



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS



FACULDADE DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE TELHAS  
CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM TECIDO DE FIBRAS  
VEGETAIS DA AMAZÔNIA

MESAQUE SILVA DE OLIVEIRA

MANAUS

2017

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

MESAQUE SILVA DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE TELHAS  
CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM TECIDO DE FIBRAS  
VEGETAIS DA AMAZÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Materiais e Estruturas.

Orientador: Prof. João de Almeida Melo Filho, D.Sc

MANAUS

2017

MESAQUE SILVA DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE TELHAS  
CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM TECIDO DE FIBRAS  
VEGETAIS DA AMAZÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Materiais e Estruturas.

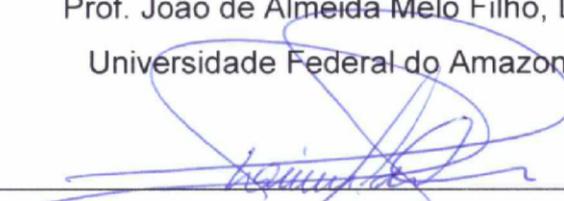
Aprovado em 06 de janeiro de 2017.

BANCA EXAMINADORA



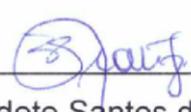
---

Prof. João de Almeida Melo Filho, D.Sc  
Universidade Federal do Amazonas



---

Prof. Raimundo Pereira de Vasconcelos, D.Sc  
Universidade Federal do Amazonas



---

Prof.ª Valdete Santos de Araújo, D.Sc  
Universidade do Estado do Amazonas

## Ficha Catalográfica

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

O48d Oliveira, Mesaque Silva de  
Desenvolvimento e caracterização de telhas cimentícias  
reforçadas com tecido de fibras vegetais da Amazônia / Mesaque  
Silva de Oliveira. 2017  
118 f.: il. color; 31 cm.

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

1. Juta. 2. Malva. 3. Resíduo cerâmico. 4. Telha. I. Melo Filho,  
João de Almeida II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Dedico aos meus pais, esposa  
e filhos, por todo apoio, compreensão e  
incentivo nos momentos mais difíceis,  
amo vocês!

## AGRADECIMENTOS

Ao soberano e eterno Deus a quem atribuo as conquistas realizadas durante toda a minha vida.

Aos meus pais Honório Oliveira e Neide Oliveira por me ensinarem o caminho em que devo andar, pelas incansáveis orações, pelo incentivo e apoio aos meus estudos e ao meu aprimoramento profissional.

A minha amada esposa Josy Oliveira, e meus filhos João Vitor Oliveira e Ana Beatriz Oliveira por todo carinho e incentivo, principalmente compreendendo os momentos da minha ausência na dedicação a este trabalho.

Aos meus irmãos Sadraque (in memoriam), Abedenego e Rizia pelo carinho e companheirismo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João de Almeida Melo Filho, pela atenção, confiança e sugestões conduzidas durante todo o trabalho.

A empresa Brasjuta da Amazônia localizada no Polo Industrial de Manaus, pelo fornecimento do tecido de fibras de Juta e Malva.

A olaria Rio Negro localizada no município de Iranduba – AM, pelo fornecimento do resíduo cerâmico.

A empresa de concreto usinado USIMIX localizada no Polo Industrial de Manaus, pelo fornecimento da areia utilizada nesta pesquisa.

Aos amigos e colegas que fiz durante todo este período de UFAM, que serão lembrados sempre com muito carinho. Especial agradecimento ao amigo Engenheiro Civil Wanderson Félix Santos, pela grande contribuição a este trabalho.

Aos técnicos dos laboratórios do programa, pelo auxílio nos ensaios experimentais. Em especial ao Nilson por toda colaboração, amizade e troca de ideias relacionadas a esta pesquisa.

Aos funcionários da secretaria do PPGEC Beatriz e Diego pelo suporte em questões burocráticas.

Aos Professores Raimundo Vasconcelos e Dércio Reis, pela participação na banca do meu exame de qualificação, onde deram generosas contribuições a esse trabalho.

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil (PPGEC) que estiveram sempre prontos para prestar ajuda: Virginia Giaccon, Nilton Campelo e Raimundo Kennedy.

Aos queridos colegas, amigos e diretores do MANAUSTRANS, pelo apoio permitindo conciliar estudo e trabalho.

Aos queridos colegas, amigos e coordenadores da UNINORTE, pelo apoio permitindo conciliar estudo e trabalho.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desta Dissertação.

A UFAM pelo apoio e incentivo, sem o qual esse trabalho não seria possível.

Quanto melhor é adquirir a sabedoria do que o ouro! E quanto mais excelente, adquirir a prudência do que a prata!

Provérbios 16:16

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil (M.Sc.).

## **Desenvolvimento e Caracterização de Telhas Cimentícias Reforçadas com Tecido de Fibras Vegetais da Amazônia**

Mesaque Silva de Oliveira

Orientador: Prof. João de Almeida Melo Filho, D.Sc

Na presente pesquisa foi realizada a caracterização mecânica de telhas cimentícias reforçadas com tecido de fibras naturais vegetais da Amazônia. A matriz de cimento portland utilizada foi modificada pela substituição parcial do cimento por resíduo de tijolo moído para a redução do hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), gerado durante o processo de hidratação do cimento. Com o intuito de desenvolver a telha, foi produzida uma matriz auto-adensável com 2 camadas de tecidos de fibras vegetais de juta e malva. Propriedades físicas como capacidade de absorção de água, índice de vazios e massa específica foram determinadas. Ensaio do funil de Marsh e de consistência foram efetuados visando à determinação da dosagem do superplastificante. Os principais ensaios utilizados para a caracterização mecânica da matriz e compósitos foram de compressão axial, tração direta e tração à flexão em quatro pontos. Os resultados dos ensaios físico-mecânicos indicam que as fibras utilizadas apresentam um potencial uso como reforço das placas cimentícias, formando um compósito de alta resistência, apresentando boas propriedades mecânicas e de durabilidade promissoras no desenvolvimento de peças estruturais. Os compósitos com substituição de 50% do cimento Portland pelo resíduo cerâmico apresentaram resistência superior aos de 0%, cerca de 18% na tração à flexão e 12% na tração direta, além de apresentarem um comportamento de múltipla fissuração tanto na flexão como na tração. Nas telhas reforçadas com tecido tratado de fibra de juta e malva, a adição de 50% de resíduo de tijolo moído reduziu a ação do hidróxido de cálcio, contribuindo no aumento da aderência, resistência e durabilidade das telhas os quais apresentaram bom comportamento nos ensaios de permeabilidade, flexão e resistência ao impacto, superiores a telha referência sem amianto.

Palavras-chave: Juta, malva, resíduo cerâmico, telha

Abstract of the dissertation presented to the Post-Graduate Program in Civil Engineering from the Federal University of Amazonas as part of the requirements for the degree of Master of Civil Engineering (M.Sc.).

## **Development and Characterization of Cementitious Roof Tiles Reinforced with Natural Vegetables Fibers from Amazon**

Mesaque Silva de Oliveira

Advisor: Teacher João de Almeida Melo Filho, D.Sc

In the present research, the mechanical characterization of reinforced cementitious tiles with the natural vegetal fibers of the Amazon was carried out. The cement matrix was modified by the partial replacement of the cement by the residue of ground brick for the reduction of the calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) generated during the cement hydration process. In order to develop the tile, a self-compacting matrix was produced with 2 layers of jute and mauve plant fibers. Physical properties such as water absorption capacity, void index and specific mass were determined. Marsh's funnel and consistency tests carried out in order to determine the dosage of the superplasticizer. The principal tests used for the mechanical characterization of the matrix and composites were axial compression, direct traction and flexural tensile at four points. The results of the physical-mechanical tests indicate that the fibers used present a potential use as reinforcement of the cementitious plates, forming a composite of high strength, presenting good mechanical properties and of promising durability in the development of structural pieces. The composites with 50% substitution of the Portland cement for the ceramic residue showed superior resistance to 0%, about 18% in the flexural traction and 12% in the direct traction, besides presenting a behavior of multiple cracking in both flexion and traction. In the tiles reinforced with jute fiber and mauve treated, the addition of 50% of ground brick residue reduced the action of the calcium hydroxide, contributing to increase the adhesion, strength and durability of the tiles, which presented good behavior in the permeability tests, Bending and impact resistance, superior to non-asbestos reference tile.

Key words: Jute, malva, ceramic residues, tile

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Classificação das Fibras.....	26
Figura 2.2	Fibra sintética de aramida.....	27
Figura 2.3	Fibras de juta e malva.....	31
Figura 2.4	Fibras de juta e malva beneficiadas.....	32
Figura 2.5	Imagens obtidas por MEV.....	34
Figura 2.6	Telha de fibrocimento ondulada.....	42
Figura 2.7	Telhas com matriz cimentícia.....	44
Figura 3.1	Cimento portland comum CPI S 32.....	47
Figura 3.2	Amostra do cimento Portland comum .....	48
Figura 3.3	Amostra do Resíduo Cerâmico.....	50
Figura 3.4	Resíduo de tijolo moído adicionado ao Cimento Portland comum.....	50
Figura 3.5	Superplastificante usado na pesquisa.....	52
Figura 3.6	Lote utilizado do tecido de fibra de juta e malva.....	53
Figura 3.7	Produção do material pozolânico – 1ª etapa.....	54
Figura 3.8	Produção do material pozolânico – 2ª etapa.....	55
Figura 3.9	Ensaio de consistência.....	57
Figura 3.10	Sequência da mistura.....	58
Figura 3.11	Ensaio do Funil Marsh.....	59
Figura 3.12	Sequência do ensaio de consistência adaptado da norma.....	60
Figura 3.13	Tecido de juta e malva.....	60
Figura 3.14	Tecido cortado.....	61
Figura 3.15	Materiais para moldagem.....	62
Figura 3.16	Mistura dos materias.....	63
Figura 3.17	Moldagem das placas.....	64
Figura 3.18	Preparação das placas para ensaios mecânicos.....	65
Figura 3.19	Mistura dos materias.....	66
Figura 3.20	Preparação das formas.....	66
Figura 3.21	Moldagem das telhas.....	67
Figura 3.22	Desforma das telhas.....	68
Figura 3.23	Instrumentação do corpo-de-prova.....	69
Figura 3.24	Análise térmica.....	70
Figura 3.25	Ensaio de tração direta.....	71
Figura 3.26	Ensaio de flexão nos compósitos.....	72
Figura 3.27	Ensaio de permeabilidade da telha.....	73
Figura 3.28	Ensaio de flexão.....	74
Figura 3.29	Detalhe do ensaio de flexão.....	75
Figura 3.30	Chuva de granizo.....	76
Figura 3.31	Ensaio de resistência ao impacto.....	77
Figura 4.1	Curva granulométrica da areia.....	80
Figura 4.2	Amostra da areia.....	81
Figura 4.3	Resultados do ensaio do funil de Marsh.....	82
Figura 4.4	Gráfico dos valores de compressão aos 28 dias.....	84

Figura 4.5	Curvas de TG / DTG.....	85
Figura 4.6	Curvas típicas de tensão de tração direta x deslocamento.....	86
Figura 4.7	Ensaio de tração na flexão.....	88
Figura 4.8	Curvas médias de tensão de tração na flexão x deflexão.....	89
Figura 4.9	Ensaio de tração na flexão.....	90
Figura 4.10	Detalhe do ensaio de tração na flexão.....	91
Figura 4.11	Ensaio de permeabilidade da telha.....	92
Figura 4.12	Ensaio de flexão: comparativo de deflexão entre as telhas.....	93
Figura 4.13	Ensaio de flexão da telha.....	94
Figura 4.14	Ensaio de resistência ao impacto.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características mecânicas e físicas de algumas fibras.....	29
Tabela 2.2	Produção estadual das fibras Juta/Malva em toneladas.....	32
Tabela 2.3	Valores referentes a espessura das fibras de juta e malva.....	33
Tabela 3.1	Análise química do cimento portland CP I S-32.....	48
Tabela 3.2	Análise física do cimento.....	49
Tabela 3.3	Traço da matriz e do compósito produzido na presente pesquisa.....	56
Tabela 3.4	Consumo dos materiais utilizados para os ensaios da argamassa.....	59
Tabela 4.1	Propriedades Física e Química da Areia.....	79
Tabela 4.2	Valores dos ensaios de absorção de água, índice de vazios.....	83
Tabela 4.3	Valores médios da resistência à compressão.....	84
Tabela 4.4	<i>Valores médios da tensão de tração direta</i> .....	88
Tabela 4.5	Valores médio de tração na flexão.....	90
Tabela 4.6	Resultados ensaio de permeabilidade .....	92
Tabela 4.7	Classificação das perfurações e formação de trincas.....	95
Tabela 4.8	Resultados de energia de impacto.....	96

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 Problematização.....	17
1.2 Objetivos.....	18
1.3 Justificativa.....	19
1.4 Estrutura da dissertação.....	19
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	21
2.1 Introdução.....	22
2.2 Materiais compósitos.....	22
2.2.1 Matrizes cimentíceas.....	23
2.2.2 Reações pozolânicas.....	24
2.2.3 Fibras utilizadas em compósitos.....	25
2.2.3.1 Fibras sintéticas.....	26
2.2.3.2 Fibras naturais vegetais.....	27
2.2.3.3 Fibras de juta e malva.....	30
2.2.4 Durabilidade de compósitos com fibras vegetais.....	34
2.2.5 Tratamento das fibras vegetais.....	37
2.3 Comportamento mecânico de compósitos com fibras vegetais.....	39
2.4 Produção de telhas de fibrocimento com amianto no Brasil.....	41
2.5 Produção de telhas de fibrocimento sem amianto.....	43
2.6 Produção de matriz com redução de hidróxido de cálcio.....	44
<b>3. MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS</b> .....	46
3.1 Características dos materiais.....	47
3.1.1 Cimento.....	47
3.1.1.1 Caracterização do cimento.....	47
3.1.2 Resíduos cerâmicos.....	49
3.1.3 Areia.....	51
3.1.3.1 Caracterização da areia.....	51
3.1.4 Superplastificante.....	51
3.1.5 Água.....	52
3.1.6 Tecido de fibras de juta e malva.....	52
3.2 Procedimentos experimentais.....	53
3.2.1 Produção da Metacaulinita.....	53
3.2.2 Produção de pastas com redução de $\text{Ca(OH)}_2$ .....	55
3.2.3 Determinação do teor do aditivo superplastificante.....	56
3.2.4 Preparo do tecido das fibras.....	60
3.2.4.1 Tratamento do tecido de fibras de juta e malva.....	61
3.2.4.2 Massa específica do tecido de fibras de juta e malva.....	62
3.2.5 Processo de produção das placas.....	62
3.2.6 Processo de produção das telhas.....	65
3.3 Caracterização da matriz.....	68
3.3.1 Ensaio de compressão.....	68
3.3.2 Análise termogravimétrica.....	69

3.4	Caracterização do compósito.....	70
3.4.1	Ensaio de tração direta.....	70
3.4.2	Ensaio de flexão em 4 pontos .....	71
3.4.3	Ensaio de Permeabilidade nas telhas.....	73
3.4.4	Ensaio de flexão nas telhas.....	74
3.4.5	Ensaio de resistência ao impacto nas telhas.....	76
4	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	78
4.1	Resultado da Caracterização da Areia.....	79
4.2	Resultado da massa específica do tecido de fibras de juta e malva.....	81
4.3	Análise dos resultados dos métodos de ensaios de dosagem do aditivo.....	81
4.4	Ensaio de Absorção, índice de vazios e massa específica.....	83
4.5	Caracterização da matriz.....	84
4.5.1	Ensaio de Compressão da matriz.....	84
4.5.2	Análise termogravimétrica.....	85
4.6	Caracterização do compósito.....	86
4.6.1	Tração direta.....	86
4.6.2	Tração na flexão em quatro.....	89
4.6.3	Ensaio de Permeabilidade na telha.....	92
4.6.4	Ensaio de flexão na telha.....	93
4.6.5	Ensaio de resistência ao impacto na telha.....	95
5	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	99
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	104

# Capítulo 1

---

## Introdução

## 1 – INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos são formados pela união de dois ou mais materiais e, juntos, produzem propriedades as quais não podem ser obtidas com qualquer um dos seus componentes individuais. A história mostra que os egípcios já faziam uso de materiais compósitos, eles usavam a palha para reforçar tijolos de barro, tal fato aumentava a resistência dos mesmos (MELO FILHO, 2005).

Os compósitos eram produzidos até pouco tempo predominantemente com fibras de amianto. No entanto, devido à natureza cancerígena dessa fibra, alternativas começaram a ser estudadas com o intuito de substituir tais fibras como elemento de reforço nesses produtos, e as fibras vegetais, por serem abundantes, renováveis, atóxicas, de baixo custo, baixa densidade, resistência específica e módulo elevados se apresentaram como uma alternativa potencial (MELO FILHO, 2012).

As fibras naturais vegetais são uma opção como reforço de matrizes cimentícias, principalmente após a proibição dos produtos de cimento reforçados com fibras de amianto, devido à comprovação de riscos à saúde. As fibras naturais são um recurso renovável e estão disponíveis em quase todo o mundo, além do baixo custo, quando comparada a utilização de fibras sintéticas que exigem maior consumo de energia e, portanto, um maior custo de produção (TORGAL E JALALI, 2010).

O reforço com fibras vegetais de arumã e sisal, distribuídas unidirecionalmente e bidirecionalmente em teores de 6% a 8% em matrizes cimentícias livres de hidróxido de cálcio, apresentaram resultados bastante promissores quanto à resistência mecânica (MELO FILHO, 2005; MARQUES, 2009).

Melo Filho (2012) obteve ótimos resultados no que diz respeito a durabilidade desses compósitos. Fidelis (2014) desenvolveu e caracterizou compósitos cimentícios

têxteis reforçados com fibra de juta apresentando comportamento à tração direta com múltipla fissuração, com tensão última de 7 Mpa e deformação de 6,5%.

Os compósitos cimentícios reforçados com fibras naturais vegetais possuem diversas funcionalidades tais como placas planas e corrugadas para elemento de cobertura, painéis divisórios, revestimentos de pisos, paredes e forros entre outros. Porém, para cada nova tecnologia desenvolvida é necessária, a caracterização, tanto física como mecânica, destes novos materiais.

Assim, nesta pesquisa foram estudados o desenvolvimento e a caracterização mecânica de compósitos cimentícios reforçados com tecidos de fibras naturais vegetais cultivadas na Região Amazônica: juta e malva.

## **1.1 Problematização**

Com a proibição dos produtos de cimento reforçados com fibras de amianto, devido à comprovação de riscos à saúde, abriu-se uma lacuna sobre qual material poderia substituir as fibras de amianto, principalmente na produção de telhas de fibrocimento.

Compósitos de argamassa reforçados com fibras naturais vegetais surgem, então, como desafio para combinar materiais de construções não convencionais com as técnicas tradicionais de construção. Pesquisas usando métodos científicos avançados podem ajudar na avaliação das propriedades de engenharia desses materiais, adaptando-os para que se tornem materiais de construção econômicos e duráveis, ademais, compósitos reforçados com fibras naturais vegetais pode ser uma alternativa viável para a substituição dos produtos à base de fibras de amianto. Esse caminho é mais sustentável, além do baixo custo, possui maior disponibilidade quando comparada a utilização de fibras sintéticas.

Dessa forma, diante desse contexto e da necessidade de reforçar e aumentar a resistência e durabilidade de telha de fibrocimento usada na construção civil, esse trabalho apresenta o seguinte problema de pesquisa: É possível desenvolver uma telha de fibrocimento utilizando como reforço tecido de fibras vegetais da Amazônia: juta e malva?

## 1.2 Objetivos

Objetivo Geral:

- Estudar o comportamento de matriz cimentícia com baixo teor de hidróxido de cálcio reforçada com tecido de fibras de juta e malva com a finalidade de aplicação em telhas.

Objetivos específicos:

- Desenvolver uma matriz cimentícia, com baixo teor de hidróxido de cálcio, com adição pozolânica e reforçada com fibras tratadas;
- Produzir compósitos cimentícios reforçados com tecidos de fibras de juta e malva;
- Caracterizar os compósitos cimentícios quanto as propriedades físicas e mecânicas;
- Avaliar o desempenho mecânico de uma telha ondulada cimentícia reforçada com tecido de fibra de juta e malva para uma possível aplicação na construção civil.

### 1.3 Justificativa

Em função da crescente degradação no meio ambiente, a utilização de fibras naturais vegetais como matéria-prima, vem se consolidando como importante vetor, contribuindo para minimizar o impacto ambiental e também vem aumentando o interesse nas pesquisas científicas direcionadas para indústria da construção civil e têxtil, entre outras.

Pesquisar sobre o tecido de fibra vegetal de juta e malva aplicado no reforço de matriz cimentícia é significativo na verificação de sua viabilidade técnica no desenvolvimento de um compósito, que resulte em uma placa que possa ser empregada em diversas aplicações, favorecendo diretamente no desenvolvimento sustentável da construção civil.

Existe um crescente interesse em pesquisas que possibilitem aumentar a aplicabilidade das fibras de juta e malva na indústria, onde hoje elas já são utilizadas na produção de tecidos e sacarias. As fibras naturais vegetais têm se tornado um forte aliado ecológico para a indústria da construção civil.

O desenvolvimento deste projeto justifica-se em razão da produção de material compósito em matriz cimentícia reforçado com tecido de fibras vegetais de juta e malva visando o aumento da sua resistência e durabilidade.

### 1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi dividida em seis capítulos descritos a seguir:

**Capítulo 1: Introdução** – No presente capítulo é feita uma breve introdução, a descrição da problematização, dos objetivos e da justificativa do trabalho.

**Capítulo 2: Referencial Teórico** - Mostra uma revisão dos principais desenvolvimentos que estão ocorrendo voltados para materiais compósitos como também características da matriz cimentícia e fibras.

**Capítulo 3: Materiais e Procedimentos Experimentais** – Este capítulo descreve todos os materiais utilizados no presente trabalho. Toda a metodologia de produção das placas e telhas, assim como a configuração dos ensaios realizados para a caracterização dos compósitos.

**Capítulo 4: Apresentação e análise dos resultados** - Neste capítulo são apresentados os resultados dos diferentes ensaios realizados na caracterização dos compósitos.

**Capítulo 5: Conclusões e sugestões para trabalhos futuros** - São apresentadas as conclusões obtidas dos resultados dos diferentes ensaios realizados e onde são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

# Capítulo 2

---

## Referencial Teórico

## **2 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Introdução**

Tem crescido nos últimos anos o interesse mundial na pesquisa pelo desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com menor impacto ambiental. Pode-se destacar a utilização de materiais compósitos, principalmente nas matrizes cimentícias que usam as fibras vegetais como reforço, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas, tornando a estrutura do compósito com maior resistência e mais durável.

Segundo Swamy (1990), o emprego de fibras vegetais em compósitos como placas, telhas de coberturas e componentes pré-fabricados pode representar significativa contribuição para o rápido crescimento da infraestrutura de alguns países.

### **2.2 Materiais compósitos**

Material compósito é definido como uma combinação macroscópica de dois ou mais material distintos, possuindo uma interface distinta entre si (CALLISTER, 1997).

Materiais compósitos são formados pela união de dois ou mais materiais que juntos produzem propriedades que não podem ser obtidas com qualquer um dos seus componentes individualmente, esse conceito é bem antigo, os egípcios já utilizavam a palha para reforçar os tijolos de barro (MELO FILHO, 2005).

Esse tipo de material pode ser dado pela união dos mais diversos tipos de materiais como, concreto, metais, cerâmicas, poliméros, fibras e outros, que podem

ser combinados entre si na formação de um compósito, ressaltando sempre as condições de processo e compatibilização química e física dos materiais (SILVA, 2003).

Pode-se afirmar, com essa definição, que a argamassa é material compósito, pois é formada pela combinação do cimento, do agregado miúdo e água.

Segundo Callister (2000), um compósito laminar é uma série de folhas bidirecionais, possuindo uma direção preferencial conforme a solicitação do esforço, podendo ser prensadas umas sobre as outras com diferentes orientações. O processo mais utilizado na produção de laminados cimentícios é a técnica Hatscheck. Este processo recebe o sobrenome de Ludwaing Hatscheck, austríaco, que produziu placas de cimento e asbesto (SILVA, 2002).

### **2.2.1 Matrizes cimentícias**

Matriz cimentícia é o material formado pela mistura de cimento, agregado miúdo e água, a mistura desses materiais formam uma pasta de consistência plástica, que podem ser moldadas em fôrmas. O endurecimento desta pasta deve-se as reações químicas entre o cimento e a água, através da hidratação do cimento, aumentando a resistência à compressão com o passar do tempo.

A grande vantagem da matriz cimentícia é o fato de ser um material de construção que pode ser produzido com uso de equipamentos simples e pode ser moldado adquirindo qualquer forma.

Grande parte das pesquisas utilizaram como aglomerante na matriz o cimento Portland, porém esta matriz cimentícia quando hidratada produz alta alcalinidade oriunda da portlandita  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  liberada quando acontece esta hidratação, ocorrendo ainda a presença da álcalis solúveis como óxido de potássio  $[\text{Na}_2\text{O}]$  (SILVA, 2002).

Ao se adicionar fibras na matriz cimentícia, verifica-se, nas suas propriedades, mudanças consideráveis, como aumento da resistência. Os efeitos da adição das fibras são mais evidentes após a fissuração da matriz. Depois desse estágio, percebe-se que o compósito apresenta um comportamento mais rígido ao invés da ruptura brusca que ocorreria na ausência dessas fibras (MELO FILHO, 2005).

O compósito cimentício tem como elemento aglomerante principal o cimento, onde o material é apresentado em forma de pó e é constituído de silicatos e aluminatos de cálcio (OLIVEIRA, 2013).

### **2.2.2 Reações pozolânicas**

A NBR 12653:2014, determina que para que um material ser classificado como pozolânico, a quantidade de  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  deve ser de no mínimo 70 % para materiais das Classes N e C e de, pelo menos, 50 % para dos da Classe E. Portanto assume-se que, adicionando ao cimento um material pozolânico, cujo óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  estão presentes em estado amorfo ou com sua estrutura cristalina fraca, em presença e água e à temperatura ambiente, estes óxidos reagem com o hidróxido de cálcio (produzido pela hidratação dos silicatos do cimento Portland) formando compostos que possuem propriedades aglomerantes.

Trabalhos com substituição parcial do cimento por materiais pozolânicos têm sido realizados, com a finalidade de se obter uma matriz livre de hidróxido de cálcio, pois as reações pozolânicas consomem o CH presente na matriz (TOLEDO FILHO *et al.*, 2003; LIMA 2004; SILVA *et al.*, 2010).

De acordo com Melo Filho (2005), varios pesquisadores têm verificado os benefícios da substituição de parte do cimento por outros aditivos minerais (microsílica, cinza volante, metacaulinita, resíduo cerâmico e outros) que realizem

atividade pozolânica, proporcionando assim uma estrutura de poros mais densa e, em consequência, o aumento de resistência à compressão e impermeabilidade nos componentes à base de cimento.

Holland (2005) informa que se usados aditivos minerais com teores de 15% de sílica, em substituição ao cimento Portland, são estimados aproximadamente 2 milhões de partículas de sílica ativa para cada grão de cimento Portland.

Segundo Mantuano Netto (2006), o hidróxido de cálcio, CH, necessário à reação pozolânica, é gerado juntamente com o silicato de cálcio hidratado, C-S-H, através das reações de hidratação do silicato tricálcico ( $C_3S$ ), e silicato de cálcio ( $C_2S$ ), presentes no cimento Portland.

As reações pozolânicas provocam densificação da matriz através do refinamento dos poros, levando à melhoria da resistência e menor susceptibilidade à degradação das fibras (RODRIGUES et al., 2010).

Diversos estudos buscam alternativas como modificações na composição da matriz cimentícia e tratamentos nas fibras a fim de melhorar o comportamento mecânico e a durabilidade desses compósitos. Na matriz, a substituição parcial do cimento por pozolanas é requisito, pois as reações pozolânicas consomem o CH, evitando a mineralização das fibras (FIDELIS, 2014).

### **2.2.3 Fibras utilizadas em compósitos**

As fibras possuem uso em diversos fins, porém nos últimos anos as pesquisas buscam a sua utilização na construção civil, como reforço na matriz cimentícia. As fibras podem ser organizadas em duas principais classes: naturais e não naturais.

As fibras naturais podem ser separadas em minerais, animais e vegetais. As fibras minerais são formadas por ligações cristalinas, por exemplo, o asbesto, as fibras de origem animal possui ligações proteicas, por exemplo, na Lã e finalmente as vegetais são constituídas por ligações celulósicas, por exemplo no sisal, curáua, arumã, açáí, juta, malva entre outras. Na Figura 2.1 é mostrada esta classificação das fibras.

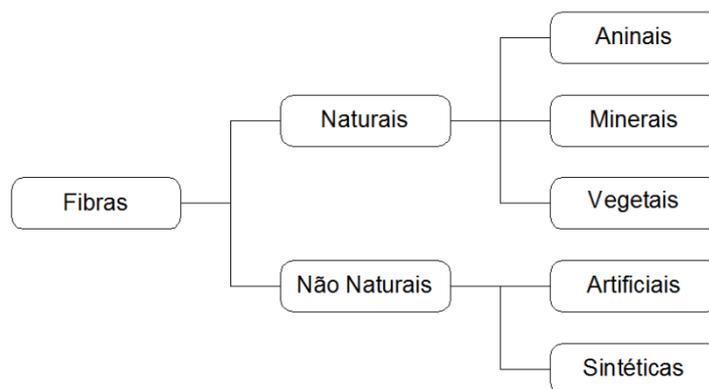


Figura 2.1 - Classificação das Fibras.  
Fonte: SILVA (2002).

### 2.2.3.1 Fibras sintéticas

As sintéticas são originadas de pesquisas nas áreas de engenharia de materiais, cujo os componentes principais são o petróleo e seus derivados, como por exemplo a fibra de nylon, polipropileno, vidro e a fibra de poliéster.

A utilização comercial de fibras sintéticas no Brasil teve início no fim dos anos 90 e hoje existem diferentes *players* em nível internacional. As fibras sintéticas para concreto e argamassa possuem grandes variedade de produtos disponíveis no mercado. As fibras de poliéster degradam-se no meio alcalino. As fibras sintéticas plásticas tem densidade menor que as de vidros. (MONTARDO, 2011).

Segundo Mothé (2004), as fibras sintéticas como amianto, Kevlar, boro, carbono, nylon e vidro que, apesar de possuírem boas características mecânicas,

apresentam um custo elevado, são abrasivas aos equipamentos de processamento, possuem alta densidade, não são biodegradáveis, geram produtos com um custo muito alto de reciclagem, além de algumas dessas fibras comprometerem a saúde humana.

De forma genérica, toda fibra fabricada pelo homem é considerada como fibra sintética. Em alguns casos, como no uso do vidro e do aço, as fibras são geradas por um processo de fabricação específico, que molda o material na forma filamental. Entretanto, o grupo mais interessante das fibras sintéticas, da qual a aramida faz parte (Figura 2.2), é o das fibras poliméricas, que constituem o grupo das fibras artificiais (BERNARDI, 2003).

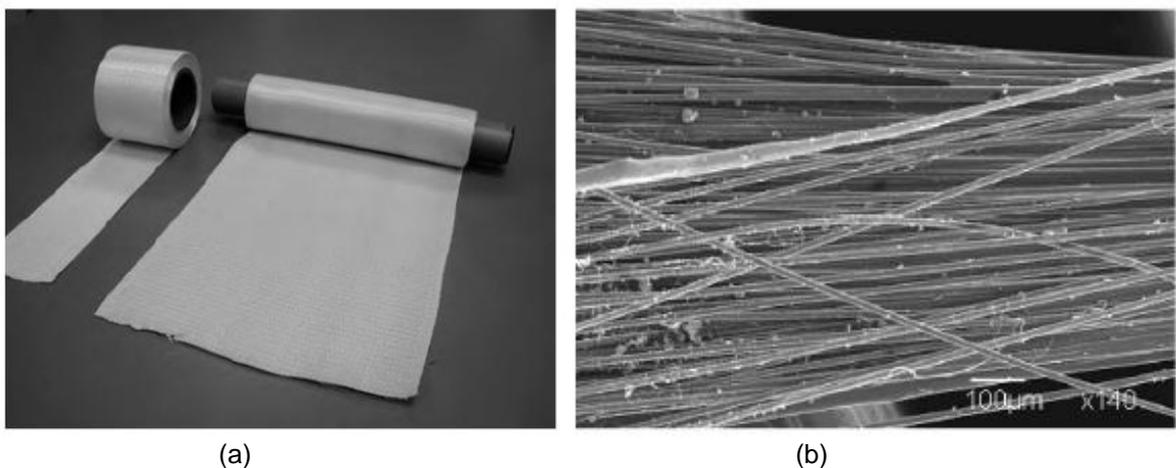


Figura 2.2 – Fibra sintética de aramida: (a) Fibra de aramida como tecido e (b) Fio de aramida composto por um conjunto de  $n$  filamento de aramida, visto em MEV.

Fonte: Bernardi, (2003).

### 2.2.3.2 Fibras naturais vegetais

As fibras naturais vegetais apresentam um grande potencial de aplicação na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões, e na construção civil. Nos últimos anos, o uso de fibras naturais vegetais

como carauá, coco, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, juta e abaxi como reforço em materiais poliméricos teve um acelerado crescimento (MOTHÉ, 2004).

Os principais componentes das fibras lignocelulósicas são: celulose de 40-50%, hemicelulose de 20-30%, e lignina de 20-28%. Além destes componentes são encontrados compósitos inorgânicos e solventes orgânicos, como pectinas, carboidratos simples, gomas, saponinas, resinas, gorduras, entre outras (MOHAN, *et al*, 2006).

Outro aspecto muito importante de ser lembrado é que o número de plantas fornecedoras de fibras ou de materiais fibrosos é bastante extenso, independente do fim ou modo de uso, a oferta de material será sempre estável e os produtos em consequência acessíveis (MONTEIRO, *et al*, 2008).

Segundo Thomas *et al* (2011), as fibras naturais são obtidas de diferentes partes de uma determinada planta. Podem ser provenientes do caule, folha e sementes ou frutos das plantas. As fibras obtidas do caule são formadas por feixes de fibras, cada um contendo fibrocélulas individuais ou filamentos. Fibras de juta, malva, linho, cânhamo são exemplos desse tipo.

Fibras das folhas, como o sisal e a banana, possuem diâmetro superior aos das fibras provenientes do caule. O algodão é um exemplo de fibra de sementes e a fibra de coco é proveniente do fruto. Há ainda outras fontes de lignocelulose, que pode ser obtida através de resíduos agrícolas, como a casca de arroz, casca da semente de girassol e do bagaço da cana de açúcar (THOMAS *et al.*, 2011).

Na Tabela 2.1 são apresentadas algumas propriedades físico-mecânicas das principais fibras utilizadas em pesquisas tanto no Brasil como nos demais países.

Tabela 2.1 - Características mecânicas e físicas de algumas fibras.

Fibras	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Diâmetro (mm)	Alongam. na Ruptura (%)	Resist. à tração (MPa)	Módulo de Elastic. (GPa)	Fonte dos Dados
Coco ( <i>Cocos Nucifera</i> )	800 CV=7,6%	0,25 CV=27,3%	25 CV=29,1%	174 CV=24,2%	3,5	Tôledo Filho (1997)
	1177	-	23,9 - 51,4	95 - 118	2,8	Agopyan e Savastano (1997)
Sisal ( <i>Agave sisalana</i> )	900 CV=8,90%	0,12 CV=23,80%	3,0 CV=29,15%	577,5 CV=12,66%	15 - 21	Tôledo Filho (1997)
	1370	-	4,9 - 5,4	347 - 378	15,2	Agopyan e Savastano (1997)
Malva ( <i>Urena lobata</i> Linn)	1409	42,6x10 <sup>-3</sup> *	5,2	160	17,4	Agopyan e Savastano (1997)
Juta ( <i>Corchorus capsularis</i> )	1020-1040	0,1 – 0,2	2 – 3	250 - 350	26 - 32	Aziz et al. (1987)
Arumã branco ( <i>Ischnosiphon polyphyllus</i> )	370	-	-	176 - 487	11 - 28	Marques, M.G.S. (2009)
Polipropileno comum (filam.)	913	-	22,3 - 26,0	250	2	Agopyan e Savastano (1997)

(\*) Desvio Padrão de ordem de 50% das médias

Fonte: Oliveira (2013).

Segundo Oliveira (2013) a produção mundial das fibras sintéticas é maior que a produção das fibras naturais, mas devido o seu impacto sócio-econômico e a busca por um modelo de desenvolvimento sustentável, diversos pesquisadores tem se dedicado ao estudo da utilização de fibras naturais vegetais.

O emprego de fibras longas e alinhadas demonstra ser uma boa alternativa para o desenvolvimento de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais. Essas fibras podem ser utilizadas na forma de tecido (FIDELIS, 2014).

Pode-se ainda destacar as pesquisas com fibras vegetais realizadas por: MELO FILHO, 2005; MARQUES, 2009; MELO FILHO, 2012; OLIVEIRA, 2013; FIDELIS, 2014.

Há grandes vantagens no uso de fibras vegetais, tais como a baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida, recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis, possui também um baixo custo e baixo consumo de energia na produção, baixa condutividade térmica, bom isolamento térmico e acústico, sendo assim estudadas as características mecânicas (SATYANARAYANA, *et al*, 2007).

O desenvolvimento de materiais compósitos reforçados por fibras de origem natural é em grande parte motivado por uma maior consciência ambiental, devido aos problemas de eliminação de resíduos e o esgotamento dos recursos petroquímicos. A utilização de materiais naturais acoplada a modernas técnicas de construção pode reduzir os resíduos de construção, aumentar a eficiência de energia e ao mesmo tempo promover o conceito de sustentabilidade (DITTENBER *et al.*, 2012).

Diversos outros autores salientam as vantagens quanto ao uso de fibras naturais vegetais: grande abundância, baixo custo, não são prejudiciais a saúde, envolve a economia agrícola local, baixo consumo de energia na obtenção e baixa densidade (MARQUES 2009; MELO FILHO, 2005; SAVASTANO JÚNIOR, 2000).

### **2.2.3.3 Fibras de juta e malva**

Imigrantes japoneses introduziram a cultura da produção de fibra na região norte, a fim de suprir a demanda de sacos de juta no sul do Brasil, onde os sacos eram utilizados para embalagem de *commodities*, principalmente o café. O mercado de juta entrou em colapso no início dos anos 1990. Fatores como mudanças nas

embalagens de mercadorias, declínio da qualidade da fibra, remoção de tarifas sobre importados de juta, contribuíram para o colapso. Apesar disso, o legado da juta ainda é evidente no cenário social da região (WINKLERPRINS, 2006).

No estado do Amazonas, o principal produtor da juta (*Corchorus capsularis*) e malva (*Ureta Lobata L*), é o município de Manacapuru, onde a semeadura começa logo após o período das cheias, nas áreas de várzeas que afloram à beira do rio Solimões, à medida que o rio baixa. Segundo Toledo (2010), muitas das vezes as sementes são lançadas ainda na lama, sempre depois de julho. As longas hastes, que se erguem do solo sem que nenhum adubo lhes seja ofertado, são cortadas a golpes de terçado, e depois são imergidas as hastes na água do próprio rio para assim separar as fibras do caule (Figura 2.3). O processo não admite interrupções, pois logo vem as chuvas, o rio sobe novamente, e o ciclo recomeça.



Figura 2.3 – Fibras de juta e malva: (a) Corte das hastes e (b) Imersão das hastes na água

Fonte: Toledo, (2010).

A importância da produção da juta e malva amazônica é fato indiscutível, assim como a sua influência no desenvolvimento social da região, aliada à influência básica no desenvolvimneto econômico. As fibras de juta e malva extraídas artesanalmente das hastes longilíneas são usadas como matéria-prima sobretudo para a confecção de sacaria para café e batata (Figura 2.4), pois é capaz de controlar

a umidade desses produtos. A produção das fibras tem sido valorizadas por conta da sustentabilidade de sua cadeia produtiva, por serem naturais, portanto biodegradáveis e obtidas sem insumos químicos, elas são uma alternativa ecológica para a confecção de embalagens e sacarias (LEÃO, 2010).

A Tabela 2.2 apresenta a produção das fibras de juta e malva em toneladas, onde pode-se verificar que a produção da fibra de malva é bem superior a produção da fibra da juta.

Tabela 2.2 – Produção estadual das fibras Juta/Malva em toneladas.

	2003	2004	2010	Juta (2010)	Malva (2010)
<b>Amazonas</b>	<b>13.416</b>	<b>12.619</b>	<b>12.502</b>	<b>907</b>	<b>11.595</b>
Maranhão	230	50	-	-	-
Pará	3.570	2.376	1.648	27	1.621

Fonte: Oliveira (2013).

As fibras de juta e malva são originárias do talo, fazem parte das plantas dicotiledônias. Os feixes de fibras são unidos entre si e mantidos no lugar pelo tecido celular do floema e pelas substâncias gomosas e graxas (OLIVEIRA, 2013).



(a)

(b)

Figura 2.4 – Fibras de juta e malva beneficiadas industrialmente : (a) Cordões e (b) Sacarias

Fonte: Oliveira (2013).

As fibras são superiores a 1 m de comprimento, quase brancas e sedosas quando estão secas, flexíveis, de grande tenacidade. Quando a fibra é usada para produção de sacos para café, as mesmas não afetam o seu aroma (GENTIL, 1988 *apud* SOUZA, 2008, p. 2).

Oliveira (2013) realizou análise microestrutural da secção das fibras de juta e malva e observou que a espessura média obtida para as fibras de juta foi 2 vezes maior que a espessura obtida para a fibra de malva (Tabela 2.3), observou ainda que tanto para as fibras de juta como para as fibras de malva a secção real da fibra aproxima-se mais a uma secção elíptica, como pode ser verificado na Figura 2.5.

Tabela 2.3 – Valores referentes a espessura das fibras de juta e malva.

Fibras	Intervalo (mm)	Média (mm)	CV (%)
Malva	0,04 – 0,11	0,08	22,52
Juta	0,08 – 0,24	0,15	27,81

Fonte: Oliveira, (2013).

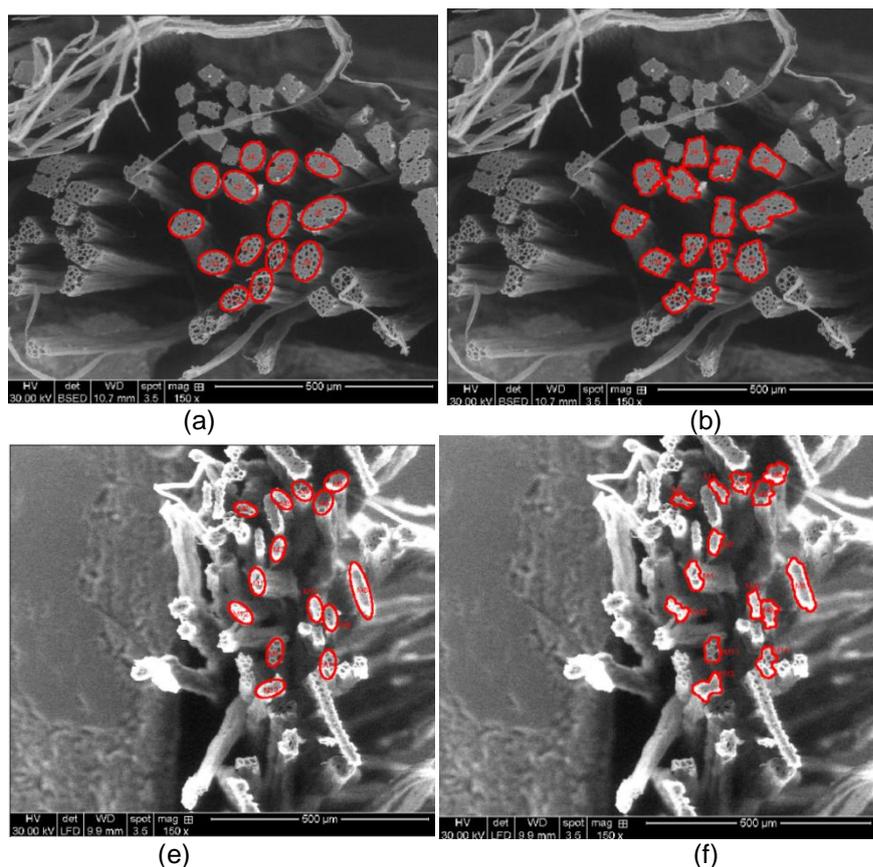


Figura 2.5 – Imagens obtidas por MEV: (a) Seções Elípticas das fibras de juta, (b) Seções elípticas das fibras de malva, (c) Seções reais das fibras de juta e (d) Seções reais das fibras de malva.  
 Fonte: Oliveira, (2013).

#### 2.2.4 Durabilidade de compósitos com fibras vegetais

Um dos problemas na utilização de fibras vegetais como reforço em matrizes cimentícias está relacionado à durabilidade do compósito. Muitos estudos sobre a redução da alcalinidade da matriz vêm sendo realizados a fim de diminuir a degradação da fibra e assim melhorar a durabilidade de compósitos com fibras vegetais.

A perda de resistência desses compósitos ao longo do tempo se deve, em parte, à alcalinidade da matriz. A água presente nos poros é altamente alcalina, ocasionando dissolução da hemicelulose e lignina e hidrólise alcalina das moléculas de celulose, reduzindo o grau de polimerização e resistência das fibras. Além disso, os produtos de hidratação, principalmente o hidróxido de cálcio, migram para paredes,

lumens e vazios das fibras, ocasionando mineralização das fibras. Modificações nas matrizes, como substituição parcial do cimento por material pozolânico, têm sido realizadas a fim de obter uma matriz livre de hidróxido de cálcio (FIDELIS, 2014).

Compósitos reforçados com fibras vegetais apresentam perda de resistência a médio e longo prazo devido a danos causados às fibras, ou seja, alterações na estrutura, composição e propriedades mecânicas, resultado das reações químicas que ocorrem na matriz. Por um lado, a porosidade da matriz permite grandes variações no teor de umidade das fibras e isso pode acarretar em alterações morfológicas causando perda de aderência fibra-matriz. Por outro lado, a alta alcalinidade do cimento pode danificar as fibras podendo diminuir sua capacidade de reforço (ARDANUY *et al.*, 2011).

Toledo Filho *et al.* (2003) apresentam um estudo de durabilidade em compósitos com fibras vegetais de coco e sisal. Os autores realizaram carbonatação da matriz em um ambiente rico em CO<sub>2</sub>; imersão das fibras em uma solução de sílica ativa antes de serem incorporadas à matriz; substituição parcial do cimento por sílica ativa ou escória de alto-forno e combinação de imersão da fibra em sílica com substituição parcial do cimento, a fim de se avaliar os efeitos na durabilidade. Foram produzidos compósitos com fibras longas (sisal), curtas (coco e sisal) e híbridos. Os resultados de testes de flexão indicaram que a fragilização dos compósitos reforçados com fibras de sisal pode ser reduzida em longo prazo, caso as fibras sejam previamente imersas numa solução de sílica ativa antes de serem adicionadas à matriz.

Um estudo sobre a durabilidade de compósitos com fibras longas de sisal foi realizado por TOLEDO FILHO *et al.* (2009). A fim de se obter uma matriz livre de hidróxido de cálcio (CH), parte do cimento foi substituída por metacaulinita e resíduo

de tijolo moído. Os compósitos foram submetidos a envelhecimento acelerado, através de ciclos de molhagem e secagem (25, 50, 75 e 100 ciclos). Foram produzidos compósitos com 5 camadas de fibras. A durabilidade foi avaliada através do ensaio de flexão. Os resultados mostraram que a ductilidade dos compósitos sofreu redução com o processo de envelhecimento.

Silva *et al.* (2010) analisaram a durabilidade de compósitos laminados reforçados com fibras longas e alinhadas de sisal, submetidos às condições de envelhecimento acelerado, através da imersão dos compósitos em água quente. Mesmo após seis meses imersos em água a 60°C, os compósitos apresentaram comportamento de múltipla fissuração na flexão, além de mesmos valores de tenacidade e tensão de ruptura dos que não foram submetidos ao envelhecimento, 28 kJ/m<sup>2</sup> e 23,25 MPa, respectivamente. Foi utilizada matriz com baixo teor de hidróxido de cálcio, através da substituição parcial do cimento por metacaulinita e resíduo de tijolo moído.

RODRIGUES *et al.* (2010) investigaram a durabilidade de compósitos reforçados com fibras de bambu, em forma de polpa, através de ensaios de flexão. Os autores realizaram substituição parcial do cimento por cinza da casca do arroz. Dois tipos de cinza foram utilizados: uma com alto teor de carbono e outra com baixo teor, obtidas por diferentes processos de queima. Melhores resultados foram obtidos para os compósitos com cinza com baixo teor de carbono. Os autores observaram que um teor 30% de substituição não prejudicou a resistência à flexão e a rigidez dos compósitos e melhorou a adesão interfacial. Além da redução da alcalinidade da matriz, devido à reação pozolânica, as partículas não reagidas de cinza, bem como os produtos de hidratação, preencheram os poros da matriz e interface, causando

redução na porosidade total do compósito, levando à melhoria da resistência e menor susceptibilidade à deterioração das fibras.

Melo Filho *et al.* (2013) analisaram os mecanismos de degradação de compósitos reforçados com fibra de sisal, submetidos aos envelhecimentos acelerado e natural. Os corpos de prova foram submetidos a 0, 5, 10, 15, 20 e 25 ciclos de molhagem e secagem, além da exposição ao intemperismo por 28, 180, 365 dias e 5 anos. Os autores observaram que dois mecanismos são responsáveis pela degradação da fibra: mineralização da fibra devido à precipitação do hidróxido de cálcio na superfície da fibra e a degradação da celulose, hemicelulose e lignina, devido à absorção de íons de cálcio e hidroxila. Os resultados de flexão mostraram que para matrizes apenas de cimento houve completa perda de resistência e ductilidade após 25 ciclos de molhagem e secagem, enquanto que para matrizes com metacaulinita o comportamento mecânico foi levemente afetado pelo processo de envelhecimento.

### **2.2.5 Tratamento das fibras vegetais**

Com a finalidade de melhorar a durabilidade dos compósitos, além de modificação na matriz, tratamentos são realizados nas fibras, a fim de remover impurezas na superfície e melhorar a estabilidade volumétrica da fibra e a transferência de tensões fibra-matriz. A aplicação de ciclos de molhagem e secagem nas fibras é um tipo de tratamento, cujo processo é conhecido como hornificação (FIDELIS, 2014).

A hornificação causa às fibras redução na capacidade de retenção de água, além de modificações no comportamento mecânico. Após os ciclos de molhagem e secagem, as paredes celulares da fibra entram em colapso, resultando em

modificações de sua estrutura, como redução do diâmetro do lúmen e deformações nas paredes fibrocelulares (FERREIRA, 2012).

Claramunt *et al.* (2011) realizaram um estudo sobre hornificação de fibras vegetais para melhorar durabilidade de compósitos cimentícios. Os autores submeteram fibras de polpa de celulose e algodão a quatro ciclos de molhagem e secagem e avaliaram o comportamento mecânico de compósitos produzidos com essas fibras, através de ensaios de compressão e flexão. Os resultados indicaram que o tratamento das fibras foi benéfico no comportamento mecânico e na durabilidade dos compósitos. Os compósitos reforçados com fibras tratadas apresentaram maior resistência à flexão entre 8% (compósitos com polpa de celulose) e 16% (com fibra de algodão), do que compósitos com fibras não-tratadas.

O tratamento empregado nessa pesquisa foi a imersão das fibras em resina acrílica, composta por produto à base de copolímeros acrílicos em solução, solventes do tipo hidrocarboneto aromáticos, além de aditivos. O polímero forma um filme que protege a fibra, impedindo o contato da fibra com os produtos de hidratação. Esse polímero é comumente utilizado na impermeabilização de superfícies internas e externas de revestimento cerâmico, fibrocimento e telhas.

Com base na revisão bibliográfica apresentada, pode-se observar que o emprego de fibras longas e alinhadas demonstra ser uma boa alternativa para o desenvolvimento de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais. Essas fibras podem ser utilizadas na forma de tecido. A modificação da matriz através da substituição parcial do cimento por pozolanas e o tratamento das fibras, benéfico na maioria dos casos, aumentaram a durabilidade dos compósitos.

### **2.3 Comportamento mecânico de compósitos com fibras vegetais**

O papel das fibras em materiais compósitos é o de melhorar as propriedades mecânicas, principalmente via ductilidade, no estágio pós-primeira fissura. As principais finalidades de se reforçar a matriz frágil com fibras são o aumento das resistências à tração e ao impacto, a maior capacidade de absorção de energia e a possibilidade de uso no estágio pós-fissurado. O tipo, a distribuição, a relação comprimento-diâmetro e a durabilidade da fibra, assim como o seu grau de aderência com a matriz, determinam o comportamento mecânico do compósito e o desempenho do componente fabricado (SAVASTANO e SANTOS, 2008).

Outros autores também obtiveram bons resultados em suas pesquisas, onde foi verificado baixo módulo de elasticidade e boa aderência fibra-matriz, a qual possibilitava resultados satisfatórios em relação aos ensaios de tração e flexão quando comparado aos resultados com uma matriz cimentícia convencional. (LIMA, 2004; MELO FILHO, 2005; MARQUES, 2009; MELO FILHO, 2012; OLIVEIRA, 2013; FIDELIS, 2014).

Melo Filho (2005) apresentou bons resultados no uso de reforço com fibras naturais vegetais, proporcionando um aumento na resistência de 3 a 3,5 vezes nos compósito e comportamento mecânico bem superior aos laminados sem reforço.

Marques (2009) afirma que os compósitos produzidos em fibras curtas dispersas no interior da matriz, na contribuição das fibras para as propriedades mecânicas do compósito, é inferior à que ocorre quando se utiliza fibras longas orientadas perpendiculares ao carregamento, quando submetidos à flexão.

Um estudo sobre compósitos com fibras longas de sisal foi realizado por Melo Filho (2012). Foram produzidos compósitos com reforço uni e bidirecional, fração volumétrica de 6% e 10%, respectivamente. Os resultados de tração e flexão foram

melhores para compósitos com 10% de fibras. Tanto compósitos com 6% de fibra quanto os com 10% apresentaram múltipla fissuração na flexão e na tração, porém nos compósitos reforçados com 10% de fibras houve formação de mais fissuras com menor espaçamento. Os resultados de flexão não apresentaram diferença significativa nos valores de deflexão de primeira fissura e módulo de elasticidade.

Os compósitos com 10% suportaram maiores valores de carga durante a múltipla fissuração, além de rigidez aparente de endurecimento 24% superior ao compósito com 6%. Houve ainda, aumento de 9% nos valores de tensão última e redução de 17% na deflexão última. Deste modo, Melo Filho (2012) concluiu que o maior volume de fibras no compósito permite a formação de mais fissuras com menor espaçamento entre elas nas placas e submetendo o compósito a ensaios de flexão a temperaturas de 250°C, este compósito apresenta uma expressiva estabilidade térmica até a temperatura de 200°C, tendo suas fibras deterioradas na temperatura de 250°C.

Oliveira (2013) afirma que os compósitos reforçados com fibras de malva, na tração direta, desempenharam um comportamento mais homogêneo distribuindo melhor as tensões em relação aos compósitos reforçados com fibra de juta, e na flexão também os compósitos reforçados com fibra de malva, apresentaram uma tensão e deflexão de primeira fissura superior ao compósitos reforçados com juta.

Fidelis (2014) apresentou resultados satisfatório em compósitos reforçados com tecido tratado de juta, o tratamento da fibra aumentou a tenacidade em 155,7%. Além disso, o tratamento melhorou o comportamento de formação de fissuras, além do aumento na tensão última que foi de 6,94 MPa.

## 2.4 Produção de telhas de fibrocimento com amianto no Brasil

Em 1895, o Austríaco Ludwug Hastschek descobriu a importante mistura de cimento, amianto e água, que ele chamou de fibrocimento. Hastscheck obteve a patente em 1901, que ele denominou de ETERNIT, e com isso apenas uma empresa utilizaria esta idéia em todos os países interessado na produção do fibrocimento. O processo chegou no Brasil por volta de 1940, com o processo de expansão no mundo.

Savastano Jr., Agopyan (1998) afirmam que os estudos sistemáticos de fibras vegetais como reforço em matrizes cimentícias começaram na Inglaterra por volta de 1970. No final do século 20 houve a proibição ou a restrição na utilização do arbesto na fabricação de produtos de fibrocimentos por ser um material cancerígeno, houve um grande desenvolvimento de pesquisas em todo o mundo na substituição de fibras sintéticas e também de arbesto por fibras vegetais em matrizes cimentícias (MENDES, 2001).

Segundo Guimarães (1987), no Brasil a pesquisa pioneira coube ao Centro de Pesquisa e Desenvolvimento - CEPED, Camaçari, Bahia. Com a utilização de fibras naturais vegetais em compósitos cimentícios.

Segundo o Instituto Brasileiro do Crisotila - IBC (2016), as fábricas brasileiras comercializam produtos de fibrocimento com amianto Crisotila para o mercado nacional, 50% da produção nacional de fibrocimento com Crisotila é de telhas onduladas de 4mm (Figura 2.6), destinada a população de baixa renda. O amianto está presente no Brasil em telhas e caixas d'águas, em um mercado que movimenta algo em torno de R\$ 2,6 bilhões por ano e a indústria consome 162 mil toneladas anuais de amianto crisotila, das quais mais de 99,5% são empregadas na fabricação de telhas estruturais, telhas onduladas e caixas d'águas de fibrocimento.

O Mercado brasileiro possui 11 empresas em sua maioria de médio e pequeno porte, e 16 fábricas em 08 estados, sendo considerado um dos mais ativos do mundo, cerca de 50% dos telhados brasileiros e 50% das caixas d'águas residenciais são fabricados com fibrocimento de amianto crisotila (IBC, 2016).



Figura 2.6 – Telha de fibrocimento ondulada com fibras de amianto de 4mm  
Fonte: Catálogo Eternit (2016).

O Brasil é um dos maiores produtores de fibras de amianto, é considerado um grande comercializador e exportador de fibras de amianto na modalidade "crisotila" ou "amianto branco" extraídas a partir das jazidas de Minaçu, Goiás (MENDES 2007).

Já houve a comprovação de entidades mórbidas associadas à exposição ao amianto, exemplo a asbestose e o câncer de pulmão, onde no Brasil já são conhecidas estas causas, mas ainda sem a proibição ou banimento do mesmo, ao contrário da escolha já alcançado por cerca de 50 países. Com isso, pesquisadores de diversas partes do mundo transferem gradualmente suas linhas de pesquisas para as outras demais subclasses de fibras, ou seja, diminuindo pesquisas utilizando a subclasse de fibras inorgânicas naturais (amianto) OLIVEIRA, (2013).

## 2.5 Produção de telhas de fibrocimento sem amianto

A Austrália foi o primeiro país no mundo a usar tecnologia totalmente livre de amianto na produção de fibrocimento e a Nova Zelândia também adotou esta tecnologia imediatamente (TONOLI, 2006).

Segundo Coutts (2005), em 1982 o governo e as indústrias alemãs concordaram em reduzir o consumo de amianto em 30 a 50% antes de 1986 e, em 1984, já negociavam para que todos os materiais de construção fossem livres de amianto em 1990. Desde 1988, dois produtores de fibrocimento na Alemanha, Eternit e Fulgurit, receberam aprovação para produzir telhas grandes, livres de amianto, com pressão e cura ao ar. Infelizmente, na Alemanha o governo subsidiou as coberturas de metal em detrimento das indústrias de fibrocimento. Esta pode ter sido a possível causa da Fulgurit fechar a planta em Wunstorf, onde se vinha produzindo fibrocimentos reforçados com fibras de madeira.

Agopyan *et al.* (2005) produziram telhas com matriz de escória de alto forno e o reforço de 2% em volume (~3,7% em massa) de fibras de côco, polpa de eucalipto e híbrido de polpa de eucalipto (1%) + fibra de sisal (1%). Os autores notaram queda acentuada nas propriedades mecânicas após envelhecimento e à mineração das fibras.

Como alternativas para se evitar a deterioração das fibras vegetais, como consequência da alcalinidade ou umidade do meio a que estão expostas, existem diversos procedimentos de aplicação viável. Um deles consiste na substituição parcial ou total do cimento Portland por outros aglomerantes alternativos.

Tonoli (2006), produziu telhas com matriz cimentícia reforçada com fibras de sisal e fibras híbridas (sisal+Polipropileno) (Figura 2.7) com resultados significativos das propriedades físicas das telhas onduladas. O autor avaliou que não houve

formação de gotas na superfície inferior das telhas reforçadas com as fibras quanto ao ensio de permeabilidade à água. Também foram apresentados bons resultados nos ensaios mecânicos realizados.



Figura 2.7 – Telhas com matriz cimentícia reforçadas com fibras de sisal  
Fonte: TONOLI (2006).

Compósitos cimentícios de alto desempenho podem ser obtidos através da utilização de fibras contínuas como reforço. Esses compósitos podem ser produzidos com fibras na forma de tecido o qual é impregnado pela matriz cimentícia. Esse tipo de tecnologia tem sido aplicado, com limitação, na produção de placas cimentícias de pequena espessura e em aplicações *in situ* como reparo e reabilitação (FAELLA *et al.*, 2010; GOPINATH *et al.*, 2014).

## **2.6 Produção de matriz com redução de hidróxido de cálcio**

As matrizes utilizadas em compósitos cimentícios têxteis, também conhecidas em inglês como *textile reinforced concrete* (TRC), devem atender exigências especiais em relação ao processo de produção, propriedades mecânicas do compósito e durabilidade do reforço. Dentre os aspectos que devem ser considerados,

garantir penetração da matriz no tecido, a fim de se obter adequada aderência e boa transferência de carga é um deles. Por isso, a consistência da matriz deve ser ajustada de acordo com as propriedades do tecido, geometria e processo de produção. Em geral, a composição da matriz tem de atender requisitos como: compatibilidade química com o reforço têxtil, consistência adequada para a penetração completa no tecido, bem como para os processos de produção previstos e, finalmente, propriedades mecânicas de capacidade de carga dos elementos de TRC (FIDELIS, 2014).

Nesse trabalho, buscou-se utilizar uma matriz com baixo teor de hidróxido de cálcio, a fim de se evitar o processo de mineralização das fibras. O hidróxido de Cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) é produzido pela reação do Óxido de Cálcio ( $\text{CaO}$ ) com água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (ESTRELA e PÉCORA, 1997). O cimento Portland ao ser hidratado libera o ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) que é muito sensível a ataques químicos, pois é dissolvido pela água e arrastado através de poros. Este processo de dissolução aumenta a porosidade da argamassa endurecida e com ele sua permeabilidade, o que acelera a destruição das fibras, diminuindo a resistência mecânica e permitindo o ataque de agentes agressivos a argamassa.

O ataque do ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) às fibras vegetais no interior do compósito cimentício causam a sua degradação, por isso, busca-se produzir uma matriz cimentícia livre de  $\text{Ca(OH)}_2$ , como mostram os estudos já realizados por Melo Filho (2005), Melo Filho (2012), Margem (2013), Oliveira (2013) e Fidelis (2014).

# Capítulo 3

---

## Materiais e Procedimentos Experimentais

## 3 - MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

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

### 3.1 Características dos materiais

#### 3.1.1. Cimento

Neste trabalho foi utilizado o Cimento Portland comum, marca CEMEX do distribuidor Cimento Vencemos do Amazonas LTDA, tipo CP I-S 32 (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Cimento Portland comum CPI S 32

#### 3.1.1.1 Caracterização do Cimento

A Figura 3.2 apresenta uma amostra do Cimento Portland comum com adição (CP I-S), classe 32 utilizado na pesquisa.



Figura 3.2 – Amostra do cimento Portland comum CPI S 32.

As propriedades química, física e mecânica do Cimento Portland utilizado são apresentadas na Tabela 3.1 e 3.2, bem como as exigências dos parâmetros químicos e físicos estabelecidas pela NBR 5732 (1991) para o Cimento Portland comum, conforme informação do fabricante.

Tabela 3.1 - Análise Química do Cimento Portland CPI S 32

COMPOSIÇÃO QUÍMICA		RESULTADO %	NBR 5732:1991
Anidrido Sulfúrico	(SO <sub>3</sub> )	3,19	≤ 4,0
Dióxido de Carbono	(CO <sub>2</sub> )	-	≤ 3,0
Dióxido de Silício	(SiO <sub>2</sub> )	20,12	-
Óxido Cálcio Livre	(CaO.l)	-	-
Óxido de Alumínio	(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	5,62	-
Óxido de Cálcio	(CaO)	62,65	-
Óxido de Ferro	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	2,67	-
Óxido de Magnésio	(MgO)	1,47	≤ 6,5
Óxido de Potássio	(K <sub>2</sub> O)	0,85	-
Óxido de Sódio	(Na <sub>2</sub> O)	0,3	-
Perda ao Fogo	(P.F.)	3,42	≤ 4,5
Resíduo Insolúvel	(R.I.)	1,65	≤ 5,0

Fonte: Cimento Vencemos do Amazonas LTDA, 2014.

Tabela 3.2 - Análise Física do Cimento Portland CPI S 32

CARACTERÍSTICAS FÍSICA		VALORES	NBR 5732:1991
Blaine	(m <sup>2</sup> /Kg )	362,3	≥ 260
Expansibilidade a Quente	mm	1,1	≤ 5
Finura # 75 µm	%	1,8	≤ 12,0
Resistência a Compressão por idade	1 Dia	MPa	-
	3 Dias	MPa	≥ 10,0
	7 Dias	MPa	≥ 20,0
	28 Dias	MPa	≥ 32,0
Tempo de Pega	Início	h	01h 30min ≥ 1
	Fim	h	02h 40min -

Fonte: Cimento Vencemos do Amazonas LTDA, 2014.

### 3.1.2. Resíduo cerâmico

O resíduo cerâmico foi fornecido pela Olaria Rio Negro localizada no Município de Iranduba – AM (Figura 3.3). Esse resíduo foi coletado como cascalho cerâmico de tijolos, foi quebrado em partículas menores manualmente e foram posteriormente moídos em um moinho de abrasão modelo Los Angeles, em seguida foi utilizado um moinho de bolas da marca Quimes, até que se atingisse uma granulometria que atendesse aos requisitos da norma NBR 12653:2014 para uso como material pozolânico. A moagem foi realizada no Laboratório de Pavimentação da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas (FT/UFAM).



Figura 3.3 – Amostra do Resíduo Cerâmico

O resíduo cerâmico moído (metacaulinita) (Figura 3.4) foi adicionado ao Cimento Portland comum com adição (CP I-S), classe 32, para realizar a reação pozolânica, como forma de diminuir a quantidade de hidróxido de cálcio no compósito, de modo a reduzir uma possível degradação das fibras vegetais.



Figura 3.4 - resíduo de tijolo moído adicionado ao Cimento Portland comum.

### **3.1.3. Areia**

Foi empregada na fabricação dos compósitos uma areia quartzosa de jazida em terra firme. A areia foi fornecida por uma empresa de concreto usinado denominada USIMIX, localizada em Manaus - AM.

#### **3.1.3.1 Caracterização da Areia**

No agregado miúdo utilizado na produção do compósito, foram feitos ensaios de massa unitária em estado solto, teor de material pulverulento, impurezas orgânicas, composição granulométrica, módulo de finura, diâmetro máximo e teor de argilas em torrões.

### **3.1.4. Superplastificante**

O superplastificante usado na pesquisa foi MC-PowerFlow 1160 (Figura 3.5 (a)), que é um superplastificante sintético baseado na nova tecnologia de polímeros policarboxilatos (PCE) desenvolvida pela MC - Bauchemie Brasil (Figura 3.5 (b)).

Segundo Souza Filho (2012), o teor de sólidos contidos no superplastificante, é de 30%. Seus estudos apontaram compatibilidade e ponto de saturação do superplastificante MC-PowerFlow 1160 com o cimento CP II-Z-32, usado em sua pesquisa.



(a)



(b)

Figura 3.5 – Superplastificante usado na pesquisa: (a) amostra do MC-PowerFlow 1160, (b) amostra da embalagem identificando o fabricante.

### 3.1.5. Água

A água utilizada nos ensaios 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.

### 3.1.6. Tecido de Fibras de Juta e Malva

As fibras de juta e malva foram obtidas em forma de tecido na empresa BRASJUTA DA AMAZÔNIA S.A, localizada no Polo Industrial de Manaus – PIM.

As fibras são beneficiadas em dois momentos, primeiramente na zona rural pelos trabalhadores (ribeirinhos) e no segundo momento nas indústrias locais.

Conforme processo produtivo da BRASJUTA, o beneficiamento da fibra de juta/malva é feito através de um modelo clássico de indústria têxtil, no qual por meio de equipamentos mecânicos, chega-se ao produto final. Podemos caracterizar o

processo em três etapas: fiação, tecelagem e sacaria. Na visita técnica junto a Empresa, nos foi informado que o tecido produzido é composto por 90% de malva e 10% de juta.

Segundo Oliveira (2013), as fibras de malva apresentam maior módulo de elasticidade (cerca de 25%) em relação a fibra de juta, resultando assim, em um valor médio de 30,93 GPa, e isso poderia justificar a maior proporção utilizada de malva em relação a juta na composição do tecido das fibras.

As fibras doadas para esta pesquisa apresentavam-se em rolos conforme mostrado na Figura 3.6, e estavam prontas para serem transformadas em sacaria de café.



Figura 3.6 - Lote utilizado do tecido de fibra de juta e malva

## **3.2 Procedimentos experimentais**

### **3.2.1 Produção da Metacaulinita**

O resíduo de tijolo foi moído em moinho de abrasão e em moinho de bolas, conforme já especificado anteriormente, até que ficasse com uma granulometria que atendesse aos requisitos da NBR 12653:2014 para uso como material pozolânico.

A produção do resíduo cerâmico foi baseada na pesquisa de Gonçalves (2005), que consiste em diminuir a granulometria do material coletado. Tendo sido feita em duas etapas que consistem em moagem e peneiramento.

Na primeira etapa, o material coletado no forno da olaria Rio Negro em Iranduba (Figura 3.7 (a)), na forma de resíduo de tijolo (Figura 3.7 (b)), foi quebrado em partículas menores manualmente, com a utilização de uma marreta (Figura 3.7 (c)). Em seguida, o material foi colocado no moinho de abrasão (Figura 3.7 (d)), junto com esferas de aço, com diâmetro médio de 50 mm (Figura 3.7 (e)), por um período de tempo de 2 horas, depois passados na peneira nº16 (abertura da malha de 1,18mm), para a separação do material fino, conforme mostrado na Figura 3.7 (f).

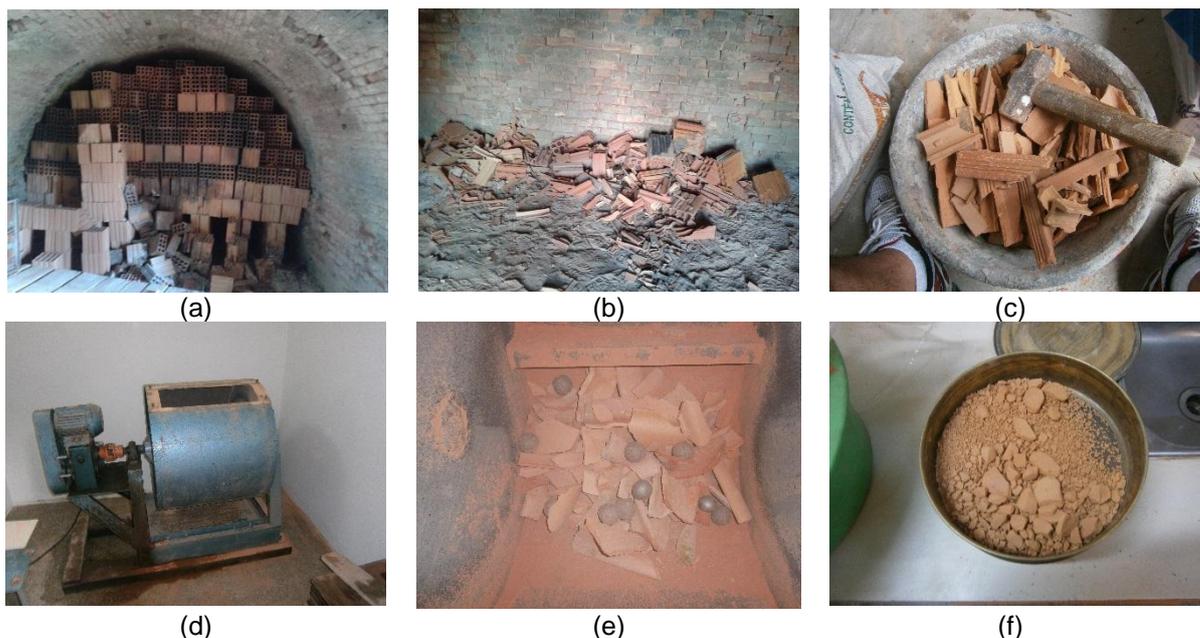


Figura 3.7 – Produção do material pozolânico – 1ª etapa: (a) Forno da olaria, (b) Resíduo de tijolo, (c) Utilização da marreta, (d) Moinho de abrasão, (e) Material moído com as esferas e (f) Material peneirado.

Na segunda etapa o material foi moído por período de 24 horas em um moinho de bolas da marca Quimis, utilizando-se esferas com diâmetros variando de 10mm a 50 mm (Figura 3.8 (a)) e um recipiente cerâmico com capacidade de 3 kg (Figura 3.8 (b)), onde foi colocado uma quantidade de 2kg de material, sendo este mais

recomendável, para facilitar a remoção do material do recipiente. Após a moagem, todo o material foi passado na peneira N° 200 (abertura da malha de 0,075mm), com o objetivo de diminuir e manter o material homogêneo em uma granulometria mais fina, conforme mostrado na Figura 3.8 (c).

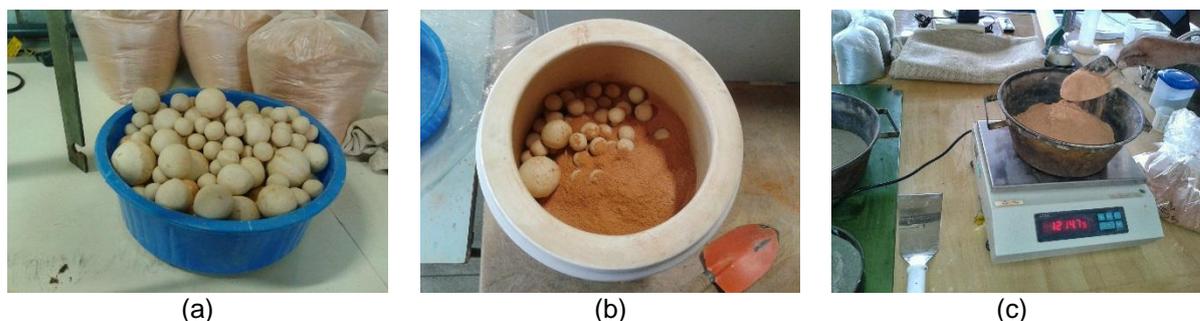


Figura 3.8 - Produção do material pozolânico – 2ª etapa: (a) Esferas cerâmicas, (b) recipiente cerâmico com esferas, (c) Material passado na peneira nº 200.

Desta forma foi produzido o material pozolânico gerado do resíduo cerâmico (tijolo), para ser usado em substituição ao cimento na produção de compósito.

### 3.2.2 Produção de pastas com redução de $\text{Ca(OH)}_2$

Antecedendo a produção dos compósitos, buscou-se a matriz cimentícia mais adequada. Para tanto foi utilizada uma matriz semelhante à desenvolvida por Melo Filho (2012), o qual produziu uma matriz livre de hidróxido de cálcio com a substituição de 50% do cimento por uma pozolana comercial, obtendo em seu estudo, compósitos reforçados com fibras de sisal com elevada durabilidade e sem a deterioração da fibra de sisal mesmo após submetidas a intemperismo acelerado (25 ciclos de molhagem e secagem). Neste estudo, comprovou-se também, que a matriz proporciona um compósito mais resistente, menos poroso, com menor absorção de água e ainda preservando as propriedades mecânicas das fibras vegetais. O traço utilizado na pesquisa pode ser observado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Traço da matriz e do compósito produzido na presente pesquisa.

Matriz				Compósito
				Tecido de Fibras de juta e malva
RC (%)	CP (%)	a/mc	SP (%)	CTF
50	50	0,40	1,5	2

Onde:

RC –Resíduo Cerâmico;

SP - Superplastificante;

CP –Cimento Portland;

CTF – Camadas de tecido de fibras adotada na mistura;

a/mc – fator água/material cimentante;

Depois procedeu-se com a produção dos laminados. Nesta etapa adotaram-se procedimentos semelhantes aos utilizados por Melo Filho (2012) e Ferreira (2012).

### 3.2.3 Determinação do teor do aditivo superplastificante

Os ensaios do funil de Marsh e de consistência adaptado da norma NBR 7215/96 foram utilizados para determinar o ponto de saturação do aditivo superplastificante e para avaliar sua compatibilidade com o cimento CP I-S 32. O ponto de saturação indica para o superplastificante a dosagem ótima, a partir da qual não se verificam ganhos relevantes de fluidez.

O ensaio de consistência requer um molde tronco-cônico, conforme mostra a figura 3.9.



Figura 3.9 – Ensaio de consistência

Uma vez que o comportamento reológico das argamassas depende do tipo, sequência e tempo de amassamento, esses aspectos foram mantidos constantes ao longo de todo o programa experimental. Para produção de todas as pastas, foi utilizado um misturador planetário (Figura 3.10 (d)), dotado de duas velocidades, uma lenta, com 60 rpm, e outra rápida, com 120 rpm com capacidade de 5 litros.

A seguinte sequência de mistura foi adotada: primeiro, manualmente (Figura 3.10 (a)), mistura-se o cimento o resíduo cerâmico e a areia até ficar homogênea (Figura 3.10 (b)); segundo, mistura-se a água com o superplastificante (Figura 3.10 (c)); e em terceiro, adiciona-se a mistura da água com o superplastificante à mistura homogênea (Figura 3.10 (e)) durante 1 minuto, à velocidade lenta, e, em seguida, a argamassa mistura-se por mais 5 minutos, mantendo a mesma velocidade lenta, até chegar uma pasta pronta homogênea, conforme a ilustração da Figura 3.10 (f).

A quantidade de água e superplastificante presente foi devidamente levada em consideração no cálculo da composição das argamassas.

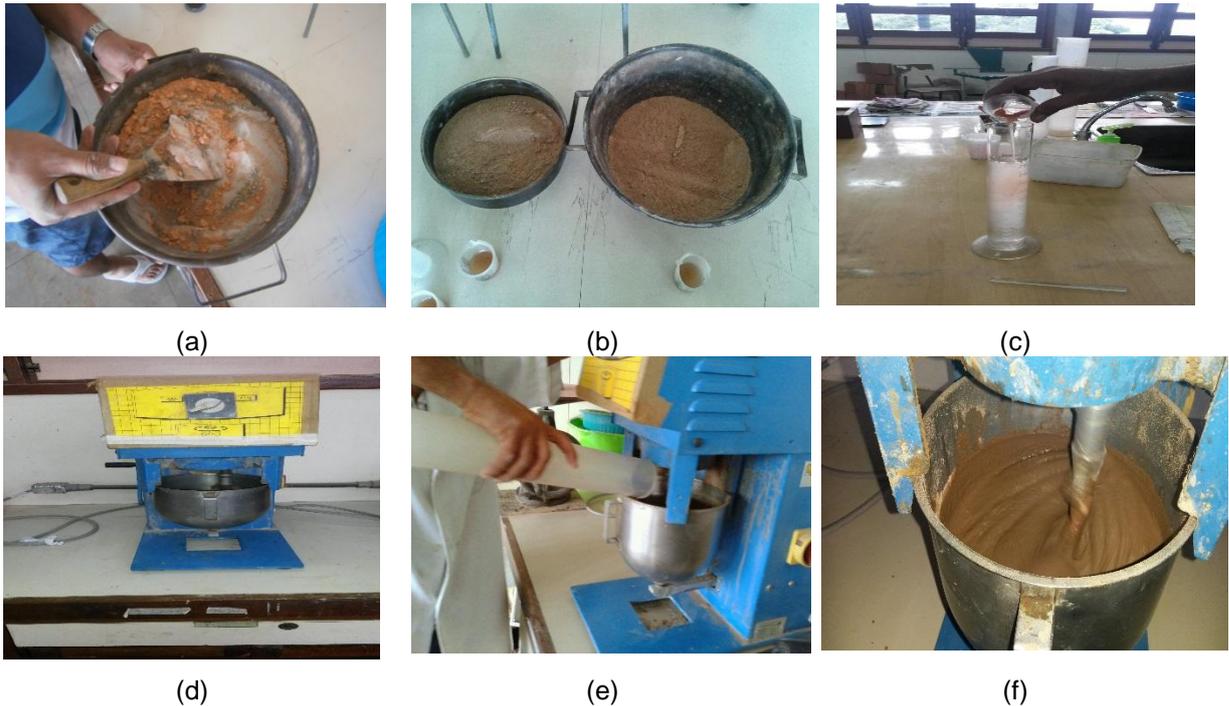


Figura 3.10 - Sequência da mistura: (a) Mistura manual; (b) Mistura homogeneizada; (c) Mistura da água com o superplastificante; (d) Misturador Planetário; (e) Adição da água com o superplastificante; e (f) pasta pronta.

Após a pasta ficar pronta, a mesma foi acondicionada em um recipiente plástico, antes da realização dos ensaios do funil de Marsh e o de consistência, que será adaptado da norma. O ensaio do funil de Marsh, consiste em inicialmente preencher o funil com 1250 ml de argamassa (Figura 3.11 (a) e, em seguida, registrar o tempo necessário para o escoamento de 500 ml, conforme mostrado na Figura 3.11 (b), quanto menor tempo de escoamento, maior fluidez da argamassa.



(a)

(b)

Figura 3.11 - Ensaio do Funil Marsh: (a) Início do escoamento, (b) Fim do escoamento

As argamassas foram preparadas com os seguintes materiais: cimento, resíduo de tijolo moído, areia, aditivo superplastificante e água, o traço adotado foi adaptado, como já mencionado, a partir do traço utilizado por MELO FILHO 2005, 1:1:0,4 (cimento + resíduo de tijolo moído: areia: água). As massas adotadas estão de acordo com a Tabela 3.4, onde foi mantida a relação água/cimento em 0,4.

Tabela 3.4 - Consumo dos materiais utilizados para os ensaios da argamassa

Material	Teor de aditivo superplastificante		
	1,0%	1,5%	2,0%
Cimento (g)	200,0	200,0	200,0
Resíduo Cerâmico (g)	200,0	200,0	200,0
Areia (g)	400,0	400,0	400,0
Aditivo SP (g)	13,3	20,0	26,6
Água (g)	142,67	138,0	133,3

Após a realização do ensaio do funil de Marsh, as argamassas foram submetidas ao ensaio de consistência, adaptado da norma NBR 7215/96, onde seguiu-se os seguintes procedimentos: colocação da argamassa no tronco de cone

(Figura 3.12 (a)); e remoção do excesso de argamassa e arrasamento da superfície com auxílio de uma régua, retirada da forma (Figura 3.12 (b)).

O índice de consistência é a média aritmética de dois diâmetros ortogonais, quando transcorrido em 1 minuto do início do ensaio e mantendo-se o registro de espalhamento médio (Figura 3.12 (c)).

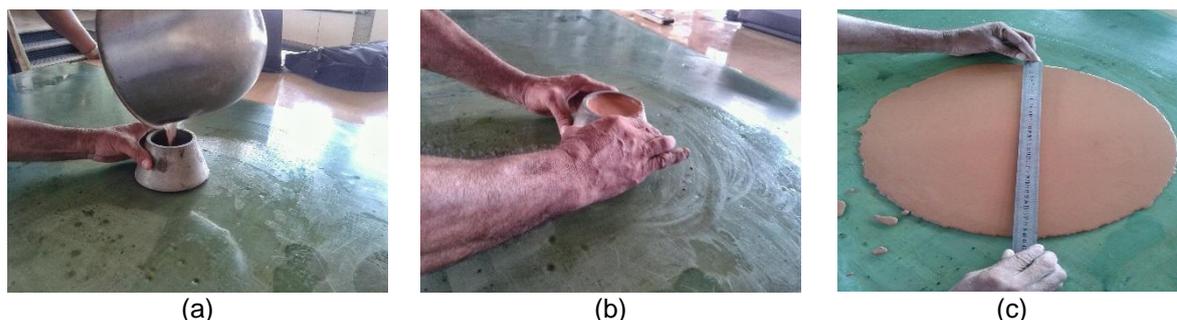


Figura 3.12 - Sequência do ensaio de consistência adaptado da norma: (a) Colocação da argamassa no tronco do cone; (b) retirada fôrma; e (c) Espalhamento médio.

### 3.2.4 Preparo do tecido das fibras

O tecido de fibra de juta e malva, após a coleta na fábrica (Figura 3.13 (a)), foi cortado com medidas de (400x400) mm, ou seja, do tamanho do molde das placas (Figura 3.13 (b)), e preparado antes de serem misturadas à matriz cimentícia para a produção do compósito planejado.



Figura 3.13 – Tecido de juta e malva:(a) tecido coletado na fábrica; (b) tecido no molde das placas (400x400) mm

### 3.2.4.1 Tratamento do tecido de fibras de juta e malva.

O tratamento escolhido foi o de imersão das fibras em resina acrílica, com o objetivo de impermeabilizar as fibras para evitar a troca de água da matriz cimentícia com a fibra do compósito (Figura 3.14).

O processo de impermeabilização aconteceu da seguinte forma:

1. As fibras ficaram submersas na resina, garantindo que a fibra ficasse completamente impermeabilizada;
2. Utilizou-se um reservatório e pincéis para facilitar a imersão das fibras e garantir a uniformidade e eficiência da resina;
3. As fibras foram submersas, em movimentos lentos com ajuda dos pincéis, por cerca de 5 min cada tecido de fibras;
4. Após o processo de imersão das fibras, estas foram retiradas e estendidas num varal de cordas, a uma temperatura média de 25°C, para a secagem por cerca de 2 horas;
5. Após a secagem as fibras foram armazenadas em recipientes abertos até o dia da moldagem do compósito.



Figura 3.14 - Tecido cortado (400x400) mm e impermeabilizado.

### **3.2.4.2 Massa específica do tecido de fibras de juta e malva**

A massa específica foi determinada em picnômetro a gás hélio, da marca Micromeritics, modelo AccuPyc 1340. Inicialmente é medida a massa da amostra e, quando inserida no equipamento, o valor da massa é registrado. O picnômetro a gás determina o volume verdadeiro de um sólido, por variação da pressão de um gás, numa câmara de volume conhecido. O gás hélio é comumente utilizado, pois, além de ser inerte, possui moléculas de pequeno tamanho, e por isso penetra facilmente nos poros da amostra. O equipamento fornece a massa específica média do número de leituras solicitado.

### **3.2.5 Processo de produção das placas**

Para a utilização do tecido das fibras de juta e malva, como material de reforço no compósito, ele foi cortado no tamanho das placas e em seguida realizado o tratamento. Os compósitos foram moldados com tecido de fibras de juta e malva arranjadas em 2 camadas.

Antecedendo a produção dos laminados foi feita a pesagem de cada componente: cimento, areia e resíduo de tijolo (Figura 3.15 (a)) e calculada a massa necessária para produzir cada placa, de acordo com a espessura desejada. Tomou-se o cuidado de deixar os materiais já separados: água e superplastificante (Figura 3.15 (c)), incluindo a impermeabilização do tecido de fibra de juta e malva (Figura 3.15 (b)), para que não ocorresse atraso durante a confecção das placas.

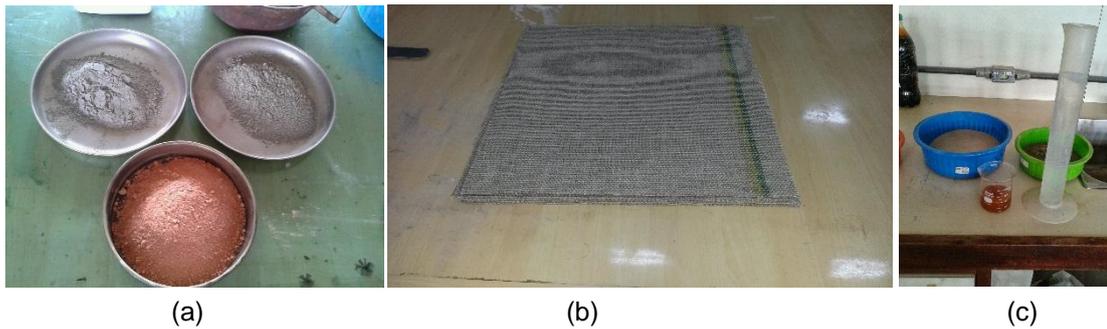


Figura 3.15 – Materiais para moldagem: (a) cimento, resíduo de tijolo moído e areia, (b) tecido de fibra de juta e malva impermeabilizado, (c) água e superplastificante.

Na produção das placas foram seguidas as respectivas etapas:

1. Mistura dos materiais secos: primeiramente os materiais da argamassa foram misturados em seus estados secos (Figura 3.16 (a)), depois levados ao recipiente do misturador planetário, com capacidade de 5 l (Figura 3.16 (b)), na seguinte ordem: cimento, resíduo de tijolo moído e areia.

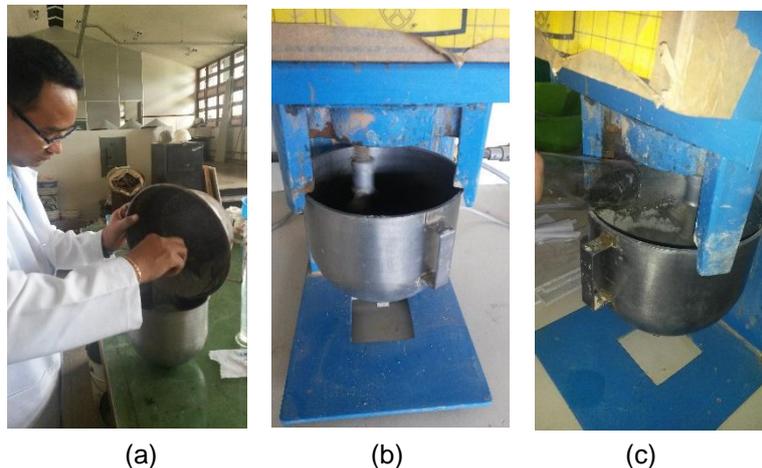


Figura 3.16 – Mistura dos materiais: (a) adição manual dos materiais secos no recipiente, (b) misturador planetário, (c) adição de água com superplastificante na mistura seca.

Este primeiro processo levou em média 3 minutos, sendo em seguida adicionada a água com o superplastificante (Figura 3.16 (c)) diluído em seu interior, lentamente no misturador, deixando-se misturar por mais 5 minutos até que a mistura

apresentasse uma homogeneização visível para então ser feita a moldagem das placas. Foi passado óleo 15W/40 nas fôrmas de acrílico para que houvesse melhor acabamento superficial das placas.

2. Moldagem das placas: nessa etapa, ocorria a colocação na fôrma, com dimensões de (400 x 400 x 4) mm, com fundo e tampa de acrílico, da primeira camada de argamassa que era espalhada na fôrma com auxílio de uma espátula (Figura 3.17 (a)). Em seguida foi aplicada sobre a camada de argamassa uma camada de tecido de fibra de juta e malva, conforme Figura 3.17 (b). Novamente, outra camada de argamassa foi colocada e espalhada com o auxílio da espátula (Figura 3.17(c)). Logo após, foram colocada as últimas camadas de tecido e argamassa, respectivamente.

Finalizando, a placa tinha 2 camadas de tecido de fibras e 3 camadas de argamassa intercaladas com as fibras. Após a moldagem, as amostras ficaram em descanso por 24 horas e depois foram desformadas.

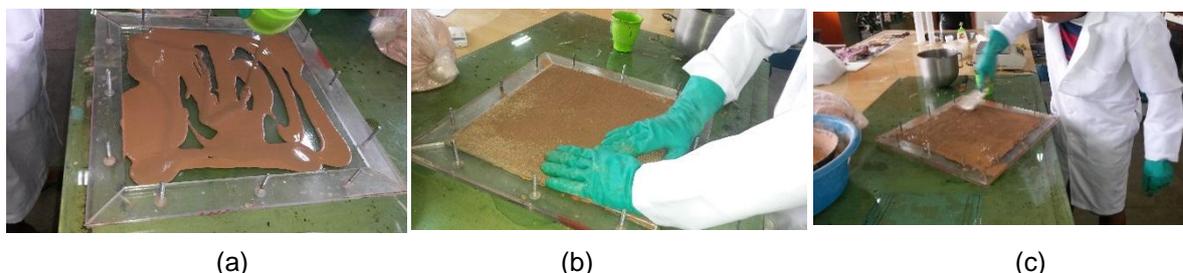


Figura 3.17 – Moldagem das placas: (a) Espalhamento da argamassa na forma, (b) Colocação de uma das camadas de argamassa sobre as fibras, (c) aplicação da 2ª camada de argamassa

Após a desforma (Figura 3.18 (a)) as placas foram colocadas submersas em água por 28 dias a fim de garantir uma cura adequada. Em seguida, os compósitos foram cortados com o auxílio de uma serra portátil, resultando em amostras com dimensões de (100x400x4) mm (largura, comprimento e espessura) para o ensaio de

flexão (Figura 3.18 (c)) e amostras com dimensões de (40x400x4) mm para o ensaio de tração.

Após o processo de cura, os corpos de prova foram armazenados em uma sala com temperatura de  $25\pm 1$  °C antes da execução dos ensaios. Antes do ensaio, os corpos de prova foram pintados de branco (Figura 3.18 (b)) com uma tinta a base de PVA para uma melhor visualização do processo de fissuração.



Figura 3.18 – Preparação das placas para ensaios mecânicos: (a) placa desformada, (b) placa pintada de branco, (c) Amostras para o ensaio de flexão.

### 3.2.6 Processo de produção das telhas

Semelhantemente ao processo de produção das placas, também foi utilizado o tecido de fibras de juta e malva, como material de reforço para produção das telhas cimentícias, onde este foi cortado no tamanho de (1000x580) mm. A telha foi moldada com tecido de fibras de juta e malva arranjadas em 2 camadas.

Antecedendo a produção da telha, foi feita a pesagem de cada componente, onde foi calculado a massa necessária para produzir a telha, de acordo com a espessura desejada (4mm).

Na produção das telhas foram seguidas as etapas descritas abaixo:

1. Mistura dos materiais: primeiramente os materiais da argamassa foram misturados em seus estados secos (Figura 3.19 (a)), e levados ao recipiente do misturador planetário, com capacidade de 5 l (Figura 3.19 (b)), em seguida foi adicionado água com o superplastificante diluído lentamente aos materiais secos e iniciado o batimento no misturador, deixando-se misturar por 6 minutos até que a mistura apresentasse uma homogeneização visível (Figura 3.19 (c)), para então serem feitas as moldagens das telhas.

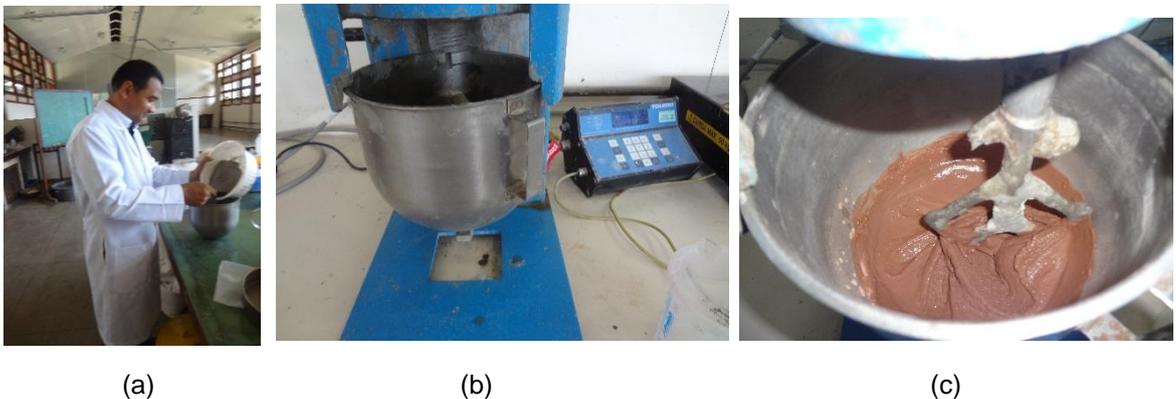


Figura 3.19 – Mistura dos materiais: (a) adição manual dos materiais secos no recipiente, (b) misturador planetário, (c) mistura dos materiais com a adição de água e superplastificante.

2. Preparação das formas: nessa etapa ocorreu a colocação de uma toalha plástica na fôrma de madeira com fundo laminado em formica, com dimensões de 1000 x 580 x 4 mm, e depois preparado o tecido da fibra de juta e malva já impermeabilizado com as mesmas dimensões (Figura 3.20 (a)), usadas na primeira telha . O molde para receber a argamassa foi feito da própria telha referência, Brasilit Ondina 1000 x 500 x 4 mm (Figura 3.20 (b)), sendo ainda moldada, pela telha referência, uma fôrma ondulada de concreto (Figura 3.20 (c)), também usada na produção da primeira telha.

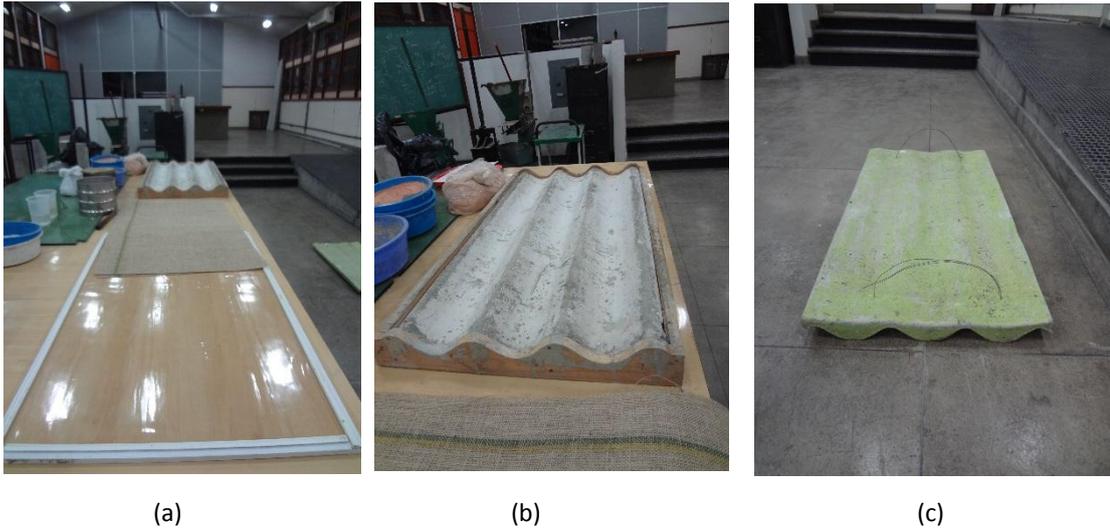


Figura 3.20 – Preparação das formas: (a) Colocação de uma toalha plástica e do tecido de fibra de juta e malva impermeabilizado na fôrma plana de madeira, (b) Fôrma usada da própria telha referêcia, (c) Fôrma ondulada de concreto moldada pela telha referêcia.

3. Moldagem das telhas: A primeira camada de argamassa foi espalhada na fôrma com auxílio de uma espátula (Figura 3.21 (a)). Em seguida foi aplicada sobre a camada de argamassa uma camada de tecido de fibra de juta e malva, conforme Figura 3.21 (b). Após a aplicação das camadas de argamassas e de tecidos com o auxílio de espátula, as telhas tinham 2 camadas de tecido de fibras e 3 camadas de argamassa intercaladas com as fibras Figura 3.21 (c).

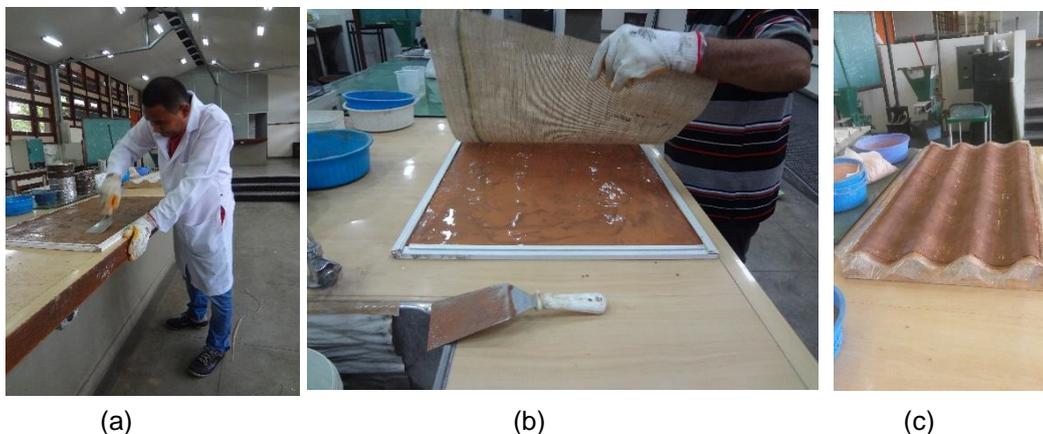


Figura 3.21 – Moldagem das telhas: (a) Espalhamento de argamassa com espátula, (b) Aplicação de camada de tecido de fibra de juta e malva, (c) Telha após aplicação de 2 camadas de tecidos de fibras e 3 camadas de argamassa.

4. Desforma das telhas: Após a moldagem as amostras ficaram em descanso com a forma de concreto na parte superior (Figura (3.22 (a))), as telhas com misturas de 0% e 50% foram todas desformadas após 24h. A Figura (3.22 (b)) mostra o lado da telha que teve contato com a toalha de plástico na forma de madeira. A Figura (3.22 (c)) mostra a telha totalmente desformada. Em seguida foi aguardada a cura para que fossem feitos os ensaios físicos e mecânicos.



Figura 3.22 – Desforma das telhas: (a) Descanso da telha com a forma de concreto na parte superior, (b) face da telha desformada sem aderência da toalha de plástico, (c) Telha desformada.

### 3.3 Caracterização da matriz

#### 3.3.1 Ensaio de Compressão

As moldagens para os corpos-de-prova sem fibras foram realizadas conforme a NBR 7215:1996. Houve um cuidado especial na regularização das superfícies extremas dos corpos-de-prova, a qual foi feito o capeamento (Figura 3.23 (a)) diminuindo as imperfeições decorrentes do processo de moldagem. Esse capeamento fornece paralelismo entre as faces do corpo-de-prova, permitindo que o carregamento seja aplicado ao longo de toda superfície, tanto superior quanto inferior.

A velocidade de ensaio empregada foi de 0,05 mm/min, sendo aplicado o carregamento sobre o corpo-de-prova até que sua ruptura fosse atingida, conforme mostrado na Figura 3.23 (b)).

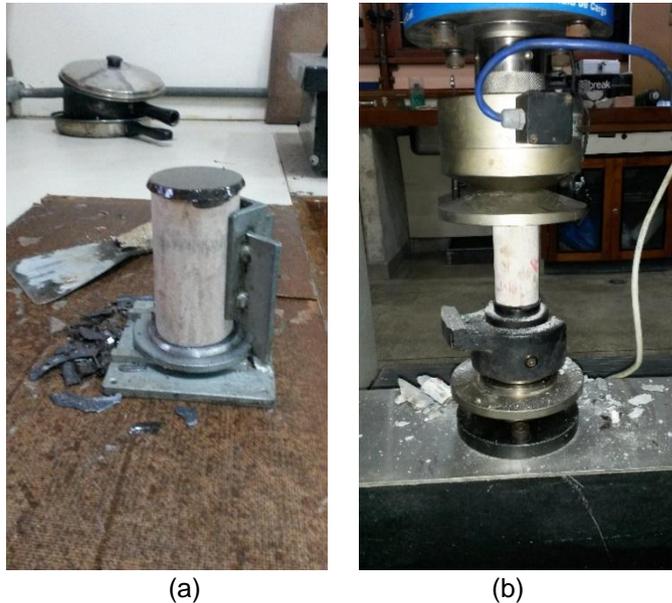


Figura 3.23 – Instrumentação do corpo-de-prova para o ensaio de compressão simples: (a) Corpo de prova capeado; (b) Corpo de prova rompido.

Foram utilizadas neste ensaio de corpos-de-prova cilíndricos com dimensões de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura sem fibras que teve a finalidade de avaliar as mudanças na matriz.

### 3.3.2 Análise termogravimétrica

Para verificar o teor de hidróxido de cálcio na matriz, foi realizado o ensaio de termogravimetria. Conforme mencionado anteriormente, foi realizada substituição parcial do cimento (50%). Foram produzidas pastas com cimento, resíduo de tijolo moído e água (fator água/material cimentício = 0,4). Os ensaios foram realizados após 28 dias de cura.

As análises foram realizadas no equipamento modelo SDT Q600 TGA/DTA/DSC Simultâneo da TA Instruments (Figura 3.24 (a)) . O equipamento

operou a uma taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C} / \text{min}$ , da temperatura ambiente até aproximadamente  $1000^{\circ}\text{C}$ , em atmosfera de nitrogênio e fluxo do registrador de  $30 \text{ mL/min}$ . Os ensaios foram feitos em cadinhos de platina (Figura 3.24 (b)).



Figura 3.24 – Análise térmica: (a) Equipamento usado na análise termogravimétrica; (b) Amostra em cadinhos de platina.

## 3.4 Caracterização do Compósito

### 3.4.1 Ensaio de tração direta

O ensaio foi realizado em uma máquina de ensaios eletro-mecânica modelo EMIC (Figura 3.25 (a)), com célula de carga de  $100 \text{ kN}$ , e velocidade de deslocamento de  $0,5 \text{ mm/min}$ . A Figura 3.25 (b) mostra o detalhe do dispositivo de fixação do corpo de prova.

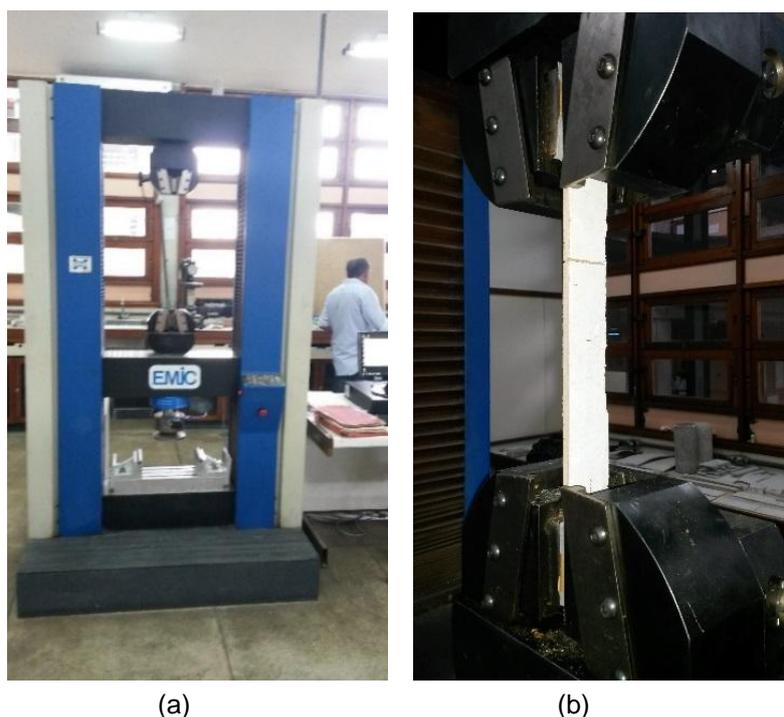


Figura 3.25 – Ensaio de tração direta: (a) Equipamento empregado no ensaio de tração; (b) Detalhe da garra do dispositivo para ensaio das placas à tração direta.

As amostras para avaliação das propriedades de resistência a tração direta do compósito em estudo foram confeccionadas nas dimensões de 40x400x4 mm, sendo fixada por um dispositivo ligado as garras da prensa. Em seguida a placa foi tracionada a uma velocidade constante de 0,5mm/min até sua ruptura, havendo um alongamento vertical, que será apresentado nos resultados desta pesquisa. Durante todo o ensaio foram observados os dados em termos de deslocamentos e cargas até a ruptura da placa.

### 3.4.2 Ensaio de flexão em 4 pontos

Os ensaios de flexão foram realizados na mesma prensa utilizada para os ensaios de tração direta - prensa Universal EMIC, com célula de carga de 100 kN. Neste ensaio foram realizadas três repetições para cada tipo de reforço fibroso.

A Figura 3.26 mostra o dispositivo de ensaio com quatro cutelos, montados na máquina de ensaio. O sistema de aquisição de dados, contínuo, foi baseado em programa, obtendo-se a carga e a flecha no meio do vão por meio de um LVDT. A velocidade de ensaio utilizada foi de 0,5 mm/min, padronizada para todos os ensaios de flexão. Os pontos de carga distavam 100 mm e o vão entre apoios distava 300 mm.

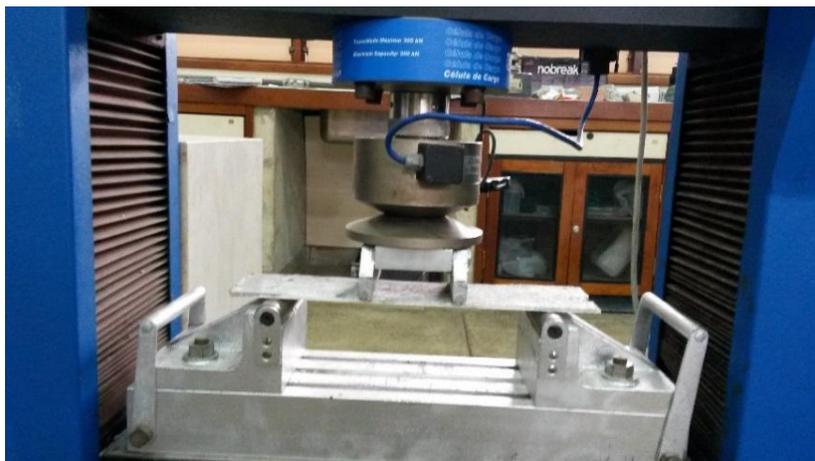


Figura 3.26 – Ensaio de flexão nos compósitos: início do ensaio flexão, posição inicial do corpo de prova.

Os resultados foram expressos em tensão de tração na flexão, onde foi utilizada a equação 3.2 para o cálculo da mesma. Foram ainda calculados os índices de tenacidade pelo método da RILEM (1984), calculando-se a área sob a curva do gráfico carga x deslocamento até a carga de ruptura e dividindo-se o valor encontrado pela área da seção transversal.

$$\sigma = \frac{6M}{b d^2} \quad (3.1)$$

$$T = \frac{A}{b d} \quad (3.2)$$

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.

### 3.4.3 Ensaio de permeabilidade nas telhas

O ensaio físico foi adaptado da ABNT NBR 15210-2:2005. Para a realização deste ensaio foi utilizado um dispositivo medindo 400x400 mm (Figura 3.27(a)), sendo fixada e vedada cuidadosamente com fita crepe e silicone industrial (Figura 3.27(b)). Enchida com água a 20 mm acima da crista das ondas (Figura 3.27(c)), os compósitos foram mantidos em ambiente arejado, à sombra e sem nenhuma possibilidade de intervenção externa por 24 horas.

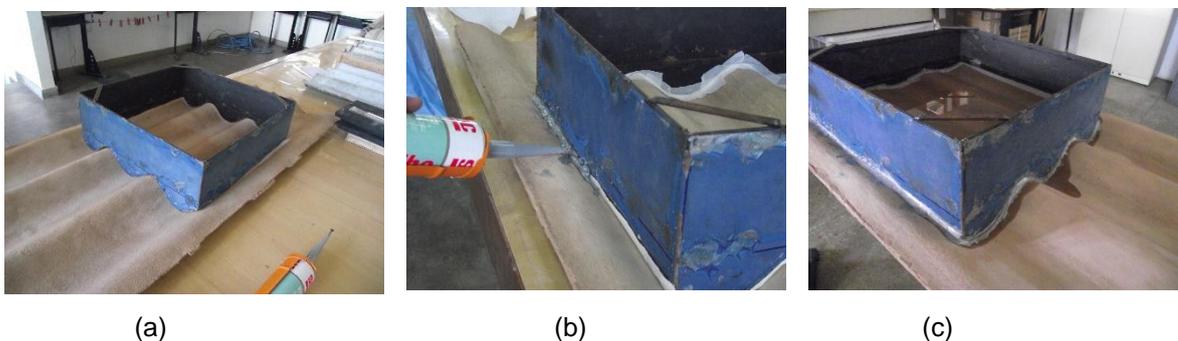


Figura 3.27 – Ensaio de permeabilidade da telha: (a) dispositivo medindo 400x400 mm, (b) vedação com uso de cola plástica e fita crepe. (c) enchimento com água à 20mm acima da crista da telha.

O ensaio de permeabilidade foi realizado nas amostras de 50%, 0% e na telha sem amianto usada como referência, seguindo o mesmo roteiro citado acima.

#### 3.4.4 Ensaio de flexão nas telhas

O ensaio mecânico foi adaptado da ABNT NBR 15210-2:2005. Para a realização deste ensaio mecânico, foram moldados corpos-de-prova dos compósitos de 0%, 50% e preparado corpo-de-prova da telha referência, sem amianto.

Como apoio das telhas, foram usadas 2 mesas e sobre elas foram colocados 2 cutelos de madeira e sobre eles foram colocadas borrachas, conforme mostrado na Figura 3.28 (a). A Figura 3.28 (b) apresenta a montagem da aparelhagem do ensaio de flexão, mostrando os materiais utilizados neste ensaio: 3 cutelos de madeira, sendo 2 utilizados nas extremidades (mesa de apoio) e um em cima da telha, centralizado para receber a carga. Como descrito na NBR 15210-2:2005 foi utilizado material flexível (borrachas) no apoio nas extremidades e no centro para que não houvesse contato direto com o cutelo de madeira e a telha, servindo de apoio a cargas que serão aplicadas durante o ensaio.



(a)



(b)

Figura 3.28 – Ensaio de flexão: (a) três tiras de borrachas para apoio e cutelo, (b) montagem da aparelhagem para realização dos ensaios.

Cada telha media 1000 mm de comprimento, sendo assim, o vão utilizado foi de 850 mm tendo 75 mm de apoio em cada extremidade, uma régua milimetrada foi fixada a uma mesa de apoio abaixo da telha para facilitar a visualização da flecha.

O corpo-de-prova (telha) foi colocado sobre os apoios de borracha perpendicular à direção das ondas, e no centro foi locado o cutelo junto com a interposição da tira de borracha para que não houvesse contato direto entre as partes rígidas (telha e madeira). Em seguida foi utilizado um balde de 100L sobre o cutelo onde foi inserida água em massa de 5kg a cada 1 minuto como aplicação de cargas gradativas sobre o corpo-de-prova.

As cargas foram aplicadas gradativamente até que a estrutura entrasse em colapso, neste intervalo de tempo de 1 minuto para adição de carga também foram tiradas fotos de uma câmera digital acoplada (Figura 3.29) à frente da aparelhagem para uma posterior análise das deflexões dos compósitos.



Figura 3.29 – Detalhe do ensaio de flexão: Câmera digital acoplada ao ensaio para aquisição de imagens.

### 3.4.5 Ensaio de resistência ao impacto nas telhas

O ensaio de resistência ao impacto foi adaptado da ABNT NBR 15575-5:2013, o mesmo foi realizado simulando a ação do granizo (Figura 3.30 (a)) e outras cargas acidentais em telhados. As telhas são desenvolvidas para suportar a exposição às intempéries, porém, por ficarem exposta, estas se tornam suscetíveis a danos mecânicos e não raros os casos de telhados ou coberturas danificadas por elementos naturais como as chuvas de granizo (Figura 3.30 (b)).



(a)

(b)

Figura 3.30 – Chuva de granizo: (a) detalhe do granizo, (b) telhado de fibrocimento danificado após chuva de granizo.

Fonte: BALDINE *et al* (2013)

Os corpos-de-prova utilizados foram as telhas reforçadas com juta e malva (0% e 50%) e a telha referência sem amianto. Foram determinadas 2 alturas, uma de 3 m e outra de 4 m a partir do corpo-de-prova, o mesmo foi apoiado e posicionado em duas mesas (Figura 3.31 (a)) com um vão de 50 centímetros e área aproximada de 0,25 m<sup>2</sup>. Duas esferas foram utilizadas uma de massa de 210,1g e outra com massa de 392,9g (Figura 3.31 (b)), nomeadas “m1” e “m2”, respectivamente.



Figura 3.31 – Ensaio de resistência ao impacto: posicionamento do corpo-de-prova apoiado em 2 mesas, (b) Esferas utilizadas no ensaio de resistência ao impacto.

As esferas foram liberadas em queda livre de altura de 3 m, de forma que os impactos das esferas ocorressem atingido a crista e a canaleta das telhas, simulando o impacto em ambas situações. O mesmo procedimento foi realizado para a altura de 4 m e com a ajuda de um pincel foi demarcado o impacto de cada esfera. Os resultados foram expressos em energia, onde foi utilizada a equação 3.3 para o cálculo da mesma.

$$E = mgh \quad (3.3)$$

Onde:

$E$  = energia potencial gravitacional – Joule (J);

$m$  = massa – quilograma (Kg);

$g$  = aceleração gravitacional – metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ );

$h$  = altura da queda livre – metro (m).

# Capítulo 4

---

## Apresentação e Análise dos Resultados

## 4 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e analisados os resultados dos ensaios físicos e mecânicos realizados nos materiais que compõe a pasta e os compósitos cimentícios reforçados com o tecido de fibras de juta e malva.

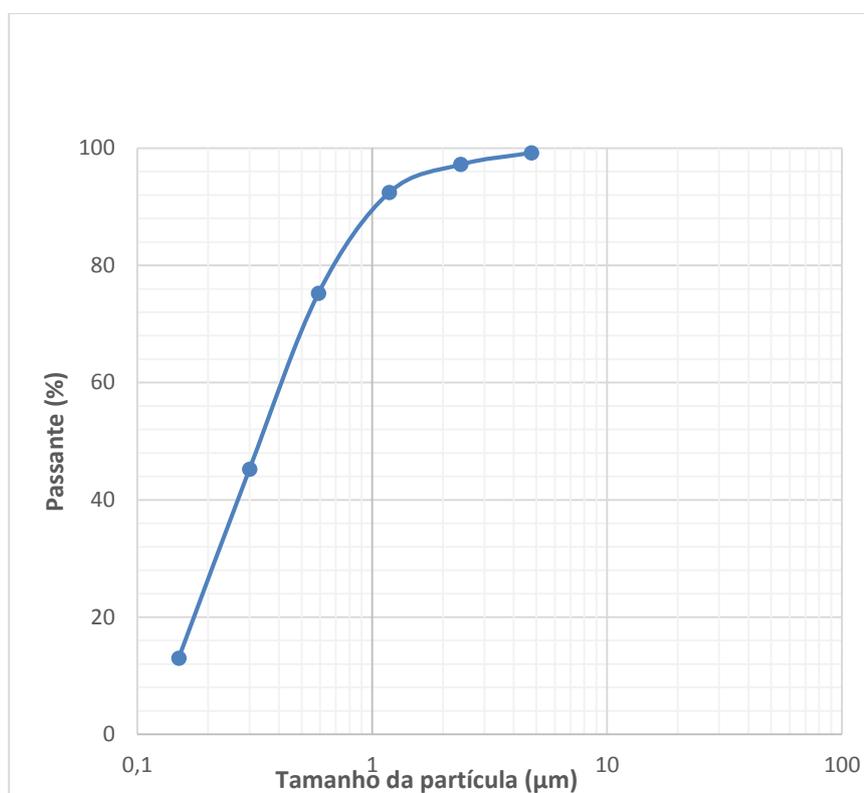
### 4.1 Resultado da Caracterização da Areia

Os resultados são apresentados na Tabela 4.1. O módulo de finura da areia de 1,79 indica ser a mesma uma areia fina.

Tabela 4.1 - Propriedades Física e Química da Areia

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA						ÍNDICES FÍSICOS
Peneira n°	Abertura (mm)	Material Retido (g)	Material Retido (%)	Material Acumulado Retido (%)	Material Acumulado Passando (%)	Módulo de finura: 1,79
4	4,76	4	1	1	99	Dimensão máx característica (mm):2,4
8	2,38	10	2	3	97	Massa unitária em estado solto úmido (kg/dm <sup>3</sup> ): 1,18 (H=3,3%)
16	1,18	24	5	8	92	Massa unitária em estado solto seco (kg/dm <sup>3</sup> ): 1,56
30	0,59	86	17	25	75	Impurezas: acima de 300 p.p.m em termos de ácido tânico
50	0,3	150	30	55	45	Teor de argila: 1,5%
100	0,15	161	32	87	13	Teor de material pulverulento: 2,7%
Fundo		65	13	100		

Na Figura 4.1 é apresentada a curva granulométrica da areia utilizada.



*Figura 4.1 – Curva granulométrica da areia.*

De acordo com Melo Filho (2012), as partículas com granulometria inferior a 1,18mm influenciam na área de contato entre as partículas dos aglomerantes, tornando o produto final mais homogêneo. Foi realizado o peneiramento da areia fornecida (Figura 4.2 (a)) e no processo de moldagem das placas foi utilizada a areia com diâmetro máximo das partículas menor que 1,18 mm, conforme mostrado na Figura 4.2 (b).



Figura 4.2 – Amostra da areia: (a) areia no estado que foi fornecida pela empresa de concreto, (b) areia peneirada com diâmetro menor de 1,18mm.

#### **4.2 Resultado da massa específica do tecido de fibras de juta e malva**

Os resultados da massa específica do tecido das fibras de juta e malva apresentaram um valor médio de  $1,59 \text{ g/cm}^3$  e foi determinada em picnômetro a gás hélio, a pesquisa realizada por Fidelis, (2014), tendo o mesmo fabricante do tecido da fibra, apresentou resultados  $1,61 \text{ g/cm}^3$  para o tecido de fibra de juta usando o mesmo procedimento.

#### **4.3 Análise dos resultados dos métodos de ensaios de dosagem do aditivo superplastificante**

Adaptado de Souza Filho (2012), para encontrar o teor ótimo do superplastificante MC-PowerFlow 1160, foram ensaiado os teores de 1%; 1,5% e 2% de superplastificante com o cimento CP –IS 32, nos ensaios do funil de Marsh e de consistência adaptado, pois pela norma, são dados golpes com a manivela antes da leitura dos diâmetros, nesse caso o ensaio foi feito sem golpes.

A Figura 4.3 apresenta os resultados dos ensaios de dosagem do aditivo superplastificante.

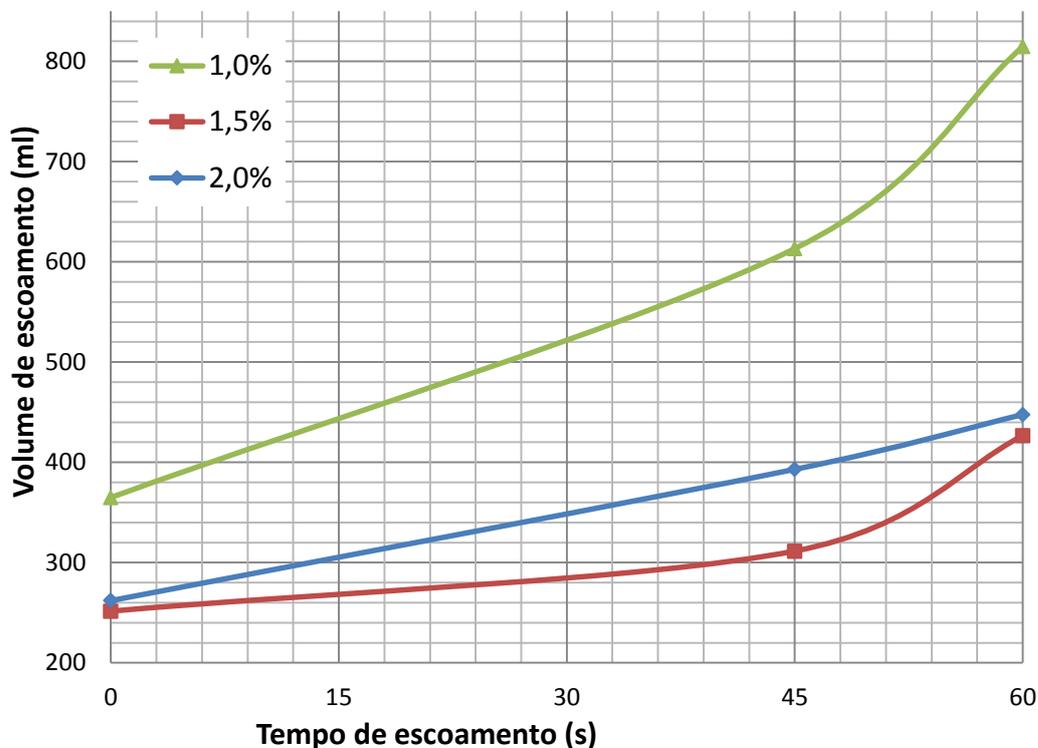


Figura 4.3 – Resultados do ensaio do funil de Marsh

O teor ótimo de superplastificante foi definido com base nos resultados do ensaio do funil de Marsh e de consistência. O teor 1,5% de superplastificante gerou uma pasta com boa fluidez e com viscosidade inferior ao teor de 2%. Apesar dos resultados de fluidez e viscosidades da argamassa produzida estarem próximos, a mistura de 1,5% obteve melhor desempenho, uma vez que o seu ponto de saturação foi atingido com menor consumo de aditivo e conseqüentemente maior economia.

Embora, para o teor de 1% tenha sido obtido o melhor resultado para o ensaio do funil de Marsh, foi adotado o teor de 1,5% de superplastificante considerando que foi gerado uma pasta com espalhamento médio de 400 mm, enquanto que o espalhamento médio para o teor de 1% foi de 370 mm.

A proporção final da mistura foi então, 1:1:0,4 (material cimentício: areia: água) com substituição, em massa, de 50% do cimento por resíduo de tijolo moído, 1,5% de superplastificante e diâmetro máximo de areia de 1,18 mm.

#### 4.4 Ensaios de Absorção, índice de vazios e massa específica

A Tabela 4.2 mostra os resultados da absorção de água, índice de vazios e massa específica das argamassas das matrizes de 0% e 50% de adição de resíduo de tijolo moído. A argamassa com substituição de 50% de cimento por resíduo de tijolo moído obteve os melhores resultados.

Tabela 4.2 – Valores médios dos ensaios de absorção de água, índice de vazios, e massa específica das argamassas das matrizes de 0% e 50% de adição de resíduo de tijolo moído.

Argamassa	Absorção de água a $23 \pm 2^\circ \text{C}$ (%)	Índice de vazios a $23 \pm 2^\circ \text{C}$ (%)	Massa específica seca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Massa específica saturada ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Massa específica real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
0%	11,23	22,33	1,99	2,21	2,56
50%	10,73	21,01	1,97	2,18	2,49

Pode ser observado que a utilização do resíduo cerâmico contribuiu para que a matriz cimentícia apresentasse uma leve queda no índice de absorção de água e índice de vazios, o que pode, provavelmente, aumentar a durabilidade da matriz por proporcionar ao compósito uma menor porosidade. Além disso, verificou-se uma pequena queda na massa específica.

## 4.5 Caracterização da matriz

### 4.5.1 Ensaio de Compressão da matriz

Na Figura 4.4, são apresentados os gráficos obtidos dos ensaios de resistência à compressão com tempo de cura de 28 dias, realizados nas matrizes com adição e sem adição de resíduo de tijolo moído. Na Tabelas 4.3 são apresentados os valores médios de resistência à compressão ( $f_c$ ) e desvio padrão, para os ensaios realizados.

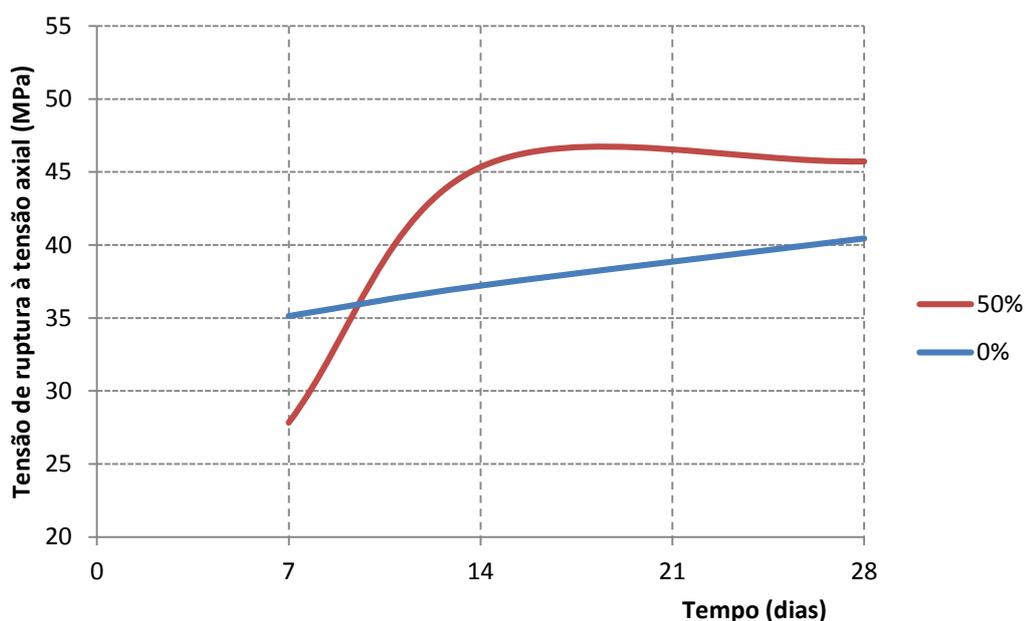


Figura 4.4 – Gráfico dos valores de compressão aos 28 dias para as misturas de 0% e 50%.

Tabela 4.3 – Valores médios da resistência à compressão e desvio padrão- 50% e 0%  
Valores entre parênteses se referem ao desvio padrão.

	50%	0%
Dias	$f_c$ (Mpa)	$f_c$ (Mpa)
7	27,60 (0,30)	39,49 (3,22)
14	44,41 (0,94)	40,75 (2,55)
28	49,43 (1,88)	45,53 (3,67)

Observa-se na Tabela 4.3 que o uso do resíduo do tijolo moído provocou uma elevação na resistência média à compressão da mistura de referência 0% a partir dos 14 dias de idade. Para efeito de comparação, a mistura 50%, produzida com o mesmo traço da mistura 0%, mas com a adição de resíduo de tijolo moído, aumentou o  $f_c$  em média 8,5% aos 28 dias. O acréscimo no valor da resistência à compressão da matriz de cimento Portland, está relacionado com a formação de mais produtos de hidratação da mistura devido as reações pozolânicas, o que em geral ocorre com maior intensidade em período de cura maior.

#### 4.5.2 Análise termogravimétrica

Como pode ser observado na Figura 4.5, nas curvas de termogravimetria derivada (DTG), o pico entre 50° e 200°C corresponde à decomposição da etringita e do silicato de cálcio hidratado (C-S-H). Entre 400° e 500°C ocorre a desidroxilação do hidróxido de cálcio e entre 600° e 700°C ocorre a carbonatação do carbonato de cálcio (DWECK et al., 2009; NEVES JUNIOR et al., 2012; ROCHA et al., 2013; MELO FILHO et al., 2013; FIDELIS, 2014).

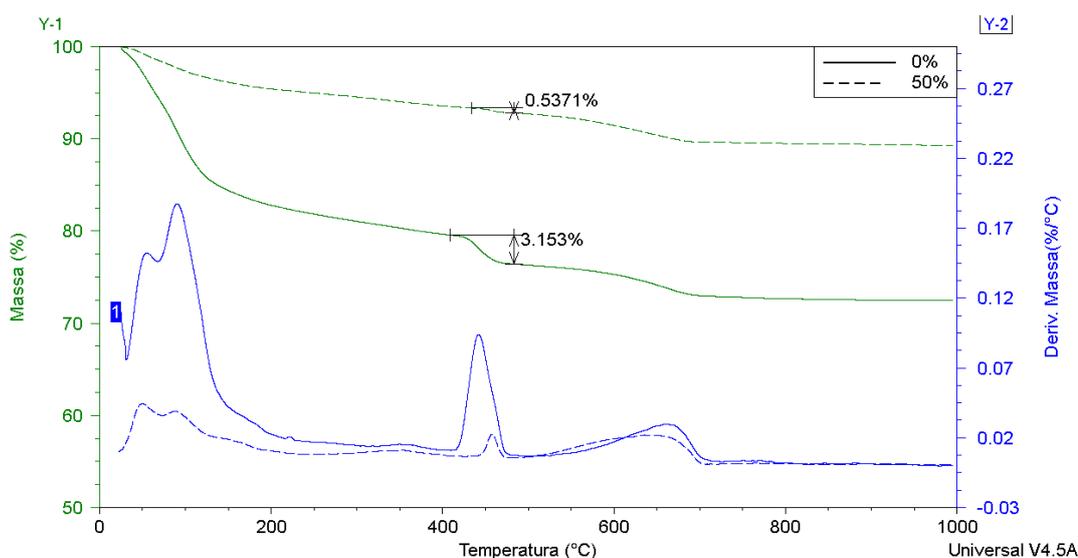


Figura 4.5 – Curvas de TG / DTG – Matrizes em relação à massa inicial da amostra.

A quantidade de hidróxido de cálcio está relacionada às reações de hidratação do cimento. Conforme pode ser observado, houve consumo do teor de hidróxido de cálcio (CH) na matriz 50% (teor de CH: 0,53%), uma redução de 487% em relação à matriz de 0% (teor de 3,15%) aos 28 dias. Esse comportamento evidencia o potencial pozolânico do resíduo cerâmico, o que proporcionará uma maior durabilidade e resistência aos material compósitos. Pois do contrário, sem a redução do CH, haveria uma acelerada destruição das fibras de juta e malva, diminuindo a resistência mecânica dos compósitos.

## 4.6 Caracterização do compósito

### 4.6.1. Tração direta

As curvas típicas de tensão de tração direta x deslocamento para compósitos reforçados com tecido de fibras de juta e malva a 0% e 50%, respectivamente, são mostradas na Figura 4.6.

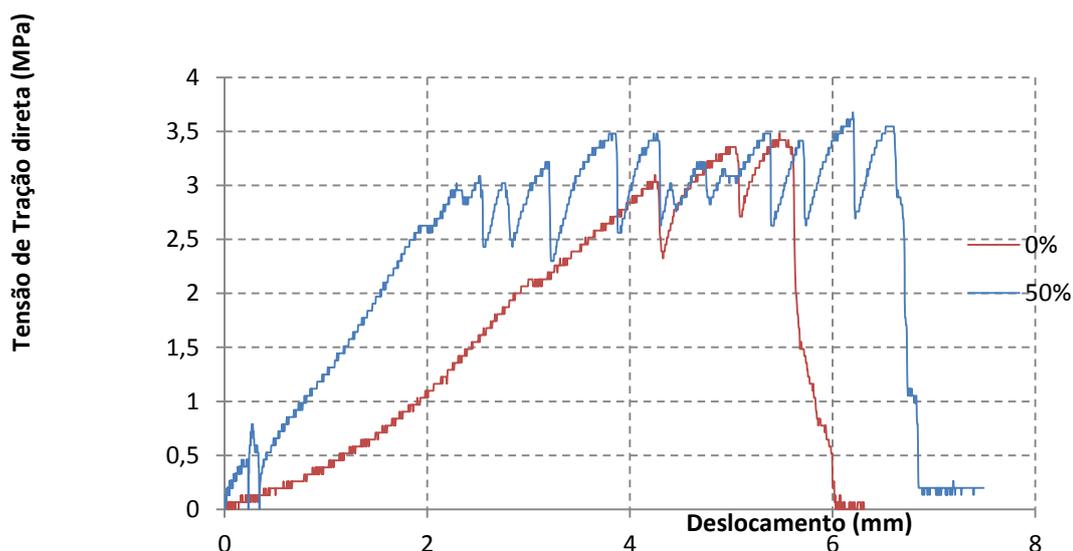


Figura 4.6 – Curvas típicas de tensão de tração direta x deslocamento para os compósitos de 0% e 50%.

De acordo com a Figura 4.6, percebe-se que os 2 compósitos mostraram comportamento semelhante à tração direta sendo que a de 0% apresentou maiores tensões de primeira fissura (2,15 MPa) e deslocamento de 3,0 mm, já na fase de pós-fissuração a de 50% apresentou uma tensão maior de (3,75 MPa) com deslocamento de 6,25 mm. Comparando-se no gráfico os dois compósitos, nota-se uma diferença significativa nos valores de tensão de última fissura e deformação de última fissura, os compósitos produzidos com substituição de 50% de cimento por resíduo de tijolo moído apresentaram acréscimos de 11,9% e 13,6% para as respectivas propriedades.

Foi observado que os compósitos com adição de metacaulinita apresentaram um maior número de fissuras. O modo de fratura após os ensaios de tração para os compósitos de 0% e 50% estão apresentados na Figura 4.7. As ramificações de fissuras apresentadas nos corpos de prova reforçados com tecido de fibras de juta e malva com a adição do resíduo cerâmico, indica que a referida adição contribuiu para um melhor desempenho, e que provavelmente houve degradação das fibras nos corpos de prova com cimento puro, diminuindo a resistência a tração comparado aos corpos de prova onde houve a adição da pozolana.

Fidelis (2014) observou no ensaio de tração, que o tratamento com polímero se comportou como uma barreira física aos produtos de hidratação, protegendo a fibra do ataque alcalino. Embora o processo de impregnação pareça não ter garantido completa cobertura das superfícies dos cordões, o tratamento melhora a aderência entre fibra-matriz através da ativação dos filamentos internos, além de aumentar a aderência química.

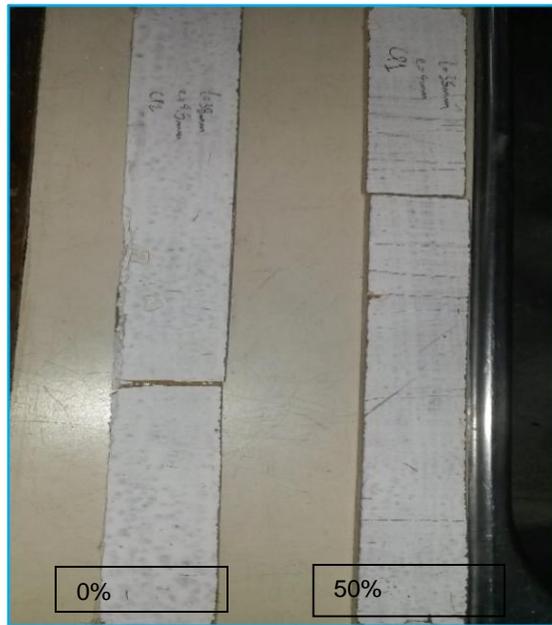


Figura 4.7 – Ensaio de tração na flexão: (a) corpos de provas rompidos 0%, (b) corpo de prova rompido com 50%.

Na Tabela 4.4 são mostrados os valores médios dos resultados de tensão de tração direta e os respectivos desvio padrão para os ensaios de tração direta.

Tabela 4.4 – Valores médios da tensão de tração direta e desvio padrão dos compósitos de 0% e 50%

	Média (Mpa)	Desvio padrão
0%	3,08	0,85
50%	3,44	0,29

Os valores médios de tensão de primeira fissura e tensão de pós-fissuração para os ensaios de tração direta realizado nos compósitos 0% e 50%, a matriz 50% teve um acréscimo de 11,7% na tensão última em relação a 0%. Para o compósito

50% foi obtido uma tensão de primeira fissura de 0,45 MPa e uma tensão última de 3,75 MPa que representa uma melhoria de 733% quando comparada a sua matriz e com deslocamento de 0,5 mm e 6,25 mm. Para o compósito 0%, foi obtida uma tensão de primeira fissura e tensão última de 2,15MPa e 3,35MPa, respectivamente, que apresenta uma melhoria de 55% na tensão última quando comparada a sua matriz e com deslocamentos de 3,0 mm e 5,5 mm.

De uma forma geral, percebe-se que ambos compósitos apresentaram um comportamento dúctil com aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Esta observação foi similar a aquelas encontradas na literatura para compósitos tanto na flexão quanto na tração direta (MELO FILHO, 2012).

#### 4.6.2 Tração na flexão em quatro pontos

Na Figura 4.8 estão apresentadas as curvas tensão-deflexão para os compósitos denominados de 0% e 50% submetidos ao ensaio de flexão em 4 pontos.

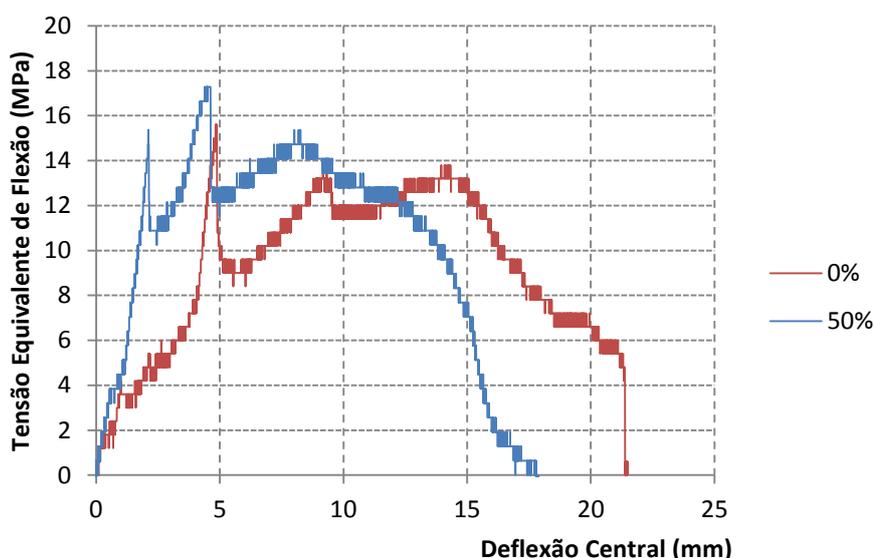


Figura 4.8 – Curvas médias de tensão de tração na flexão x deflexão para as misturas de 0% e 50%

A aderência fibra-matriz foi maior para os compósitos com matriz 50%, verificado pela ocorrência de uma maior queda no gráfico, apresentando um comportamento de endurecimento na flexão, caracterizado pelo aumento da tensão após o surgimento da primeira fissura. Na Tabela 4.5 são mostrados os resultados dos valores médios da tração na flexão para as matrizes de 0% e 50%.

Tabela 4.5 – Valores médios da tração na flexão e desvio padrão dos compósitos de 0% e 50%

	<b>Média <math>\sigma</math> (Mpa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>0%</b>	12,73	2,06
<b>50%</b>	15,02	1,63

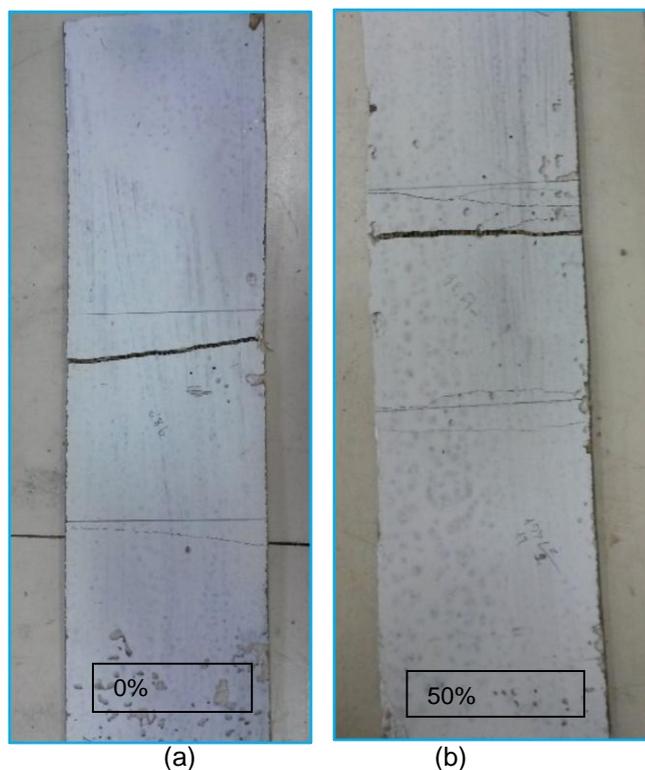
Comparando os resultados obtidos, nota-se um aumento da resistência média à tração na flexão de 18% para as matrizes moldadas com 50% de substituição de cimento por resíduo de tijolo moído. Esse aumento pode ser decorrente, provavelmente, pela maior resistência das fibras na matriz com a substituição de 50% do cimento pela metacaunilita produzida do resíduo cerâmico, que reduziu o teor de hidróxido de cálcio.

Na Figura 4.9, pode-se ver a representação da deflexão no carregamento nas placas de 0% (Figura 4.9 (a)) e 50% (Figura (4.9 (b))) com o aparecimento de fissuras na parte inferior do corpo de prova.



(a) (b)  
Figura 4.9 – Ensaio de tração na flexão - aparecimento de fissuras na parte inferior: (a) corpo de prova 0%, (b) corpo de prova com 50%.

O modo de fratura após os ensaios de flexão para os compósitos de 0% e 50% estão apresentados na Figura 4.8. Observa-se nos corpos de prova reforçados com tecido de fibras de juta e malva com a adição do resíduo cerâmico (Figura 4.10 (b)) a ocorrência de um maior número de ramificações de fissuras em relação aos corpos de prova 0% (Figura 4.10 (a)).



(a) (b)  
Figura 4.10 – Detalhe do ensaio de tração na flexão: (a) corpos de provas rompidos 0%, (b) corpo de prova rompidos com 50%.

O uso da metacaulinita (resíduo cerâmico) proporcionou um melhor desempenho para o compósito apresentando um maior número de fissuras nos compósitos de 50%, com a redução do teor do hidróxido de cálcio na matriz, aumentando a durabilidade e resistência das fibras no compósito.

#### 4.6.3 Ensaio de Permeabilidade na telha

Os resultados obtidos após análise estão descritos na Tabela 4.6, como podem ser observadas, as amostras que apresentaram os melhores desempenhos foram as telhas que possuíam adição de 50% de resíduo de tijolo moído.

Tabela 4.6 – Resultados ensaio de permeabilidade

Telha	Após 24h
	Análise visual
0%	Formação mancha
50%	Não houve formação mancha/gota/gotejamento
Referência	Formação mancha/gota/gotejamento

A Figura 4.11 apresenta o estado das telhas na realização do ensaio de permeabilidade.

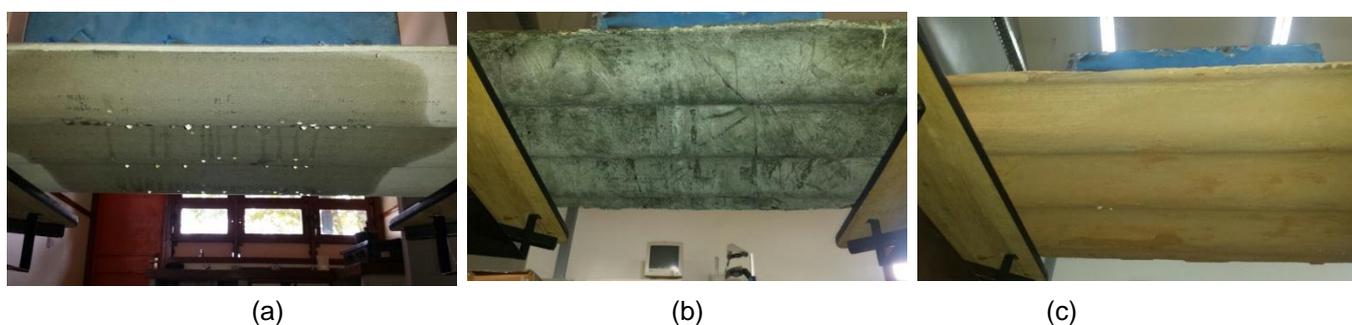


Figura 4.11 – Ensaio de permeabilidade da telha: (a) telha referência sem amianto; (b) Telha 0%; (c) Telha 50%.

A telha referência apresentou mancha, gotas e gotejamento (Figura 4.8 (a)), provavelmente por suas fibras estarem dispersas na matriz, permitindo vazios e maior absorção de água. A telha 0% apresentou apenas pequenas manchas (Figura 4.8 (b)), já a telha 50% não apresentou formação de mancha e nem gotas, conforme mostrado na Figura 4.8 (c), estes resultados podem estar associados à não degradação das fibras impermeabilizadas, por conta da utilização do resíduo cerâmico, contribuindo ainda com a diminuição dos poros, do índice de vazios e da absorção de água.

#### 4.6.4 Ensaio de flexão na telhas

Na Figura 4.12 estão apresentadas as curvas carga *versus* deflexão, fazendo assim um comparativo entres os 3 tipos de telhas (0%, 50% e referência).

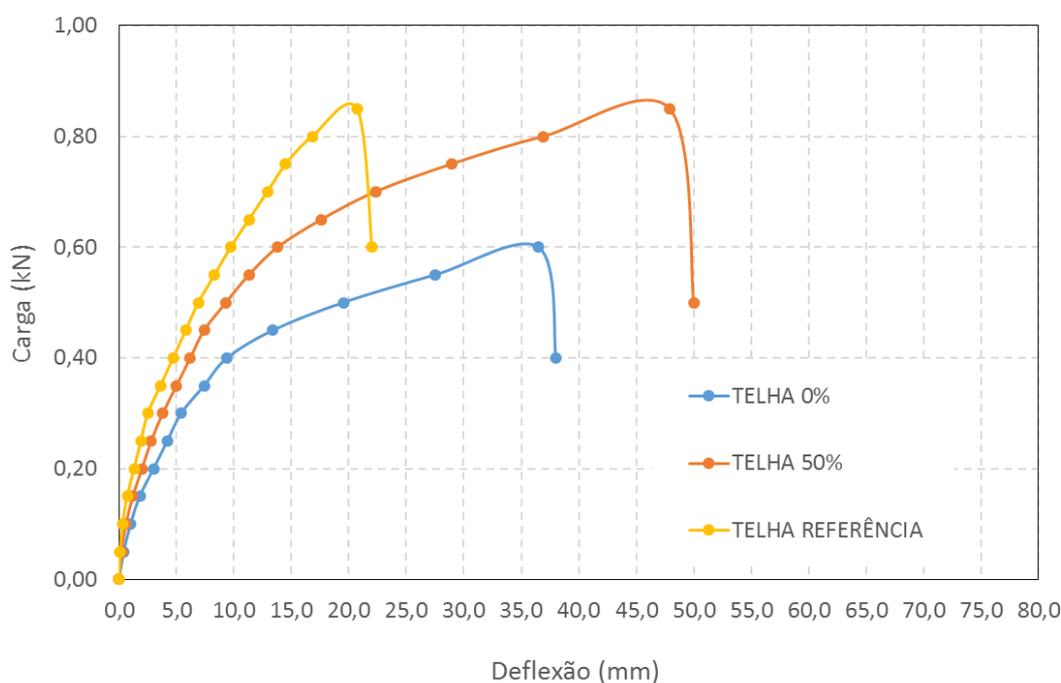


Figura 4.12 – Ensaio de flexão: comparativo de deflexão entre as telhas.

O gráfico mostra que a telha 0% foi rompida com uma carga 0,60 kN (equivalente a 60 kg) e uma deflexão de 37 mm, já a telha 50% foi rompida com uma carga 0,85 kN (equivalente 85 kg) e uma deflexão de 48 mm, a telha referência também foi rompida com uma carga de 85 kg, porém a deflexão foi menor com apenas 21 mm.

A Figura 4.13 mostra o estado final das telhas após o seu rompimento no ensaio de flexão.

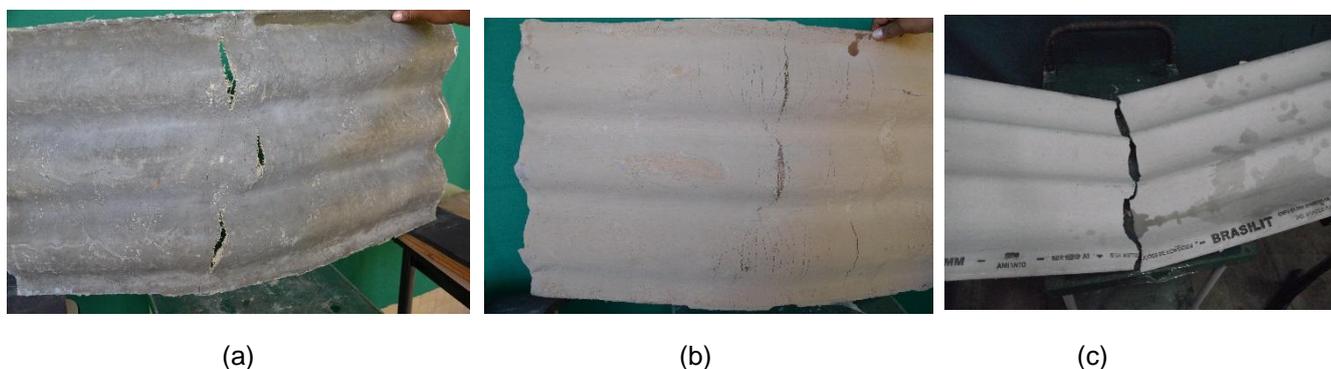


Figura 4.13 – Ensaio de flexão da telha: (a) rompimento da telha 0%, (b) rompimento da telha 50%, (c) rompimento da telha referência.

Pode ser observado que as telhas 50% apresentaram mais fissuras e com menor espaçamento entre elas, provavelmente pela não degradação das fibras. Comparando as telhas reforçadas com tecido de fibra de juta e malva com a telha referência sem amianto, pode-se observar que as telhas reforçadas com tecido de fibra de juta e malva apresentaram maiores capacidade de deformação, destacando que a telha com adição de 50% de metacaulinita (de tijolo moído), além de apresentar o maior número de fissuras também apresentou maior deflexão, sendo 128,6 % superior a telha referência sem amianto, apesar do rompimento com a mesma carga.

Pode-se destacar ainda que a telha referência não apresentou fissuras visíveis durante o ensaio, havendo uma ruptura brusca da telha, possivelmente por conta da disposição dispersa das fibras na matriz.

#### 4.6.5 Ensaio de resistência ao impacto na telha

Os corpos de prova foram avaliados e classificados com a Tabela 4.7, de acordo com o estabelecido na ABNT NBR 15575-5:2013.

Tabela 4.7 - Classificação das perfurações e formação de trincas.

<b>Nota</b>	<b>Classificação</b>
1	Perfuração e ocorrência de trincas na telha facilmente visível.
2	Perfuração e ocorrência de trincas na telha, visível a olho nu.
3	Leve marca na telha, porém sem apresentar perfuração e ocorrência de trincas possível na telha, pouco visível a olho nu.
4	Nenhuma perfuração, nenhuma marca e sem ocorrência de trincas.

A Tabela 4.8 apresenta os resultados dos testes de impacto com as referidas alturas e energias, identificando se a telha sofreu ou não perfuração, marca ou ocorrência de trincas.

Tabela 4.8 – Resultados de energia de impacto.

<b>Esfera</b>	<b>Distância e Energia do Impacto</b>	<b>Telha</b>	<b>Análise Visual</b>
<b>m1</b>	Altura do lançamento - 3,0 m Energia de impacto - 6,2 J	0%	Nota 4
		50%	Nota 4
		Referência	Nota 4
	Altura do lançamento - 4,0 m Energia de impacto - 8,2 J	0%	Nota 3
		50%	Nota 3
		Referência	Nota 3
<b>m2</b>	Altura do lançamento - 3,0 m Energia de impacto - 11,6 J	0%	Nota 3
		50%	Nota 3
		Referência	Nota 2
	Altura do lançamento - 4,0 m Energia de impacto - 15,4 J	0%	Nota 3
		50%	Nota 3
		Referência	Nota 1

Os resultados dos testes com 6,2 J de energia de impacto a uma altura de 3,0 metros, mostram que as telhas não sofreram nenhuma perfuração, marca ou ocorrência de trincas. Posteriormente foi realizado ensaio à uma altura de 4,0 metros com energia de 8,2 J de impacto, todas as telhas sofreram uma leve marca no local do impacto da esfera, porém sem apresentar perfuração e com ocorrência de trincas em sua extensão, mas pouco visível a olho nu.

Com 11,6 J de energia de impacto e com a esfera m<sub>2</sub> as telhas de 0% e 50% reforçadas com tecido de fibra de juta e malva sofreram uma leve marca na telha, porém sem apresentar perfuração e ocorrência de trincas na telha, mas pouco visível a olho nu, porém, as telhas referências, sem amianto, sofreram perfuração e ocorrência de trincas na telha, visível a olho nu.

A uma altura de 4,0 metros os resultados obtidos com os testes com 15,4 J de energia de impacto, onde as telhas de 0% e 50% reforçadas com tecido de fibra e juta

e malva sofreram também uma leve marca na telha, porém sem apresentar perfuração e ocorrência de trincas na telha, pouco visível a olho nu, porém, as telhas referências, sem amianto, sofreram perfuração e ocorrência de trincas na telha facilmente visível.

Os resultados obtidos neste ensaio são de análise visual, os níveis de avaria causada com os impactos das esferas maciças lançadas estão apresentados na Figura 4.14 (a) para a telha de 0% sem perfurações, Figura 4.14 (b) para telha 50% que também não apresentou perfurações para nenhuma energia gerada pela queda das esferas e na Figura 4.14 (c) é mostrada a telha referência onde houve perfurações com a queda da esfera  $m_2$ .

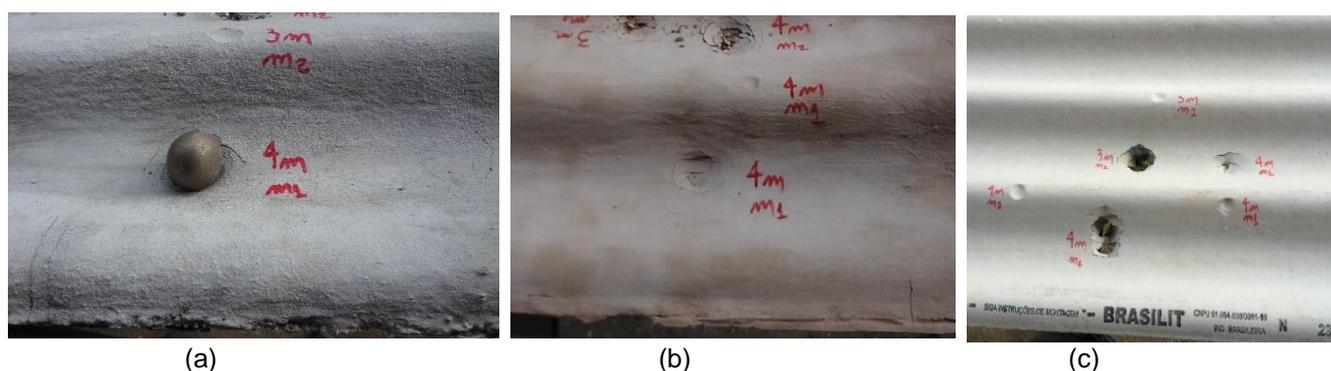


Figura 4.14 – Ensaio de resistência ao impacto: (a) demarcação das zonas de impacto das esferas  $m_1$  e  $m_2$  na telha 0%, (b) demarcação das zonas de impacto das esferas  $m_1$  e  $m_2$  na telha de 50%, (c) demarcação das zonas de impacto das esferas  $m_1$  e  $m_2$  na telha de referência.

Com base nos ensaios realizados, pode-se observar que nas telhas referências, sem amianto, os danos por impacto foram maiores com o acréscimo da energia, dada pelo aumento da massa da esfera e da altura do lançamento, enquanto que as telhas reforçadas com tecido de fibra de juta e malva não sofreram em nenhum caso perfurações, apenas leve marca em suas superfícies, porém sem apresentar perfuração e ocorrência de possíveis trincas na telha, pouco visível a olho nu, provavelmente os reforços com fibras além de ganho na capacidade de absorção de

energia, o tratamento melhorou o comportamento de formação de fissuras, e ainda uma boa aderência fibra-matriz.

## Capítulo 5

---

### Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

## 5 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

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

- O uso do resíduo de tijolo moído em substituição ao cimento, apresentou bons resultados em todos os ensaios mecânicos e físicos, os quais possibilita, portanto, apontar o grande potencial dessa substituição, fato que atinge os objetivos desejados.
- O comportamento do compósito evidenciou a importância do uso do resíduo cerâmico, pois, além de ser um material de baixo custo, contribuiu para a redução do cimento Portland, que é o material mais caro e mais poluente da matriz, diminuindo os custos finais em sua produção.
- O tecido de fibras de juta e malva, baseado no estudo desenvolvido neste trabalho, apresentam características ideais para seu uso como reforço à matriz cimentícia, visando resistência, aplicabilidade e facilidade em seu manuseio.
- A escolha adequada da matriz empregada na produção de compósitos reforçados com tecido de fibra de juta e malva foi confirmada nos resultados apresentados na análise termogravimétrica. A substituição parcial do cimento por 50% de metacaulinita produzida do resíduo de tijolo moído proporcionou maior consumo do hidróxido de cálcio aos 28 dias. Uma matriz com menor consumo de cimento é favorável não só às fibras vegetais, as quais sofrem

degradação em ambiente alcalino, mas também ao meio ambiente, pois a produção de cimento é responsável por alta emissão de CO<sub>2</sub>.

- A caracterização mecânica dos compósitos a partir dos ensaios de tração direta, tração na flexão em quatro pontos apresentaram resultados satisfatórios. Com o número de 2 camadas de tecido de fibras tratadas e adição de 50% de metacaulinita houve formação de fissuras e maiores valores de tensão última, em relação ao compósito sem substituição cimento.
- No ensaio de permeabilidade, na telha 50% não foi identificada nenhuma mancha ou gotas, mostrando desempenho superior as telhas sem resíduo cerâmico e de referência, isso foi associado à não degradação das fibras impermeabilizadas e a utilização do resíduo cerâmico, que produziu uma matriz mais densa com a diminuição dos poros, do índice de vazios e da absorção de água.
- A telha produzida à 50% teve um comportamento superior na flexão em relação a telha referência, apesar de serem rompidas com a mesma carga de 85 kg, a telha 50% apresentou uma deflexão de 19 cm, cerca de 72% superior a deflexão da telha referência.
- Quanto à resistência ao impacto nas telhas, as de 50% apresentaram os melhores resultados, não apresentando nenhuma perfuração nas alturas de 3 m e 4 m. Os reforços com fibras além de ganho de capacidade de absorção de energia, onde possivelmente o tratamento melhorou o comportamento de

formação de fissuras, na telha referência os danos foram maiores, ocorrendo fissuras visíveis e até perfurações.

Apesar dos bons resultados encontrados, mais estudos devem ser realizados, segue abaixo algumas sugestões para pesquisas futuras:

- Para que a utilização desse compósito seja viável, deve-se buscar alteração e/ou aperfeiçoamento da técnica de moldagem e aplicação de outros tratamentos nas fibras.
- Estudar a durabilidade química, adotando períodos de envelhecimento acelerado e natural, na matriz com substituição parcial de cimento. O estudo sobre durabilidade térmica pode ser realizado, a fim de se avaliar o comportamento da matriz e o comportamento mecânico dos compósitos em altas temperaturas. É também importante a investigação do comportamento físico dos compósitos quanto à absorção total, absorção capilar e retração, pois esses estudos são importantes no estudo da durabilidade.
- A investigação da degradação das fibras é necessária, visto o comportamento mecânico dos compósitos com matriz apenas de cimento. Deve ser avaliado como o meio alcalino e elevadas temperaturas afetam sua estrutura.

- Além disso, para trabalhos futuros sugere-se a produção de compósitos têxteis com número maior de camadas de fibras de juta e malva. A fibra de juta e malva apresenta boa resistência mecânica. Espera-se que com a adição de mais camadas de tecido de fibras em compósitos têxteis provoquem aumento no valor de tensão de primeira fissura e promova expansão da região de formação de múltiplas fissuras.
- Outra sugestão é o desenvolvimento de um novo tecido com diferente geometria, mais adequada para aplicação em matriz cimentícia, uma vez que a geometria do tecido afeta a adesão fibra-matriz, devido aos complexos mecanismos de interação entre fibra e matriz em compósitos têxteis.

# Referências Bibliográficas

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 45:2006. Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 46:2003. Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 49:2001. Agregado fino - Determinação de impurezas orgânicas.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 65:2003. Cimento portland - Determinação do tempo de pega.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 248:2001. Agregados - Determinação da composição granulométrica.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5736:1991. Cimento Portland Pozolânico. Especificações.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5752:92. Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211:2005. Agregados para concreto - Especificação.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7215:1996. Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7218:2010. Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8522:2008, Concreto - Determinação do módulo de estático de elasticidade à compressão.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11579:2012. Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200).

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12653:2014. Materiais pozolânicos – Requisitos.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15210-2:2005. Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios – Parte 2: Ensaios.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-5:2013. Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de cobertura.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Guia básico de utilização do cimento portland. 7.ed. São Paulo, 2002. 28p. (BT-106).

AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H. Uso de materiais alternativos à base e fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: Seminário Iberoamericano 1997 de materiais Fibrorreforçados, 1., y Reunión Proyecto PIP VIII.5 Cytel, 3., Cali, 1997. Memoriais. Cali, Universidad Del Valle, 1997. P.23-40 (Artículo 03).

AGOPYAN, V.; SAVASTANO Jr., H.; JOHN, V.M.; CINCOTTO, M.A. Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. *Cement & Concrete Composites*; 27:527-536.2005.

ARDANUY, M., CLARAMUNT, J., GARCÍA-HORTAL, J. A., BARRA, M., 2011, "Fiber-Matrix Interactions in Cement Mortar Composites Reinforced with Cellulosic Fibers", *Cellulose*, v. 18, pp. 281–289.

ANJOS. M A. S. "Compósitos à base de cimento reforçado com polpa celulósica de bambu. Parte II: Uso de resíduos cerâmicos na matriz" *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.2, pp.346-349, 2003.

AZIZ M. A., PARAMASIVAM P. and LEE S. L., "Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction". *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, V. 3, No 2, Singapura, 1981.

AZZINI, A.; SALGADO, A.L.B.; BENATTI JR., R.; COSTA, A.A. Caracterização tecnológica de espécies liberianas para o estabelecimento de métodos de análise quantitativa de fibras. *Bragantina*, v.52, n.1, p.27-32, 1993.

BALDINE, F. P. Et al. Comportamento das mantas autoprotégidas ao impacto nas chuvas de granizo. Disponível em [http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2013/08/9-17.06\\_15H45\\_831\\_Comportamento-das-mantas-auto-protegidas...pdf](http://www.casadagua.com/wp-content/uploads/2013/08/9-17.06_15H45_831_Comportamento-das-mantas-auto-protegidas...pdf). Acesso em 18 de novembro 2016.

BERNARDI, Stefania Tesi. Avaliação do Comportamento de Materiais Compósitos de Matrizes Cimentícias Reforçadas com Fibras de Aramida Kevlar. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre –RS. Outubro de 2003.

BRANDT, A. M., 2009, *Cement-Based Composites*, 2nd edition, Taylor and Francis, New York.

CALLISTER, W.D.JR. *Materials Science and Engineering: na introduction*. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1997. 852 p.

CALLISTER, W.D.Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5ª. Edição. LTC Editora. Rio de Janeiro, 2000;

CATÁLOGO ETERNIT. Técnico fibrocimento. Disponível em: <<http://www.eternit.com.br/downloads/catalogos/catalogo-eternit-fibrocimento.pdf>>. Acesso em: 19 mar 2016.

COOPERATIVA MISTA AGROPECUÁRIA DE MANACAPURU – COOMAPEM . Disponível em: < <http://www.coomapem.coop.br>>. Acesso em 23 junho 2015.

CLARAMUNT , J., ARDANUY, M., GARCÍA-HORTAL, J. A., TOLEDO FILHO, R. D., 2011, “The Hornification of Vegetable Fibers to Improve the Durability of Cement Mortar Composites”, Cement & Concrete Composites, v. 33, pp. 586–595.

COOPERJUTA – COOPERATIVA DOS JULTICULTORES DO AMAZONAS.

CORRÊA, M.P. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas 6v. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1984

COSTA, C. E. S., “Imobilização do Resíduo da Fabricação do Sulfato de Alumínio em Matrizes Cerâmicas Parte 1: Comportamento Mecânico” NOCMAT, Novembro, 2004.

COUTTS, R. S. P., 1987, “Fibre-matrix interface in air-cured wood-pulp fibre-cement composites”, Journal of Materials Science Letters , v. 6, pp. 140-142.

COUTTS R. A review of Australian research into natural fibre cement composites. Cem Concr Compos 2005;27:518–26.

CRUZ, G.L. Livro verde das plantas medicinais e industriais do Brasil. Belo Horizonte: [s.n.], 1965. v.2. 866p.

DEFOIRDT, N., BISWAS, S., VRIESE, L., TRAN, L. Q. N., ACKER, J. V., AHSAN, Q., GORBATIKH, L. VUURE, A. V., VERPOEST, I., 2010, “Assessment of the Tensile Properties of Coir, Bamboo and Jute Fibre”, *Composites: Part A*, v. 41, pp. 588–595.

DITTENBER, D. B., GANGARAO, H. V. S., 2012, “Critical Review of Recent Publications on Use of Natural Composites in Infrastructure”, *Composites: Part A*, Article in Press.

DWECK, J., BUCHLER, P. M., COELHO, A. C. V., CARTLEDGE, F. K., 2000, “Hydration of a Portland Cement Blended with Calcium Carbonate”, *Thermochimica Acta*, v. 346, pp. 105-113.

DWECK, J., CUNHA, A. L. C., PINTO, C. A., GONÇALVES, J. P., BÜCHLER, P. M., 2009, “Thermogravimetry on Calcined Mass Basis – Hydrated Cement Phases and Pozzolanic Activity Quantitative Analysis”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v.97, pp. 85-89.

ESTRELA, C; PÉCORRA, J. D. Características químicas do hidróxido de cálcio. Programa incentivo à produção de material didático. Pró-reitorias de graduação e pós-graduação da USP, 1997. Disponível em: <<http://www.forp.usp.br/restauradora/calcao/quimica.htm>>. Acesso em: 25 março 2016.

FAELLA, C., MARTINELLI, E., NIGRO, E., PACIELLO, S., 2010, “Shear Capacity of Masonry Walls Externally Strengthened by a Cement-Based Composite Material: An Experimental Campaign”, *Construction and Building Materials*, v. 24, pp. 84-93.

FAGURY, R. V. G., Avaliação de Fibras Naturais para a Fabricação de Compósitos: Açaí, Coco e Juta, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Mecânica) - Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

FERREIRA, S. R. Influência do tratamento de molhagem e secagem na aderência fibra-matriz e no comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados randomicamente com fibras de sisal. 2012. 158p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro- COPPE, Rio de Janeiro.

FIDELIS, M. E. A., 2014, Desenvolvimento e Caracterização Mecânica de Compósitos Cimentícios Têxteis reforçados com fibras de Juta, Tese Doutorado, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

GONÇALVES, J. P., “Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental e contendo argila calcinada e areia artificial”, Tese de doutorado PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

GOPINATH, S., KUMAR, V. R., SHETH, H., MURTHY, A. R., IYER, N. R., 2014, “Pre-Fabricated Sandwich Panels using Cold-Formed Steel and Textile Reinforced Concrete”, *Construction and Building Materials*, v. 64, pp. 54-59.

GOWDA, T. M., NAIDU, A. C. B., CHHAYA, R., 1999, “Some Mechanical Properties of Untreated Jute Fabric-Reinforced Polyester Composites”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 30, pp. 277-284.

HOLLAND, T. C. Silica Fume User’s Manual. Lovettsville: Silica Fume Association, 2005. Report No. FHWA-IF-05-016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CRISOTILA - IBC. Disponível em: <<http://ibcbrasil.org.br>>. Acesso em: 19 mar 2016.

LEÃO, A. Secretário executivo do Instituto de Fibras da Amazônia – IFIBRAN. Produção de juta e malva envolve 15 mil famílias no norte do país. Revista Globo

Rural. Globo, 2010. Entrevista concedida a Luis Roberto Toledo. Disponível em: <  
<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT146775-18078,00.html>  
Acesso em: 12 março 2016.

LIMA, P. R. L. Análise teórica e experimentos reforçados com fibras de sisal. 2004. 263p. Tese (Doutorado em ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE, Rio de Janeiro.

LUZ, A. B., CAMPOS, A.R., CARVALHO, E.A. e BERTOLINO, L.C., Caulim. In Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações. Ed. Luz, A. B. e LINS, F.A.F. CETEM/MCT. Rio de Janeiro, pp.231-262, 2005.

MANTUANO NETTO, Rafael. MATERIAIS POZOLÂNICOS. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG Disponível em [http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia\\_Materiais\\_Pozolanicos.pdf](http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/Monografia_Materiais_Pozolanicos.pdf). Acesso em 10 set. 2015.

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.

MARCON, M. V. et al. Pectins from Apple Pomace. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 15 n. 2, p. 127-129, 2005.

MARQUES, M.G.S. Caracterização das Propriedades da Fibra Vegetal de Arumã para Aplicação como Reforço à Matriz Cimentícia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2009.

MARTINS NETO, S. F. Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades mecânicas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica na área de Materiais e Processos de Fabricação) - Universidade Federal do Pará – UFPA.

MEDINA, J.C. Plantas fibrosas da flora mundial. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1959. 913p.

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

MELO FILHO, J. A., 2005, Desenvolvimento e Caracterização de Laminados Cimentícios Reforçados com Fibras Longas de Sisal, Dissertação de Mestrado, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

MELO FILHO, J.A., SILVA, F.A., TOLEDO FILHO, R.D., FAIRBAIRN, E.M.R., 2007, “Effect of Reinforcement Ratio and Molding Pressure on the Mechanical Performance of Short Sisal FRC”, In: 4th International Conference on Science and Technology of Composite Materials, Rio de Janeiro – RJ.

MELO FILHO, J. A., 2012, Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal, Tese Doutorado, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

MELO FILHO, J.A., SILVA, F.A., TOLEDO FILHO, R.D., 2013, “Degradation Kinetics and Aging Mechanisms on Sisal Fiber Cement Composite Systems”, Cement & Concrete Composites, v.40, pp. 30-39.

MOTHÉ, C. G., ARAUJO, C. R. Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curuá. Polímeros: Ciência e Tecnologia. v.14, n.4, p.274–278, 2004. Disponível em <http://www.scielo.br/pdf/po/v14n4/22073.pdf>. Acesso em 12 de março 2016.

MONTARDO, J. P. Fibras sintéticas para concreto e argamassa. Março 2011. Disponível em: <<http://www.obra24horas.com.br/artigos/revestimentos/fibras-sinteticas-para-concreto-argamassa>>. Acesso em: 12 março 2016.

MOHAN, D.; PITMAN, C. U.; STEELE, P. H.; (2006), *Energy Fuels*, 20, 848.

MONTEIRO, S. N. ; MARGEM F.M. ; SANTOS, L F L. ; Impact resistance of polyester composites reinforced with ramie waste fibers. In: *Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology - REWAS 2008*, 2008, Cancun, Mexico. *Proceedings of the 2008 Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology - REWAS 2008*. Warrendale, PA, EUA : The Minerals, Metals & Materials Society (TMS), 2008. v. 1. p. 505-510.

NEVES JUNIOR, A., TOLEDO FILHO, R. D., FAIRBAIRN, E. M. R., DWECK, J., 2012, “ Early Stages Hydration of High Initial Strength Portland Cement Part I. Thermogravimetric Analysis on Calcined Mass Basis”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 108, pp. 725-731.

OLIVEIRA, I., R.C. Propriedades mecânicas, físicas e químicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras longas de juta e de malva. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil da Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2013.

OLIVEIRA, M. P. de, BARBOSA, N. P. Potencialidades de um caulim calcinado como material de substituição parcial do cimento portland em argamassas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.10, n.2, p.490–496, 2006. Disponível em [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662006000200034](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000200034). Acesso em 12 de março 2016.

ROCHA, G. G. N. Caracterização Microestrutural do Metacaulim de Alta Reatividade. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte, 2005. Universidade Federal de Minas Gerais, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas.

ROCHA, C. A. A., CORDEIRO, G. C., TOLEDO FILHO, R. D., 2013, "Influence of Stone Cutting Waste and Ground Waste Clay Brick on the Hydration and Packing Density of Cement Pastes", *Ibracon Structures and Materials Journal*, v.6, pp. 661-680.

RODRÍGUEZ-CAMACHO, R. E., URIBE-AFIF, R. "Importance of using the natural pozzolans on concrete durability" *Cement and Concrete Research* v. 32, pp. 1851–1858, 2002.

RODRIGUES, C. S., GHAVAMI, K., STROEVEN, P., 2010, "Rice Husk Ash as a Supplementary Raw Material for the Production of Cellulose–Cement Composites with Improved Performance", *Waste Biomass Valor*, v. 1, pp. 241–249.

ROMERO, L. L. Et al. *Fibras artificiais e sintéticas*. Disponível em [http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set105.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set105.pdf). Acesso em 12.03.2016

ROY D. M., ARJUNAN P, SILSBEE M.R., "Effect of silica fume, metakaolin, and lowcalcium fly ash on chemical resistance of concrete". *Cement and Concrete Research*, v. 31, pp.1809–1813, 2001.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F.; *Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. Composites: Part A*, v. 38, p. 1694-1709, 2007.

SAVASTANO Jr. H., AGOPYAN, V. *Fibras naturais para produção de componentes construtivos. Curso Internacional Materiales Compuestos Fibrorreforzados, Universidad Del Valle/Cyted Proyecto, Cali, Colombia, 1998.*

SAVASTANO Jr. H. *Sistema de cobertura para construção de baixo custo: uso de fibras vegetais e de outros resíduos agroindustriais*. 2000. 144p. Tese (Livredocência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO Jr, H. Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo. 144p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000

SAVASTANO Jr, Holmer; PIMENTEL, Lia Lorena Pimentel. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de Fibras vegetais para fins de obtenção de Material de construção. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.103-110, 2000. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

SAVASTANO Jr., H., JOHN, V. M., AGOPYAN, V., GATTO, E. G. Developing waste cellulose fiber reinforced composites with clinker free cement. Proceedings of International Conference on Non-Conventional Materials and Technologies NOCMAT-3, Hanoi, 12-14 march 2002.

SAVASTANO Jr, Holmer; SANTOS, Sérgio dos. Uso de resíduos de fibra vegetal em construção 2008.

SAVASTANO Jr., H., SANTOS, S. F., RADONJIC, M., SOBOYEJO, W. O., 2009, “Fracture and Fatigue of Natural Fiber-Reinforced Cementitious Composites”, Cement & Concrete Composites, v. 31, pp. 232–243.

SILVA, O. R. R., BELTRÃO, N. E. M “O agronegócio do Sisal no Brasil” Brasília: Embrapa-SPI; Campina Grande: Embrapa-CNPA, 1999.

SILVA, A. C. “Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose”. Tese de mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil/EPUSP. – São Paulo, 2002.

SILVA, R. V., Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. Ciência e Engenharia de Materiais/USP, São Carlos, 2003.

SILVA, F. A., “Tenacidade de materiais compósitos não convencionais”. Tese de Mestrado PUC, Departamento de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, F. A., Durabilidade e Propriedades Mecânicas de Compósitos Cimentícios Reforçados por Fibras de Sisal, Tese de Doutorado, PEC/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, F. A., TOLEDO FILHO, R. D., MELO FILHO, J. A., FAIRBAIRN, E. M. R., 2010, “Physical and Mechanical Properties of Durable Sisal Fiber–Cement Composites”, *Construction and Building Materials*, v. 24, pp. 777-785.

SOUZA, N.C.G, 2008. Indústria e desenvolvimento na região bragantina: o caso da Companhia Têxtil de Castanhal (CTC). Seminário Internacional - Amazônia e Fronteiras do Conhecimento. Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

SOUZA FILHO, 2012. Concreto Autoadensável e de Alto Desempenho Produzido com Fibras de Polipropileno e Materiais Disponíveis na Região Metropolitana de Manaus, Dissertação de Mestrado, PPGEC/UFAM, Manaus.

SYMINGTON, M. C., BANKS, W. M., WEST, O. D., PETHRICK, R. A., 2009, “Tensile Testing of Cellulose Based Natural Fibers for Structural Composite Applications”, *Journal of Composite Materials*, v. 43, pp. 1083-1108.

SWAMY, R.N. Vegetable fiber reinforced cement composites - a false dream or a potential reality? In: International Symposium on Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials, 2, Salvador, 1990, Proceedings. [S.I.], Chapman and Hall, p.3-9.

TEZUCA, Y. Concreto armado com fibras. 2. ed. São Paulo: ABCP, 1989.

THOMAS, S., 2007, “Thermal Degradation and Ageing Behavior of Microcomposites of Natural Rubber, Carboxylated Styrene Butadiene Rubber Latices, and Their Blends”, *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 105, pp. 341–351.

TOLEDO, L. R. Produção de juta e malva envolve 15 mil famílias no norte do país. Revista Globo Rural. Globo, 2010. Disponível em: < <http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT146775-18078,00.html> Acesso em: 12 março 2016.

TOLEDO FILHO, R. D. "Materiais Compósitos Reforçados com Fibras Naturais: Caracterização Experimental". Tese de Doutorado, DEC-PUC-Rio / DEC-Imperial College-Londres, Rio de Janeiro, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D., SCRIVENER, K., ENGLAND, G. L., GHAVAMI, K., 2000, "Durability of Alkali-Sensitive Sisal and Coconut Fibres in Cement Mortar Composites", Cement & Concrete Composites, v. 22, pp. 127-143.

TOLEDO FILHO, R. D., GHAVAMI, K., ENGLAND, G. L., SCRIVENER, K., 2003, "Development of Vegetable Fibre–Mortar Composites of Improved Durability", Cement & Concrete Composites, v. 25, pp. 185–196.

TOLEDO FILHO, R. D., SILVA, F. A., FAIRBAIRN, E. M. R., MELO FILHO, J. A., 2009, "Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates", Construction and Building Materials, v. 23, pp. 2409–2420.

TOLEDO FILHO, R. D., et.al. Physical and mechanical properties of durable sisal fiber–cement composites - Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 5, Maio 2010. Disponível em: < [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat)>. Acesso em: 15 janeiro 2016.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. Construction and Building Materials, [www.elsevier.com/locate/conbuildmat](http://www.elsevier.com/locate/conbuildmat), Agosto 2010.

TONOLI, G.H.D. Aspectos produtivos e análise do desempenho do fibrocimento sem amianto no desenvolvimento de tecnologia para telhas onduladas.

Dissertação de Mestrado. Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2006.

VELASCO, R. V., "Concreto de Alto Desempenho Reforçado com Fibras de Polipropileno e Sisal Submetido a Altas temperaturas". Dissertação de Mestrado, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

VELASCO, R. V., FARAGE, M. C. R., GONÇALVES, J. P. et al., "Desenvolvimento e caracterização mecânica de matrizes a base de cimento para a produção de laminados de baixo impacto ambiental". Jornadas Sud-Americanas de Ingenieria Estructural. Maio, 2004.

VELASCO, R. V., Concretos Autoadensáveis Reforçados com Elevadas Frações Volumétricas de Fibras de Aço: Propriedades Reológicas, Físicas, Mecânicas e Térmicas. Tese de Doutorado, COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 349 p, 2008.

WINKLERPRINS, A. M. G. A., 2006, "Jute Cultivation in the Lower Amazon, 1940–1990: An Ethnographic Account from Santarém, Pará, Brazil", *Journal of Historical Geography*, v. 32, n. 4, pp. 818-838.

YEW, G.H. et al. Water absorption and enzymatic degradation of poly(lactic acid)/rice starch composites. *Polymer Degradation and Stability*. 90,488-500, 2005.

YOUNG, R.A, Fibers (Vegetable). Kirk – Otthmer encyclopedia od chemical Technology 4<sup>o</sup>. Ed. Volume 10. J. Wiley & Sons, Inc. pp 727 – 744, 1994.