						
Pesado na balança de precisão, secando a fibra molhada com um pano para tirar o excesso da água.						

**ANEXO 2 - TABELA DE DOSAGEM DAS PLACAS  
PRODUZIDAS.**

Alcinéia Aguiar (2015)							
<i>Placa</i>	<i>Traço</i>	<i>C</i>	<i>RC</i>	<i>A</i>	<i>SP</i>	<i>Mv</i>	
<b>A</b>	1:1:0.4	50%	0%	50%	1%	0%	ST
<b>AHCV70</b>	1:1:0.4	35%	15%	50%	1%	6%	3T
<b>AHCV50</b>	1:1:0.4	25%	25%	50%	1%	6%	3T
<b>ANCV70</b>	1:1:0.4	35%	15%	50%	1%	6%	2T
<b>ANCV50</b>	1:1:0.4	25%	25%	50%	1%	6%	2T
<b>AHSV70</b>	1:1:0.4	35%	15%	50%	1%	6%	2T
<b>AHSV50</b>	1:1:0.4	25%	25%	50%	1%	6%	2T
<b>ANSV70</b>	1:1:0.4	35%	15%	50%	1%	6%	1T
<b>ANSV50</b>	1:1:0.4	25%	25%	50%	1%	6%	1T
<b>B</b>	1:2:0.4	33%	0%	67%	1%	0%	ST
<b>BHCV70</b>	1:2:0.4	23%	10%	67%	1%	6%	3T
<b>BHCV50</b>	1:2:0.4	17%	17%	67%	1%	6%	3T
<b>BNCV70</b>	1:2:0.4	23%	10%	67%	1%	6%	2T
<b>BNCV50</b>	1:2:0.4	17%	17%	67%	1%	6%	2T
Legenda							
Placa	Placa produzida						
Traço	Traço da Placa						
C	Cimento - CP F-32						
RC	Resíduo Cerâmico						
A	Areia						
SP	Superplastificante						
Mv	Fibras de Malva						
ST	malva sem tratamento						
1T	Malva com 1 tratamento						
2T	Malva com 2 tratamento						
3T	Malva com 3 tratamento						

### ANEXO 3 - PASSOS DA PRODUÇÃO DAS PLACAS.

Para a produção da **Placa A** foi utilizado o seguinte procedimento:

- Levou-se os componentes secos por 2 minutos a argamassadeira;
- Dissolveu-se o superplastificante na água em um Becker de vidro;
- Na argamassadeira por 5 minutos, acrescentou-se lentamente a mistura do superplastificante com a água, na massa seca, formando assim uma massa homogênea, denominando-a de **massa pura**.
- Untou-se a forma com óleo 15W / 40;
- Separa-se a massa homogênea em duas porções iguais, para assim garantir que o reforço ficará centralizado na altura da forma, a 0,5 cm das bases inferiores e superiores;
- Costurou-se as porções de fibras, para garantir a linearidade e unilateralidade deste reforço na placa;
- Colocou-se então uma porção da massa homogênea na forma untada, espalhou-se com uma espátula para garantir a uniformidade na forma;
- Em cima da porção mencionada, colocou-se a fibra de malva, de forma regular, retilínea e unilateral;
- Espalhou-se uniformemente a segunda parte da massa homogênea com a espátula sobre a fibra, citada anteriormente;
- Utilizou-se pequenas varetas de aço de diâmetro de 2mm e comprimento de 30cm, para simular a vibração na placa moldada, garantindo o adensamento da placa, retirando os vazios e diminuindo a porosidade da pasta;
- Colocou-se a parte superior da forma, que o compósito fique enclausurado, pressionando os parafusos;
- Com os parafusos pressionados e o compósito enclausurado, colocou-se como pressão, barras de aço de 10 kg sobre as formas lacradas;
- Deixou-se as formas em descanso por 24 horas e desenformou a placa nomeando-a;
- Deixou-a submersa por 28 dias;
- Retirou-se as placas do reservatório de água, cortou-as em ripas de 10x40x1 cm, descartando suas extremidades;
- Nomeou-se as ripas;
- individualmente, envolveu-se cada ripa no filme pvc, para garantir sua umidade;

- Envolveu-as no plástico bolha, para proteger sua integridade, no deslocamento das ripas;
- Utilizou-se as ripas para realização dos ensaios esperados pela pesquisa em questão.

Todas as placas produzidas seguiram este roteiro, considerando as dosagens de cada uma.

#### **ANEXO 4 – PROCEDIMENTOS REALIZADOS NO PROGRAMA COMPUTACIONAL QUE GERENCIA A PRENSA, PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE RESISTENCIA A TRAÇÃO DIRETA, DE FLEXÃO EM QUATRO E TRÊS PONTOS.**

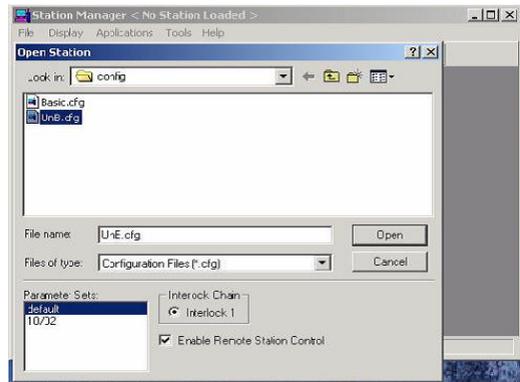
Para a realização dos ensaios de tração direta, de flexão em quatro pontos e flexão em três pontos, foi necessário alguns procedimentos no programa computacional, para garantir a idoneidade dos resultados apresentados, abriu-se a tela inicial do arquivo onde serão gravados os ensaios (**A**), abriu-se então a primeira tela do programa para serem iniciados os procedimentos de ensaio de tração direta, logo a abertura do arquivo dentro da pasta de trabalho, determinado os parâmetros necessários para o ensaio como a velocidade e deslocamento máximo (**B**), confira a tela ilustrativa verificando os detectores de força, deslocamento ou tensão, habilite-os como tensão e deslocamento, logo o programa assimilará os novos parâmetros do ensaio exibindo uma tela.

Será exibido uma tela com a indicação de acionamento para o controle manual na prensa, onde será colocado a amostra, acione a tela que controla a tensão e o deslocamento no ensaio desativando o controle manual, após a colocação da amostra, será exibido a tela com os procedimentos de partidas para serem acionadas as bombas que controlam o fluido responsável pelo funcionamento da prensa, acione a primeira bomba HPS1, a segunda bomba HSM1, confirme o acionamento das duas bombas. Aparecerá uma tela onde a tensão e o deslocamento serão zerados para início do ensaio e em seguida outra com seu acionamento, agora na tela ilustrativa, de o comando de “reset” para se iniciar o ensaio.

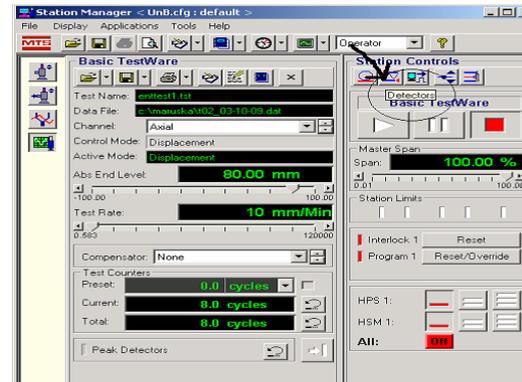
Mostrará uma tela com abertura do gráfico para o acompanhamento do ensaio (**C**), e outra com o parâmetros do gráfico com alteração (**D**), assim acione o controle do ensaio pelo programa dando início ao ensaio.

De acordo com o desenvolver dos ensaios, serão apresentados gráficos do ensaio (**E**), ate finalizar o ensaio. Logo aparecerá uma tela ilustrativa onde a força foi zerada e o controle manual habilitado para a retirada da amostra (**F**).

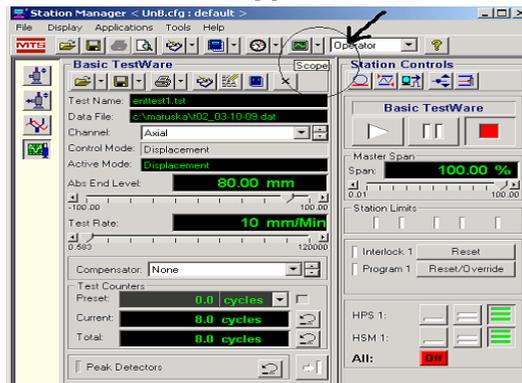
Vale ressaltar que estes procedimentos, devem ser repetido para a realização do ensaio em cada placa ou amostra.



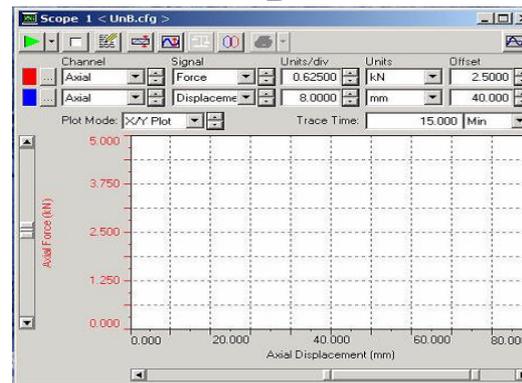
A



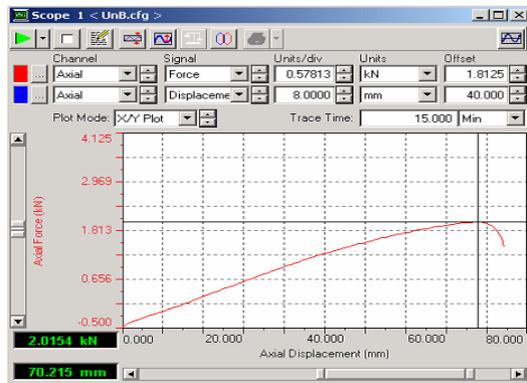
B



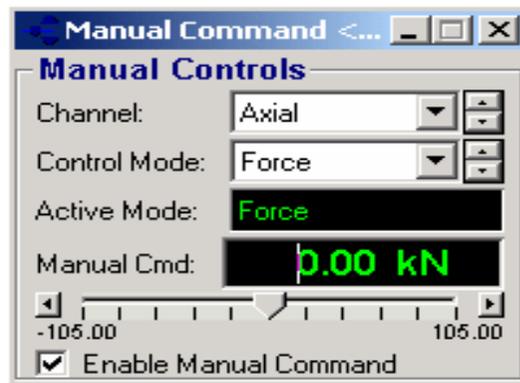
C



D



E

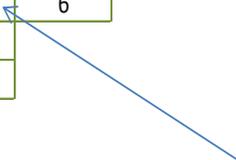


F

## ANEXO 5 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE TRAÇÃO DIRETA.

Deslocamento (mm)	COMPÓSITOS												A	B	
	AHCV70	AHCV50	ANCV70	ANCV50	AHSV70	AHSV50	ANSV70	ANSV50	BHCV70	BHCV50	BNCV70	BNCV50			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	13	11,5	9,3	9	8,5	8,1	7,7	7,2	6,8	6,3	6,1	5,5	5	3,9	
0,5	13	11,5	9,3	9	8,5	8,1	7,7	7,2	6,8	6,3	6,1	5,5	3,8	2	
1	14	12,8	11,7	11	10,4	9,2	8,2	8,3	8	7	6,5	5,8			
1	14	12,8	11,7	11	10,4	9,2	8,2	6,8	6,3	5,9	5,2	3,9			
1,5	16	15,1	14,3	12,9	11,7	10	9,1	6							
1,5	16	15,1	14,3	12,9	11,7	7,5	7,3								
2	19	16,3	16,3	13,9	12	7	6								
2	19	16,3	16,3	8,4	8,1	7									
2,5	21	17	15	8	6,9										
2,5	21	9	8,7	8	6,9										
3	23	8	7,7	7,2											
3	10	8	7,7												
3,5	7	6,5													
3,6	6,5	6													
3,7	6														
3,8	5,5														

Tensão de tração (MPa)



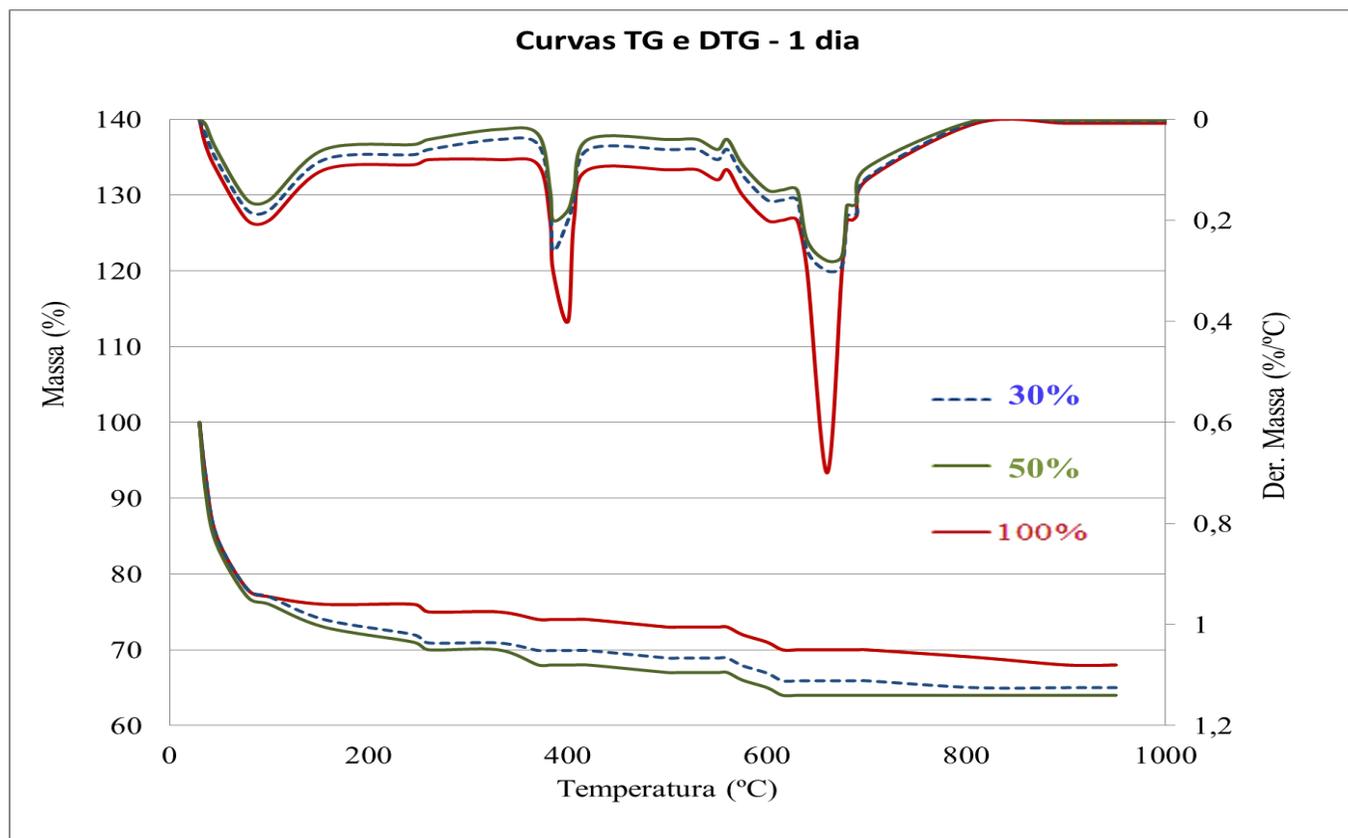
## ANEXO 6 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM QUATRO PONTOS

Deflexão (mm)	COMPÓSITOS												A	B
	AHCV70	AHCV50	ANCV70	ANCV50	AHSV70	AHSV50	ANSV70	ANSV50	BHCV70	BHCV50	BNCV70	BNCV50		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	10,5	10,0	8,3	7,9	7,0	6,0	5,0	5,0	4	3	3	3	2	1
2	13,5	11,3	8,9	8,2	8,0	6,8	6,3	6,8	5,8	3,8	3,6	3,2	3	2,2
3	18,0	16,9	9,4	8,9	9,0	7,4	7,0	7,0	6,3	4,9	4,7	4,1	3,5	2,8
4	19,0	18,1	12,5	9,9	9,2	8,2	7,8	7,3	6,9	5	4,8	4,2	4	3,6
5	19,5	18,9	16,1	14,0	11,0	10,3	9,3	8,0	7	5,1	4,9	4,3	4,2	3,9
6	21,0	19,3	17,5	16,0	12,0	11,1	9,9	9,0	8,4	5,7	5,5	4,9	4,6	4,2
7	22,0	20,7	18,1	17,0	13,0	12,9	10,7	9,7	8,8	6,3	6,1	5,5	5,1	5
8	22,5	21,4	18,9	18,0	14,0	13,0	11,8	10,0	9,2	6,9	6,7	6,1	6	3
9	24,5	22,1	19,8	19,0	16,0	13,7	12,3	11,5	10,1	9	8,8	8,2	8	
10	26,5	22,9	21,0	20,0	18,0	15,6	14,4	12,9	11,7	10,8	10,6	10,0	7	
11	27,5	24,0	21,4	21,0	20,0	17,0	16,9	15,5	14	12	11,8	11,2	3	
12	28,5	25,8	22,1	21,4	21,0	20,0	18,6	17,0	16,3	15,8	15,6	15		
13	29,5	26,3	23,5	22,0	21,4	21,0	19,0	18,8	18	15	15	14		
14	30,5	27,5	25,1	24,0	22,0	21,6	20	19,3	17	5	4,8	4		
15	32,5	28,0	25,7	25,0	23,8	23	19,0	18,0	6	2	1,8	1,6		
16	34,5	30,8	28,8	27,5	25,9	22,0	8,5	5,0	4	2				
17	36,5	32,1	28,0	27,0	26,0	8,5	5,0	4,0	2					
18	36,0	30,0	10,4	9,0	8,0	6,0	4,0	3,0	2					
19	33,0	17,9	9,5	8,0	7,3	5,0	4,0	3,0	2					
20	19,5	16,0	8,0	7,0	6,8	5,0								
21	17,2	14,1	6,6	6,0	4,0									
22	15,7	11,0	4,3	5,0	4,0									
23	13,6	9,9	4,1	3,0										
24	12,4	8,2	4,0	3,0										
25	11,5	6,0	4,0											
26	10,0	5,1												
27	8,4	5,1												
28	8,0													
29	6,0													
30	6,0													

## ANEXO 7 - RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO EM TRÊS PONTOS.

Deflexão (mm)	TENSÃO DE FLEXÃO em kN/m <sup>2</sup>													
	AHCV70	AHCV50	ANCV70	ANCV50	AHSV70	AHSV50	ANSV70	ANSV50	BHCV70	BHCV50	BNCV70	BNCV50	A	B
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	14102	13658	12147	11791	10991	10102	9213	9400	8600	7889	7622	7436	6547	5658
2	16769	14813	12680	12058	11880	10813	10369	10813	9924	8147	7969	7613	7436	6724
3	20769	19791	13124	12680	12769	11347	10991	10991	10369	9124	8947	8413	7880	7258
4	21658	20858	15880	13569	12947	12058	11702	11258	10902	9213	9036	8502	8324	7969
5	22102	21569	19080	17213	14547	13924	13036	11880	10991	9302	9124	8591	8502	8236
6	23436	21924	20324	18991	15436	14636	13569	12769	12236	9836	9658	9124	8858	8502
7	24324	23169	20858	19880	16324	16236	14280	13391	12591	10369	10191	9658	9302	9213
8	24769	23791	21569	20769	17213	16324	15258	13658	12947	10902	10724	10191	10102	7436
9	26547	24413	22369	21658	18991	16947	15702	14991	13747	12769	12591	12058	11880	
10	28324	25124	23436	22547	20769	18636	17569	16236	15169	14369	14191	13658	10991	
11	29213	26102	23791	23436	22547	19880	19791	18547	17213	15436	15258	14724	7436	
12	30102	27702	24413	23791	23436	22547	21302	19880	19258	18813	18636	18102		
13	30991	28147	25658	24324	23791	23436	21658	21480	20769	18102	18102	17213		
14	31880	29213	27080	26102	24324	23969	22547	21924	19880	9213	9036	8324		
15	33658	29658	27613	26991	25924	25213	21658	20769	10102					
16	35436	32147	30369	28244	27791	24324	12324	9213						
17	37213	33302	31000	29311	27880	12324								
18	38644	31436	14013	12769	11880									
19	34102	20680	13213	11880	11258									
20	22102													

**ANEXO 8 - CURVAS TG E DTG PARA AS PASTAS COM 100% DE CIMENTO PORTLAND, COM 50% DOCUMENTO PORTLAND + 50% DE RESÍDUO CERÂMICO E 70% DE CIMENTO PORTLAND + 30% DE RESIDUO CERÂMICO, APÓS 1 DIA DE HIDRATAÇÃO.**



**ANEXO 9 - CURVAS TG E DTG PARA AS PASTAS COM 100% DE CIMENTO PORTLAND, COM 50% DOCUMENTO PORTLAND + 50% DE RESÍDUO CERÂMICO E 70% DE CIMENTO PORTLAND + 30% DE RESIDUO CERÂMICO, APÓS 28 DIAS DE HIDRATAÇÃO.**

