



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANGELINA DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO
POZOLÂNICA REFORÇADA COM FIBRA DE CARNAÚBA**

Mossoró/RN
(2014)

ANGELINA DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO
POZOLÂNICA REFORÇADA COM FIBRA DE CARNAÚBA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Marília Pereira de Oliveira – UFERSA.

Mossoró/RN
(2014)

O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade de seus autores

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência**

O44p Oliveira, Angelina do Nascimento.

Propriedades mecânicas de matriz cimentícia com adição pozolânica reforçada com fibra de carnaúba / Angelina do Nascimento Oliveira. -- Mossoró, 2014.

44f.: il.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Marília Pereira de Oliveira.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Pró-Reitoria de Graduação.

1. Mecânica dos materiais. 2. Compósito. 3. Fibra de carnaúba. 4. Pozolana. 5. Resistência à flexão. I. Título.

RN/UFERSA/BCOT /728-14

CDD: 620.1123

Bibliotecária: Vanessa de Oliveira Pessoa
CRB-15/453

ANGELINA DO NASCIMENTO OLIVEIRA

**PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATRIZ CIMENTÍCIA COM ADIÇÃO
POZOLÂNICA REFORÇADA COM FIBRA DE CARNAÚBA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Marília Pereira de Oliveira – UFERSA.

APROVADA EM: 30 / 07 / 2014

BANCA EXAMINADORA

Marília Pereira de Oliveira

Prof.^a Dra. Sc. Marília Pereira de Oliveira – UFERSA
Presidente

Marineide Jussara Diniz

Prof.^a Dra. Sc. Marineide Jussara Diniz - UFERSA
Primeiro Membro

Rejane Ramos Dantas

Prof.^a Dra. Sc. Rejane Ramos Dantas - UFERSA
Segundo Membro

DEDICATÓRIA

A todos da minha família e amigos, em especial aos meus pais, Francisco Sebastião e Maria Sônia, aos meus irmãos e a minha amada avó Maria de Lurdes que sempre acreditaram que conseguiria alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, que me deu força e coragem para ir em busca dos meus sonhos. Por ter me abençoado a cada dia através do seu imenso amor, sem Ele não teria chegado até aqui e por isso minha enorme gratidão.

Aos meus pais e minha família, de onde retiro forças para continuar e pelos quais luto para alcançar meus objetivos.

A toda a minha família, em especial aos meus irmãos Henrique Antônio do Nascimento Oliveira e Humberto Luiz do Nascimento Oliveira pelo incentivo e apoio.

A minha orientadora Marília Pereira de Oliveira, pela excelente orientação, por colaborar nesse projeto, pela paciência, amizade e companheirismo que me dedicou na realização deste trabalho.

A todos os meus amigos, em especial a David Fernandes, Carlos Jorge, Diego Souza, Ruan Landolfo, Isabely Keyva, Francisco Iramar, por colaborarem nesse projeto, pelo o incentivo e ajuda.

Aos colegas pela amizade, compreensão e incentivos dedicados durante esta pequena etapa de nossa convivência.

A todos, que de alguma forma contribuíram para a concretização deste sonho.

RESUMO

Em decorrência da pouca resistência das matrizes à base de cimento Portland visto que ocorre o aparecimento de fissuras devido aos esforços sofridos pela matriz dos compósitos cimentícios, como os de tração e flexão, busca-se um material que proporcione melhorias a essa característica. Uma alternativa satisfatória é o uso de fibras vegetais, que além de propiciar o aumento da resistência a tração, flexão, de impacto, retardar o aparecimento de fissuras e aumentar a capacidade de absorção de energia é um material econômico e bastante sustentável. O presente trabalho tem o intuito de avaliar as propriedades mecânicas de compósitos cimentícios produzidos com fibras de carnaúba e adição de pozolana. Para tanto, foram moldados corpos de prova prismáticos, com percentuais da fibra de carnaúba de 4%, em argamassa com traço 1:1,5 e relação água/cimento de 0,45. Além disso, foram adicionados diferentes percentuais de pozolana, com a intenção de fazer o comparativo com as amostras de referência e observar o comportamento mecânico desses compósitos com a presença da pozolana. Após o período de cura de 28 dias foram realizados ensaio de resistência à flexão em três pontos.

Palavras-chave: Compósito. Pozolana. Fibra de carnauba. Resistência à flexão.

ABSTRACT

Due to the low resistance of the arrays based on Portland cement since occurring the appearance of cracks due to suffered efforts by the cementitious composites matrix, such as tensile and flexural, seeks a material that provides improvements to this feature. A satisfactory alternative is the use of plant fibers, which addition to providing increased resistance to tensile, flexural, impact, delay the appearance of cracks and increase the capacity of energy absorption is an economical and very sustainable material. This study aims to evaluate the mechanical properties of cementitious composites made with carnauba fibers and addition of pozzolans. To do so, prismatic molds, with percentages of fiber carnauba 4% mortar with stroke 1:1.5 and water / cement ratio of 0.45. In addition, was added different percentages of pozzolan, with the intention of making a comparative with the reference samples and observe the mechanical behavior of these composites with the presence of pozzolan. After the cure period of 28 days were conducted flexural test in three point.

Keywords: Composite.Pozzolan. Carnauba fiber. Flexural strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos materiais compósitos.....	25
Figura 2 - Macroestrutura do concreto.	27
Figura 3 - Fibras de vidro.	29
Figura 4 - Classificação e alguns exemplos de fibra.	30
Figura 5 - Representação esquemática de uma microfibrila.....	33
Figura 6 - Carnaúba Coperniciaprunifera.	37
Figura 7 - Processo de moagem e peneiramento da pozolana.	40
Figura 8 - Materiais utilizados na produção dos compósitos.	41
Figura 9 - Programa experimental.	42
Figura 10 - a) Fibras ainda nas folhas b) Fibras separadas das folhas e cortadas em 20 mm.	43
Figura 11 - (a) Layout do molde; (b) Molde de madeira.	43
Figura 12 - Compósito (a) Mistura de cimento, areia e pozolana; (b) Mistura dos materiais com a adição de fibra.	44
Figura 13 - Sequência de moldagem dos corpos de prova.	44
Figura 14 - Corpos de prova (a) No período de cura; (b) Após a cura.	45
Figura 15 - Esquema estático do ensaio de flexão.....	46
Figura 16 - Ensaio de flexão (a) Preparação para ensaio de resistência a flexão (b) Rompimento do corpo de prova (c) Corpo de prova rompido (d) Estado final do corpo de prova.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades da matriz de cimento Portland comum.	27
Tabela 2 - Porcentagem média retida acumulada da areia.	48
Tabela 3 - Características físicas do agregado miúdo.	49
Tabela 4 - Resultados da resistência à flexão e deformação.	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia.	49
Gráfico 2 - Tensão de dobramento versus deformação dos compósitos de referência.....	50
Gráfico 3 - Curva tensão versus deformação dos compósitos com 25% de pozolana.	51
Gráfico 4 - Curva tensão versus deformação dos compósitos com 35% de pozolana.	51
Gráfico 5 - Curva tensão versus deformação dos compósitos com 45% de pozolana.	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
2. OBJETIVOS	24
2.1 OBJETIVOS GERAIS	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
3.1 COMPÓSITOS	25
3.2 MATRIZES À BASE DE CIMENTO	Erro! Indicador não definido.
3.3 FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS	28
3.4 FIBRAS VEGETAIS	29
3.4.2 Compósitos de Argamassa De Cimento Reforçado Com Fibras Vegetais.	33
3.4.3 Durabilidade Das Fibras Vegetais Em Compósitos Címentícios	34
3.4.4 Ataque Alcalino Às Fibras	35
3.4.5 Tratamento Alcalino em Fibras Vegetais	35
3.4.6 Fibras de Carnaúba	36
4. METODOLOGIA	39
4.1 MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1.1 Cimento Portland	39
4.1.2 Agregado Miúdo	39
4.1.3 Água	39
4.1.4 Fibras de Carnaúba	40
4.1.5 Pozolana	40
4.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL	41
4.3 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS	42
4.4 ENSAIOS	45
4.5.1 Ensaio de resistência em três pontos	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA	48
5.2 RESISTÊNCIA À FLEXÃO.....	49
6. CONCLUSÕES	54
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE ABREVIACES

ABNT - Associao Brasileira de Normas Técnicas

°C- Grau Celsius

CP- Cimento Portland

C₃A - Aluminato tricálcico

C₄AF - Ferroaluminatotetraclcico

C₂S - Sulfato dicálcico

C₃S - Sulfato de tricálcico

h – horas

mm – milímetros

Q - Cargas diversas, em N

NBR – Norma Brasileira

σ_d - Tensão de dobramento, em Mpa

EUA – Estados Unidos da América

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CEPED - Centro de Pesquisa e Desenvolvimento

1. INTRODUÇÃO

O custo de materiais de construção é bastante elevado no Brasil, o que pode ser explicado pelo auto consumo de energia e transporte, além da tendência oligopolista do setor produtivo de materiais básicos (SAVASTANO Jr., 2000). Diante disso, surge a necessidade da busca de matérias-primas de baixo custo que propiciem boa qualidade, estética, produtividade e potencial redutor de impactos da poluição ambiental.

O uso de fibras de origem vegetal tem como forte apelo à possibilidade de produção ambientalmente sustentável já que é de fácil incorporação pela natureza e é uma fonte renovável de matéria prima. Fato que torna seu uso interessante (RIBEIRO, 2005). Segundo Savastano Jr. (2000), fibras naturais como reforço de matrizes frágeis à base de materiais cimentícios, tem despertado grande interesse nos países em desenvolvimento, por causa do seu baixo custo, disponibilidade, economia de energia, e também no que se refere às questões ambientais. Além disso, Lima (2011) afirma que as incorporações de fibras melhoram propriedades mecânicas como o aumento da resistência a tração, à flexão e ao impacto, assim como aumenta a capacidade de absorção de energia.

De acordo com Savastano Jr. (1992), entre os materiais desenvolvidos recentemente, diversos compósitos fibrosos se destacam por seu desempenho mecânico satisfatório, e alguns deles já são aplicados com frequência na construção civil. Em nosso país, há o exemplo do cimento-amianto, com participação expressiva no mercado de coberturas.

O cimento-amianto foi o primeiro material de construção civil reforçado com fibras naturais produzido em escala industrial. No entanto, nas últimas três décadas ele vem sofrendo sérias restrições de uso, devido à constatação de enfermidades provocadas pelas fibras de amianto, como câncer e fibrose pulmonar. Atualmente, todos os países da atual União Européia, Canadá, EUA e México, aboliram o uso do asbesto. No Brasil, a Lei Orgânica de alguns municípios já proíbe o uso de derivados de amianto e, em termos nacionais, já está em fase de discussão no Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), a diminuição do seu emprego (ANJOS *et al*, 2003).

Frente à inadequação do uso do amianto para produção de materiais de construção civil sem riscos à saúde da sociedade, surge a necessidade de encontrar um substituto com propriedades físicas e mecânicas adequadas, que seja ecológico, de baixo custo e com disponibilidade local (ANJOS, 2002). Daí, surge o frequente uso de fibras vegetais na construção civil. O Brasil por ser um país de clima tropical favorece uma diversidade de

cultivos vegetais fornecedores de fibras, aos quais podem ser citadas: fibras de coco, sisal, carnaúba, entre outros. Diante disto, ocorrem vários ensaios com uso de matrizes à base de cimento reforçado com fibras vegetais, na produção de elementos construtivos, um exemplo disso é a produção de telhas.

As matrizes mais utilizadas são aquelas à base de cimento Portland, em decorrência de sua maior resistência mecânica e durabilidade. As fibras, geralmente empregadas em pequenas porcentagens em volume, são curtas e se distribuem aleatoriamente na matriz. Esse reforço, que pode ser bi ou tridimensional, deve resistir a solicitações estáticas ou dinâmicas, porém não substitui a armadura convencional, que tem de resistir aos esforços em certa direção e em região específica da peça estrutural (SAVASTANO, 1992).

Tendo em vista a grande abundância de fibras naturais, com potencial para reforço de compósitos usados na produção de argamassas e concretos para construção civil, e a limitação quanto ao uso da fibra amianto, torna-se imprescindível o conhecimento das potencialidades desses materiais mediante sua caracterização para melhor aplicá-los. Neste trabalho apresentar-se-á o uso de diferentes porcentagens de fibras de carnaúba para reforço de matrizes cimentícias, de modo a produzir materiais que propiciem a produção de elementos construtivos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo estudar a influência da utilização de adições pozolânicas em matrizes cimentícias reforçadas com fibras de carnaúba, analisando-as através da realização de ensaios mecânicos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram assim definidos os objetivos específicos:

- Caracterizar os materiais envolvidos nesse trabalho;
- Confeccionar compósitos com matriz cimentícia modificadas com percentuais de 25%, 35% e 45% de adição pozolânica reforçadas com fibra de carnaúba;
- Analisar as propriedades mecânicas dos corpos-de-prova obtidas através de ensaios de flexão em três pontos.

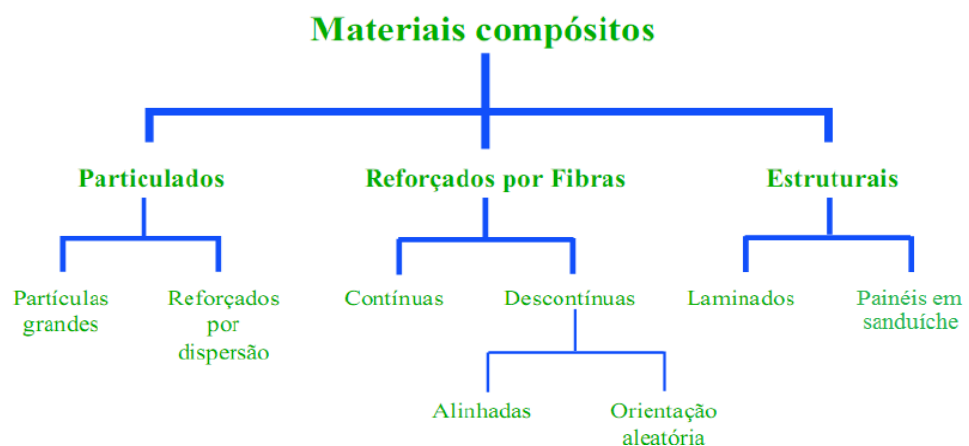
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 COMPÓSITOS

Os materiais compósitos são materiais que surgem a partir da união de dois ou mais materiais distintos, dando origem a um material com propriedades melhoradas em relação a cada um dos componentes isolados. Essa definição de compósitos pode ser resumida na ligação de uma matriz com um reforço. Com a formação desses materiais compósitos se tem uma melhoria em vários aspectos (NETO, 2014). Uma propriedade mecânica bastante interessante para os compósitos é a tenacidade, que determina a capacidade de o material sofrer deformação plástica, absorvendo energia antes de se romper (ESCARIZ, 2008).

De forma geral, considera-se compósito todo material com mais de um constituinte, artificialmente produzido, que ofereça uma significativa parcela das propriedades de todos os materiais que o integram, de forma que a combinação destes gerem propriedades satisfatórias. Existem vários tipos de compósitos, entre os quais se destacam os que são reforçados com fibras, os compósitos laminados e os particulados (Figura 1). Segundo Neto (2014), os compósitos com fibras se dá em função de como as fibras se difundem dentro da matriz, seja de modo disperso ou alinhado. Os laminados são reforçados por diferentes materiais dispostos em camadas na matriz, e os compósitos particulados a matriz é reforçada com partículas de um determinado material.

Figura 1 - Classificação dos materiais compósitos.



Fonte: PIRES (2009).

O desempenho dos compósitos depende especificamente das propriedades dos seus materiais constituintes, da sua distribuição, da fração volumétrica e da interação entre eles. Segundo Neto (2014), as fibras atuam como elementos de reforço, com a finalidade de impor obstáculos à propagação de fissuras, além de funcionar como ponte de transferência dos esforços, garantindo, assim, uma capacidade resistente após a abertura da mesma. Em compósitos reforçados com fibras, a fratura é retardada. A ruptura torna-se um processo progressivo, pois as pontes de passagem formadas pelas fibras retêm parte das solicitações e originam uma fissuração mais distribuída.

A combinação de cimento e fibras para a produção de compósitos duráveis é um grande desafio, mas que se concretizado pode criar um material de construção ecológico, resistente e durável com grande capacidade de renovação, embasada em recursos naturais renováveis (SWAMY, 1990). De acordo com Caetano *et al* (2004), com o aumento do número de fibras, a abertura das fissuras torna-se menor, reduzindo a área total de fissuração.

3.2 MATRIZES À BASE DE CIMENTO

As matrizes cimentícias são compostas de aglomerantes minerais, podendo conter agregados, que dão origem a pastas, argamassas ou concretos. As matrizes mais utilizadas são aquelas à base de cimento Portland e, em menor escala, a cal e o gesso (SILVA *et al*, 2012). O cimento Portland é um aglomerante hidráulico (tanto endurecem com reações com a água, como forma produtos resistentes à água) produzido pela moagem do clínquer com pequena quantidade de sulfato de cálcio, consistindo basicamente de silicatos de cálcio. O clínquer é composto de óxido de cálcio e sílica, alumina e óxido de ferro aquecido em altas temperaturas, cerca de 1400°C. A composição química dos principais minerais do clínquer corresponde aproximadamente a C₃S (Sulfato de tricálcico), C₂S (sulfato dicálcico), C₃A (aluminato tricálcico) e C₄AF (ferroaluminato tetracálcico) no cimento Portland comum, as suas respectivas quantidades estão comumente entre 45 e 60%, 15 e 30%, 6 e 12% e 6 e 8%. Sendo os silicatos de cálcio os principais constituintes do cimento Portland as matérias primas para a produção do cimento, devem suprir cálcio e sílica em formas e proporções adequadas (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

A Tabela 1, apresenta valores de algumas propriedades físicas e mecânicas da matriz de cimento Portland comum.

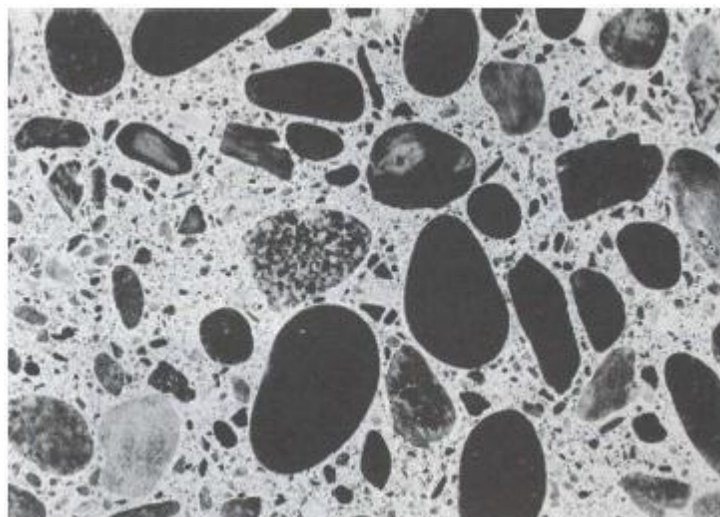
Tabela 1 - Propriedades da matriz de cimento Portland comum.

Matriz	Massa Específica (kg/m³)	Módulo de Elasticidade (KN/mm²)	Resistência à Tração (Mpa)	Deformação à ruptura (%)
Pasta	2000 a 2200	10 a 30	3 a 8	0,01 a 0,05
Argamassa	2100 a 2300	25 a 35	2 a 4	0,005 a 0,015
Concreto	2300 a 2450	30 a 40	1 a 4	0,005 a 0,015

Fonte: (TEZUKA, 1989)

Analisando a seção transversal de um concreto e considerando ele um compósito formado a partir de uma matriz de cimento Portland (Figura 2), as fases que podem ser distinguidas são as do reforço de tamanho e forma variados, e a do meio ligante. Logo, a nível macroscópico esse compósito pode ser classificado como um material bifásico, formado por uma matriz, neste caso matriz cimentícia e por um reforço de partículas de agregados (NETO, 2014).

Figura 2 - Macroestrutura do concreto.



Fonte: METHA & MONTEIRO (1994).

Em compósito à base de cimento, a maior aderência fibra-matriz é conseguida por

meio de melhor desempenho da zona de transição (MORRISON et al, 1988).

A zona de transição ou interface é uma camada delgada, que pode se dá ao redor dos grãos de cimento não hidratados, das adições pozolânicas, das partículas de agregados e das fibras que porventura estejam reforçando os compósitos. A diferença de concentração dos produtos de hidratação do cimento e da distribuição dos vazios na matriz faz com que cada uma das fases dos compósitos ou argamassas seja de natureza multifásica (ANJOS, 2002).

É nesta zona de transição ou interface que acontecem as interações físicas e químicas entre os materiais constituintes do compósito e que interferem no mecanismo de adesão matriz/reforço. Podendo gerar maior ou menor ancoragem do constituinte reforço à matriz (NETO, 2010).

3.3 FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS

As fibras químicas representam uma alternativa criada pelo homem para as necessidades de diversas indústrias. Devido a isso, elas possuem uma excelente aceitação pelo mercado, e que tiveram expandida sua gama de utilização, com aplicações específicas, além de ampliar os usos das fibras naturais. Essas fibras podem ser divididas em artificiais e sintéticas.

As fibras artificiais são produzidas a partir da celulose, substância encontrada na pasta de madeira ou no linter de algodão. E as fibras sintéticas, acrílico, náilon, poliéster, polipropileno e a fibra elastomérica são originárias da petroquímica.

As fibras artificiais foram introduzidas no Brasil quase simultaneamente ao seu aparecimento no exterior. As empresas nacionais e estrangeiras que se dedicaram à produção desse tipo de fibra tiveram um rápido crescimento, favorecidas pela abundância de linter de algodão, matéria prima para a produção de viscose, mão-de-obra barata, e pelo baixo custo da energia elétrica. A produção em escala comercial começou em 1931, pela Companhia Brasileira Rhodiaceta, atual Rhodia, com o filamento têxtil de acetato. Após a Segunda Guerra Mundial surgiu um novo tipo de fibra, a sintética, de origem petroquímica, fazendo intensa concorrência às fibras artificiais, que em decorrência do contínuo desenvolvimento tecnológico observado na produção das fibras sintéticas (reduzindo drasticamente os problemas de poluição ambiental), foram gradativamente sendo deslocadas do mercado (ROMERO, et al 1995).

Apesar dos riscos à saúde que o manuseio das fibras de amianto traz ao homem, o cimento-amianto foi o primeiro material de construção civil reforçado com fibras produzido em escala industrial. A partir do conhecimento desses riscos, a engenharia voltou a preocupar-se a estudar e desenvolver novos componentes para a sua substituição. A Figura 3, ilustra fibras de vidro cortadas (NETO, 2010).

Figura 3 - Fibras de vidro.

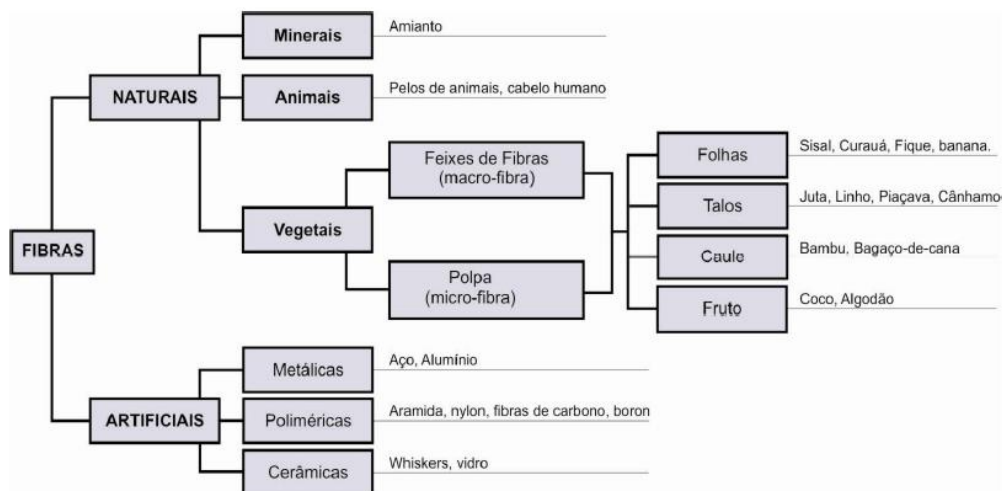


Fonte: (NETO, 2010).

3.4 FIBRAS VEGETAIS

Existem algumas formas distintas de se classificar as fibras. A primeira distinção que se faz é entre fibras sintéticas e naturais. Em seguida, as fibras naturais são divididas em vegetais, animais e minerais. Por último, as fibras vegetais são separadas de acordo com a sua origem na planta: fibras de semente, de fruto, de caule, de folha, de talo e de cana. Exemplos de cada tipo de fibra também estão demonstrados na Figura 4 (PIRES, 2009).

Figura 4 - Classificação e alguns exemplos de fibra.



Fonte: (NETO, 2010).

As fibras vegetais começaram a ser utilizadas na Inglaterra desde 1970. No Brasil, a pesquisa pioneira foi realizada pelo o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (CEPED), Camaçari, Bahia, em 1918 (SAVASTANO Jr., 2000). Entretanto, o emprego dessas fibras ainda é muito pouco apesar da comprovação de sua eficiência. Essa ocorrência é provavelmente devido a eventuais custos para a adaptação do processo produtivo.

Agopyan (1991), em seu trabalho sobre fibras vegetais como reforço de matrizes frágeis, relacionou ensaios com 19 tipos de fibras que apresentaram potenciais úteis na construção civil, a partir de propriedades mecânicas como, resistência à tração, módulo de elasticidade, e alongamento na ruptura; características físicas, relação entre diâmetro e comprimento, possibilidade de cultivo no Brasil, custo e durabilidade no ambiente natural.

Um aspecto importante está relacionado aos resíduos de fibras gerados através de processos industriais, em que estes constituem uma matéria-prima com grande potencialidade para componentes construtivos, tornando-se assim um material de valorização por está sendo reaproveitado e dando origem a um novo produto.

A origem de resíduos de fibras por várias partes da indústria, como a de tecelagem, a de estofados e da agroindústria estão relacionados a diversos fatores. De acordo com Savastano Jr. (2000), alguns fatores que podem ser descritos abaixo:

- Características intrínsecas às plantas e os processos que as fibras vegetais são obtidas;
- O mercado extremamente seletivo e restrito com respectiva baixa produtividade de itens comercializáveis;

- Perecimento dos produtos;
- Poucas informações disponíveis para a destinação dos resíduos a utilizações alternativas.

Essas fibras apresentam alta variabilidade, baixo custo, grande disponibilidade e características adequadas ao emprego como reforço. A alta variabilidade faz com que esses resíduos originários da indústria de fibras vegetais sejam vistos como excelente opção para a produção de fibrocimentos alternativos em países em desenvolvimento (SILVA, 2002).

As fibras são tipos de reforços constituintes dos compósitos, que proporciona as matrizes cimentícias melhorias de resistência mecânica e rigidez. Para se conseguir essas melhorias as fibras a serem utilizadas devem ter além de boa resistência mecânica qualidades adequadas ao tipo de matriz que será reforçada, tais como: compatibilidade química com a matriz, leveza, boa aderência a matriz e resistência ao calor (NETO, 2014). Em compósitos formados por matrizes frágeis e fibras vegetais, dois fatores são determinantes: o ataque alcalino as fibras que causa a degradação do material e a incompatibilidade física entre fibras e matrizes (SAVASTANO, 2000).

Segundo Savastano (2000), para controle dessa degradação diversas soluções são possíveis;

- Emprego de matrizes de baixa alcalinidade, que possuem água do poro com PH inferior ao do cimento Portland comum, como o gesso e o cimento de escória de alto forno;
- Redução de alcalinidade, por carbonatação acelerada da matriz;
- Produção das fibras com polímeros, hidro-repelentes (resinas, óleos e asfaltos), ou ainda agentes bloqueadores da reação de decomposição das fibras, como silicatos e sulfatos de sódio e magnésio;
- Impermeabilização da matriz;
- Empregos dos compósitos em locais permanentemente secos.

A combinação de cimento e fibras para a produção de compósitos duráveis é um grande desafio, mas que se concretizado pode criar um material de construção ecológico, resistente e durável com grande capacidade de renovação, embasada em recursos naturais renováveis (SWAMY, 2000).

3.4.1 Composição e microestrutura das fibras vegetais

Fibras de plantas, também chamadas de fibras técnicas, possuem comprimento longo, de até um metro, e diâmetro aproximado de 50-100 μm . Estas fibras são formadas por feixes de células mortas de plantas, também conhecidas por fibras individuais, que possuem formato tubular, parede espessa e no centro uma cavidade, chamada de lúmen. Essas células, ou fibras individuais, têm comprimento aproximado de 1-50 mm e diâmetro aproximado de 10-50 μm (PIRES, 2009).

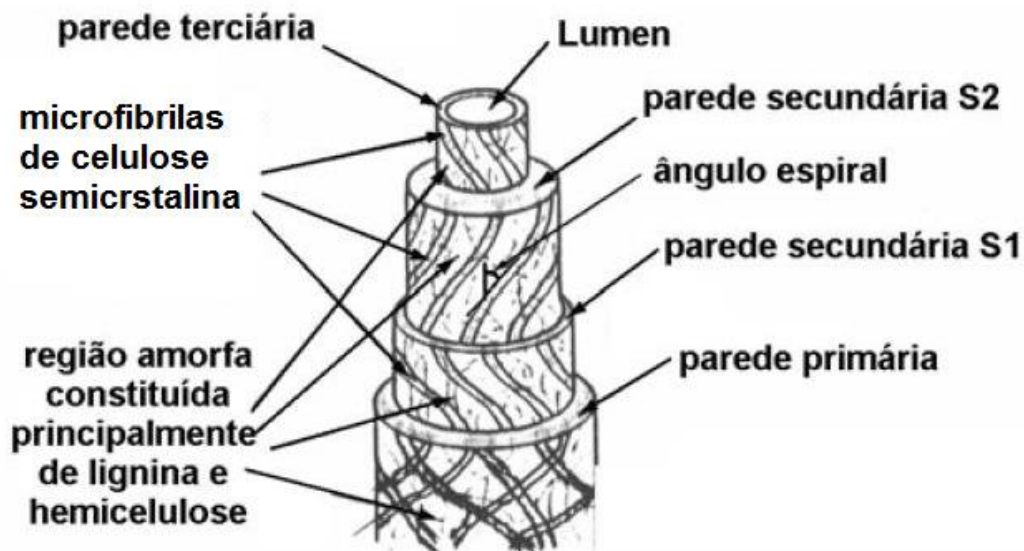
As células individuais que compõem as fibras vegetais são compostas por microfibrilas de celulose semicristalina, arrançadas em camadas de distintos ângulos e orientações. Segundo Pires (2009), microfibrilas têm diâmetro de cerca de 10-30 μm e são responsáveis por dar a resistência mecânica às fibras. A matriz de hemicelulose é ligada por pontes de hidrogênio com as microfibrilas de celulose formando uma rede tridimensional. Já a lignina, forma outra rede que se intercala tridimensionalmente com a rede de hemicelulose e microfibrilas, e ajuda na rigidez da parede das células. A Figura 5 ilustra uma representação da microfibrila.

As camadas existentes nas células das fibras vegetais são caracterizadas como camada ou parede primária, parede secundária S1, S2 e S3.

Segundo Savastano (2000), a camada primária e secundária S1 são de estrutura reticulada e as camadas secundárias S2 e S3 apresentam as microfibrilas dispostas em forma de espiral.

As lacunas e os lumens são responsáveis pela grande incidência de poros permeáveis nas fibras, o que acarreta elevada absorção de água e massa específica aparente bastante inferior a real (SAVASTANO Jr, 2000). Além disso, Aggarwal & Singh (1990), comentam sobre a ocorrência do retardamento da pega do cimento, pela presença de substâncias de caráter ácido, liberados pela fibra vegetal em solução acuosa.

Figura 5 - Representação esquemática de uma microfibrila.



Fonte: (PIRES, 2009).

3.4.2 Compósitos de argamassa de cimento reforçado com fibras vegetais.

No intuito de gerar melhorias nos materiais compósitos estão sendo usados materiais fibrosos de origem natural. Esse processo já vem ocorrendo a muito tempo atrás. Mas nos últimos tempos sua prática tornou-se mais frequente. Segundo Neto (2010), existem evidências em que há pelo menos 5000 anos, o uso desse material na Babilônia e na Pérsia já era bem difundido. Os tijolos de adobe com fibras vegetais, ou a utilização de pelo animal como reforço na argamassa de enchimento de paredes, são exemplos históricos de que esse tipo de tecnologia já era bem conhecida muito antes da década de 60.

O interesse maior por essa tecnologia é por se tratar de um processo que está ligado a questões ambientais, por apresentar baixo custo operacional, boa disponibilidade, abundância e ser renovável. Além de gerar resultados satisfatórios em relação às propriedades mecânicas.

Segundo Agopyan e Savastano Jr. (1997), as fibras de baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração, propiciam a matriz cimentícia maior resistência ao impacto, maior absorção de energia, possibilitam trabalhar após o estado de fissura, além de aumentar a capacidade de isolamento térmico acústico.

Sabe-se que a tenacidade de compósitos reforçados por fibras depende primordialmente do comportamento tensão-deformação da fibra. Fibras resistentes com alta deformação de ruptura elevam o trabalho de fratura dos compósitos. Porém, o desempenho de

materiais compósitos, ambientalmente amigáveis, também depende em grande parte de um desenvolvimento adequado da união interfacial entre as fibras e a matriz (PIRES, 2009).

Dessa forma, pode-se afirmar que as propriedades finais do compósito são fortemente influenciadas pelo o método de fabricação dos compósitos e pelas características individuais de seus componentes. Alguns fatores a seguir defendidos por Fujiyama (1997), influenciam os compósitos reforçados com fibras;

- Tipo de fibras;
- Condição de uso das fibras;
- Arranjo e distribuição das fibras;
- Forma e geometria das fibras;
- Grau de aderência entre fibra e matriz;
- Fração volumétrica das fibras;
- Propriedades das fibras;
- Superfície das fibras;
- Processo de mistura;
- Método de cura.

3.4.3 Durabilidade das fibras vegetais em compósitos cimentícios

No que diz respeito aos novos materiais para construção civil, a avaliação da durabilidade é de suma importância. Dependendo das condições adotadas, a durabilidade do compósito com fibras vegetais pode ser analisada por meio de ensaios que levem em consideração o envelhecimento acelerado ou natural do material, que podem apresentar resultados bastante diversos, dependendo das condições adotadas. Contudo, o compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais ainda tem um longo caminho a percorrer no sentido de firmar seu uso, sem restrições nas questões de sua durabilidade.

Segundo Neto (2010), estudos comprovam eficácia do uso das fibras em compósitos, mas ainda esbarram no processo de degradação (decomposição) do material compósito, proveniente do reforço de ordem vegetal, acelerado por ataques químicos da matriz cimentícia à fibra natural.

Em compósitos formados por matrizes frágeis e fibras vegetais, dois fatores são determinantes: O ataque alcalino às fibras e a incompatibilidade física entre fibras e matrizes.

3.4.4 Ataque alcalino às fibras

A principal fonte de degradação em fibras vegetais no ambiente natural são os ataques biológicos provocados pela presença de fungos, mas que esses não apresentam maiores preocupações, pois as matrizes empregadas apresentam pH alcalino capaz de inibir a ação desses micro-organismos (SAVASTANO Jr., 2000).

A fibra vegetal sofre reações de degradação ao ser posta em contato com a água alcalina do corpo da matriz. A lignina e a hemicelulose são os compostos de fibra mais facilmente atacáveis. A água do poro em contato com a fibra, após a reação química, seria, então, neutralizada e o processo de degradação não progrediria. Porém, devido a gradientes de umidade do ambiente externo, essa água pode migrar para outras áreas por difusão. Em sua antiga posição surge outra porção de água ainda não neutralizada e a fibra vegetal sofrerá nova reação química com os compostos alcalinos nele presente. Esse processo leva a uma degradação progressiva da fibra, com a perda de material de sua superfície (PICANÇO, 2005 *apud* GRAM, 1983).

A queda da durabilidade se reflete no aumento da incidência de fraturada fibra, no interior do compósito, e diminuição da incidência do arrancamento da fibra, com redução da resistência mecânica e da tenacidade do material. Além do tipo de ataque citado acima, a fibra pode perder suas características elásticas devido à migração dos compostos hidratados do cimento para suas cavidades (lúmen e vazios das paredes), onde ocorre a mineralização, tornando-a rígida e frágil. Esses processos levam a uma perda das propriedades desejáveis do compósito, ao longo do tempo (PICANÇO, 2005).

3.4.5 Tratamento alcalino em fibras vegetais

Devido à alta solubilidade da hemicelulose mesmo em baixas concentrações de álcali, o tratamento via hidróxido de sódio promove uma maior rugosidade da superfície da fibra, melhorando a aderência mecânica entre fibra e matriz. A efetividade do tratamento depende

das condições (concentração, tempo e temperatura) e do sistema fibra/matriz. Condições otimizadas de tratamento asseguram melhores propriedades mecânicas dos compósitos (PIRES, 2009).

Segundo Pires (2009), esse tratamento alcalino causa o inchaço das fibras e remoção parcial da hemicelulose e da lignina, o que promove um melhor empacotamento das cadeias de celulose, que são responsáveis pela cristalinidade da fibra. Dessa forma, o tratamento causa aumento da cristalinidade e redução do diâmetro e da densidade das fibras. No entanto, se é verificado aumento da resistência à tração e do módulo de elasticidade, estando este comportamento geralmente associado ao aumento da cristalinidade. Tratamentos mais severos podem propiciar uma maior desfibrilação, comprometendo a eficiência das fibras no reforço dos compósitos.

Outros meios para diminuir os efeitos desses processos degradantes, encontrados na literatura técnica, incluem-se tratamentos prévios das fibras (impregnação com sílica), redução de porosidade da matriz (fillers, compactação, processos de cura especiais, vedação externa do componente), ações no sentido de reduzir a alcalinidade da água do poro da matriz por uso de cimentos especiais, menos alcalinos, ou substituição da parte do cimento por pozolanas, exercer a impermeabilização e a carbonatação acelerada da matriz. Vale ressaltar que algumas dessas soluções apresentam custo elevado, diminuindo uma das vantagens das fibras vegetais.

Farias Filho *et al* (2010), desenvolveu um trabalho a respeito do efeito da argila calcinada sobre a durabilidade de argamassas reforçadas com fibras curtas de sisal, e verificou que aumentando o teor de argila calcinada como substituição do cimento reduziu o teor de hidróxido de cálcio das misturas, conseqüente melhoramento da alcalinidade.

3.4.6 Fibras de carnaúba

É voz corrente no Nordeste que da carnaubeira tudo se aproveita, devido às variadas utilidades que possui essa palmeira. Já no século XVIII, o naturalista Humboldt chamou-a de “árvore da vida”, ao registrar sua admiração com as diversas e importantes finalidades da planta. Na verdade, o extrativismo da carnaúba, ao longo da história, tem dado grande contribuição para a geração de riquezas e ocupação de parcela da população rural do

Nordeste, principalmente dos vales dos rios Jaguaribe e Acaraú (no estado do Ceará), Parnaíba (no Piauí) e Apodi (no Rio Grande do Norte) (ALVES & COELHO, 2006).

A carnaubeira (*Coperniciaprunifera*) é uma espécie de palmeira nativa do Brasil com altura que varia entre 7 e 10 metros, podendo atingir os 15 metros. A planta possui um tronco reto e cilíndrico com diâmetro entre 15 e 25 centímetros. Geralmente ocorre nos pontos mais próximos dos rios, preferindo solos argilosos (pesados), aluviais (de margens de rios) e com a capacidade de suportar alagamento prolongado durante a época de chuvas, além de ser bastante resistente a elevados teores de salinidade. Apresenta também elevada capacidade de adaptação ao calor, suportando 3.000 horas de insolação por ano (ALVES & COELHO, 2006).

Os frutos da carnaúba, inteiros, servem de fonte de alimentos para animais. Da polpa dos frutos da carnaúba, extrai-se uma espécie de farinha. A amêndoa da carnaúba pode ser torrada e moída e usada em substituição ao pó de café. O caule da carnaúba, por ser muito resistente, é usado em construção de edificações, como postes, caibros e ripas, e em objetos de uso doméstico.

Das folhas aproveita-se a palma inteira, após a retirada da cera, para cobrir casas e abrigos, em substituição às telhas. A cera que reveste externamente as folhas, protegendo-as contra a perda de água em tempos de seca é o principal produto do ponto de vista econômico ligado à carnaúba (CARVALHO, 2011).

Figura 6 - Carnaúba *Coperniciaprunifera*.



Fonte: (CARVALHO, 2011).

Segundo Carvalho (2011), as fibras de carnaúba apresentam potencial para aplicações de maior valor agregado como é o caso dos materiais compósitos de matriz biodegradável. Para isto, tratamentos de compatibilização das fibras com a matriz polimérica precisam ser investigados.

4. METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1.1 Cimento Portland

O aglomerante utilizado foi o CPV ARI RS. O mesmo foi bem acondicionado de modo a garantir suas características e propriedades.

4.1.2 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado foi areia lavada de rio proveniente da cidade de Assú. Primeiramente a areia foi colocada para secar por 24h no laboratório de Materiais de Construção da UFERSA a uma temperatura ambiente, visto que a areia já se encontrava exposta ao sol. Para a caracterização física desse agregado foram definidos os seguintes ensaios:

- Massa específica, de acordo com a NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman (ABNT, 1987);
- Análise granulométrica, de acordo com a NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica (ABNT, 2003);
- Massa unitária no estado solto, de acordo com NBR NM 45 - Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios (ABNT, 2006).

4.1.3 Água

A água utilizada nesse estudo foi proveniente da rede de distribuição da instituição, UFERSA.

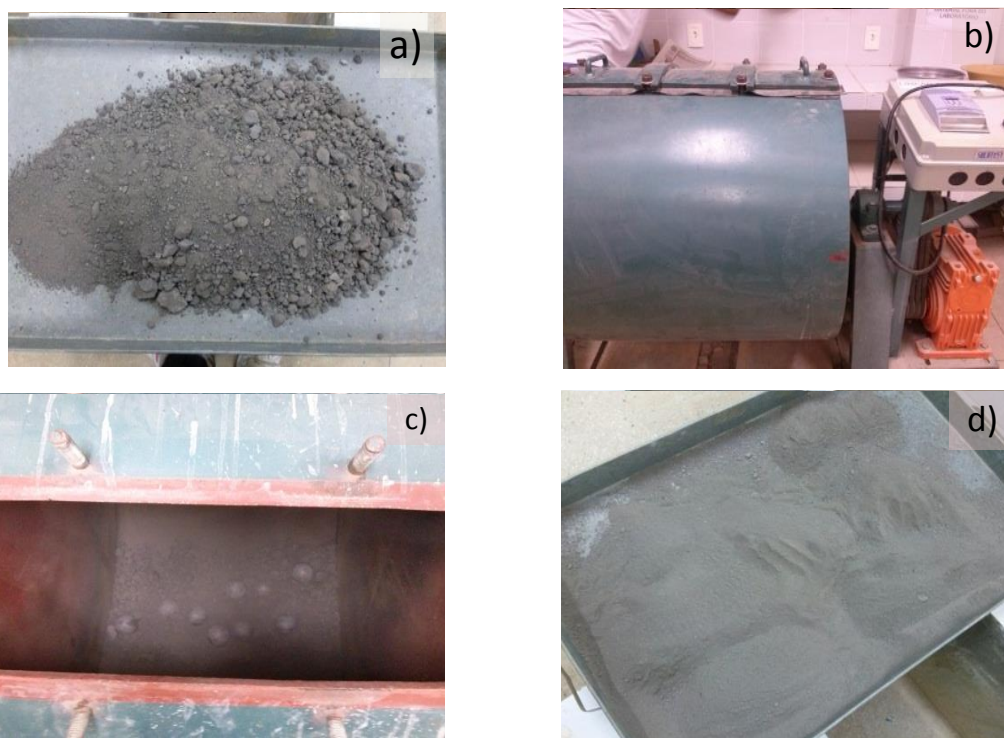
4.1.4 Fibras de Carnaúba

As fibras utilizadas na pesquisa como material de reforço e matriz a base de cimento Portland foi a fibra de carnaúba, em que a mesma foi adquirida na cidade de Assú/RN em forma de feixes de folhas.

4.1.5 Pozolana

A pozolana utilizada na pesquisa foi doada pela empresa Agro-industrial S/A, cimento NASSAU, situada na cidade de Mossoró/RN. A quantidade de amostra doada foi em torno de 5 Kg, a mesma passou pelo o processo de secagem na própria empresa, sendo colocada na estufa em temperatura de 100 graus no tempo de 2 horas. Em seguida o material passou pelo o processo de moagem no aparelho Los Angeles de modo a obter uma granulometria em forma de pó, e posteriormente passou-se na peneira ABNT #200 (Figura 8a,8b,8c,8d). A quantidade de pozolana adicionada aos compósitos como substituição do cimento variou em 25,35 e 45%.

Figura 7 - Processo de moagem e peneiramento da pozolana.





Fonte: Acervo próprio (2014).

4.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para alcançar os objetivos gerais da pesquisa primeiramente foi feito a características dos materiais utilizados: cimento, areia, fibra, pozolana e água (Figura 8).

Figura 8 - Materiais utilizados na produção dos compósitos.



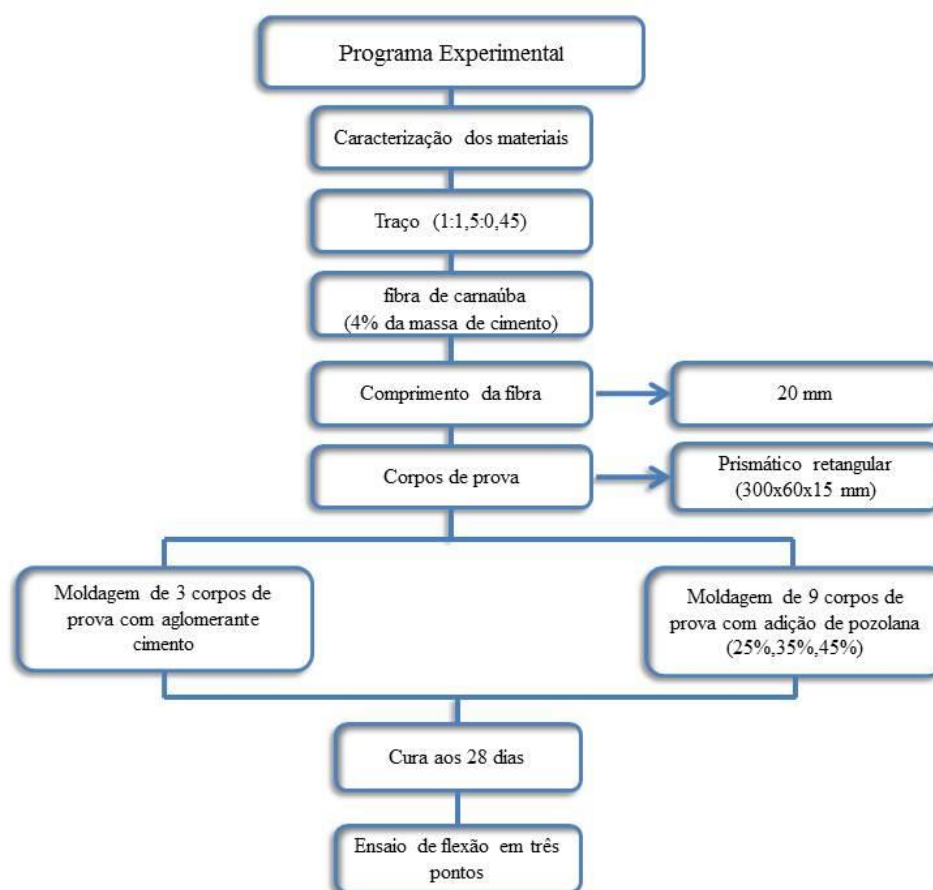
Fonte: Acervo próprio (2014).

Para tanto, foram moldados corpos de prova prismáticos, com percentuais da fibra de carnaúba de 4%, em argamassa com traço 1:1,5:0,45 (cimento, areia e água). Fundamentando-se no trabalho de Farias Filho *et al* (2010).

Foram moldados 12 corpos-de-prova em laboratório, sendo 3 corpos de prova de referência, em que eles continham cimento, areia, fibra e água, e os demais corpos contendo cimento, areia, fibra, água e pozolana, sendo está adicionada como substituição do cimento nos teores de 25, 35 e 45%.

Após a moldagem dos corpos e posterior desmoldagem foram colocados em cura por 28 dias para depois realizar os ensaios de resistência à flexão em três pontos. A Figura 9 mostra como foi realizado todo o programa experimental.

Figura 9 - Programa experimental.



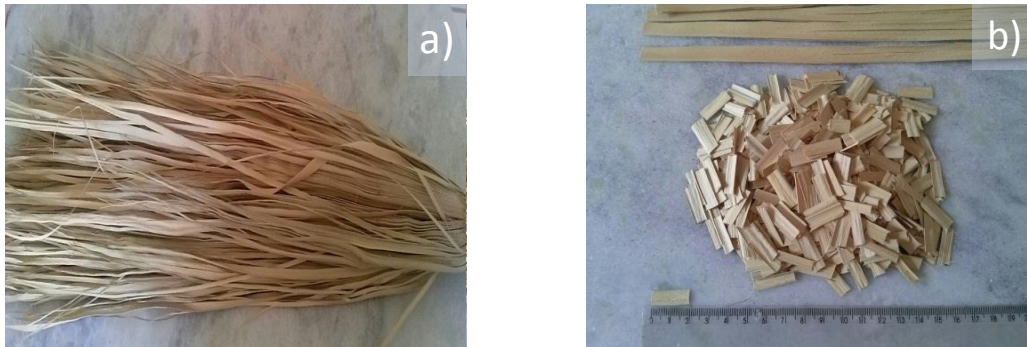
Fonte: Acervo próprio (2014).

4.3 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

O procedimento para a confecção dos compósitos foi da seguinte maneira: Inicialmente as fibras foram retiradas das folhas da carnaúba, e posteriormente cortadas em

tamanhos de 20 mm (Figuras 10a e 10b). Sua proporção adicionada ao material compósito foi de 4% em relação à massa do cimento.

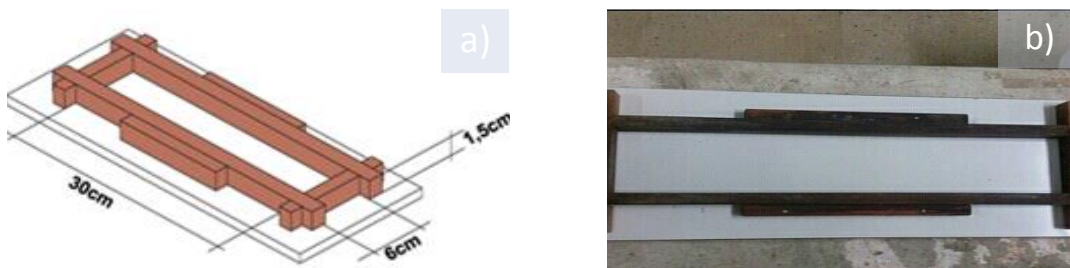
Figura 10 - a) Fibras ainda nas folhas b) Fibras separadas das folhas e cortadas em 20 mm.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Para a moldagem dos corpos de prova prismáticos foram confeccionados moldes nas dimensões 300x60x150 mm (Figura 11a) conforme foi determinado no trabalho de Farias Filho et al (2010). Os moldes apresentavam como material constituinte a madeira e o compensado (Figura 11b).

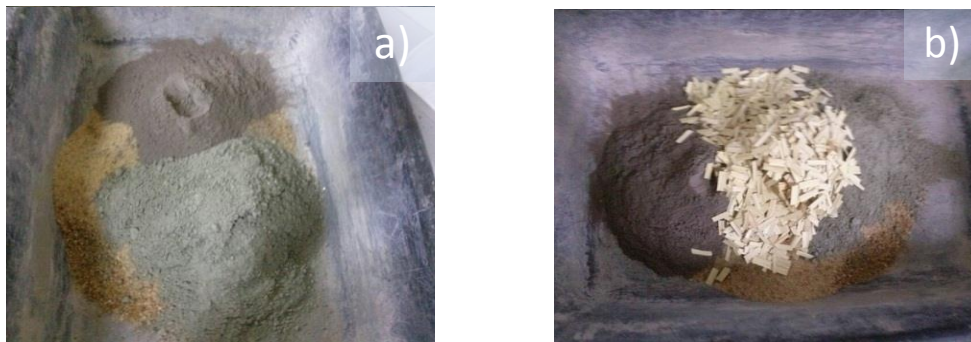
Figura 11 - (a) Layout do molde; (b) Molde de madeira.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Em seguida, realizou-se a mistura dos compósitos conforme o traço 1:1,5: 0,45 (cimento, areia e água) dito anteriormente. Primeiramente, pesaram-se todos os materiais que constituem a mistura. Logo após, foram misturados manualmente em um recipiente de plástico o cimento, areia e pozolana (Figura 12a). Em sequência, acrescentou-se as fibras de carnaúba (Figura 12b) e, por ultimo a água sendo adicionada aos poucos.

Figura 12 - Compósito (a) Mistura de cimento, areia e pozolana; (b) Mistura dos materiais com a adição de fibra.

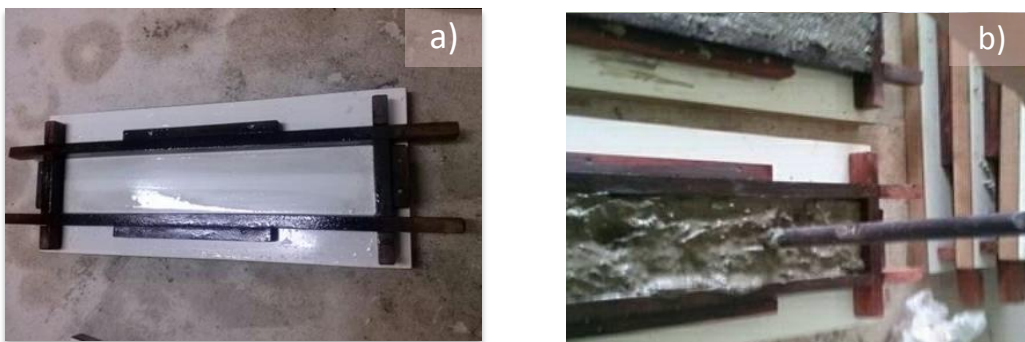


Fonte: Acervo próprio (2010).

Como não se tem norma específica para a moldagem dos corpos de prova prismáticos retangulares, esta ocorreu de maneira a ter uma padronização. A sequência de moldagem foi feita da seguinte maneira: passou-se um óleo desmoldante nas formas prismáticas, de maneira a evitar que o corpo prendesse a ela; colou-se duas camadas de argamassa no molde e em cada camada golpeou-se a massa com uma barra cilíndrica metálica a fim de adensar a amostra; Em seguida, preencheu-se o molde realizando o movimento de batidas e leves balanços na forma para que a massa acomodasse de modo uniforme; por fim, nivelou-se o corpo-de-prova com uma colher de pedreiro (Figura 13a, 13b, 13c).

Como a fibra e a pozolana usada absorvia a água presente na massa, era necessária a realização da moldagem com rapidez, pois aos poucos a massa apresentava dificuldade de moldagem. O que se concluiu que lentamente ela perdia a sua trabalhabilidade.

Figura 13 - Sequência de moldagem dos corpos de prova.





Fonte: Acervo próprio (2014).

Passado o período de 24 horas em temperatura ambiente os corpos-de-prova foram retirados das formas, identificados e totalmente submersos em água por um período de 28 dias. A Figura 14 exhibe os corpos de prova submersos em água no período de cura (Figura 14a) e após o período de cura, prontos para os ensaios (Figura 14b).

Figura 14 – Corpos-de-prova (a) No período de cura; (b) Após a cura.



Fonte: Acervo próprio (2014).

4.4 ENSAIOS

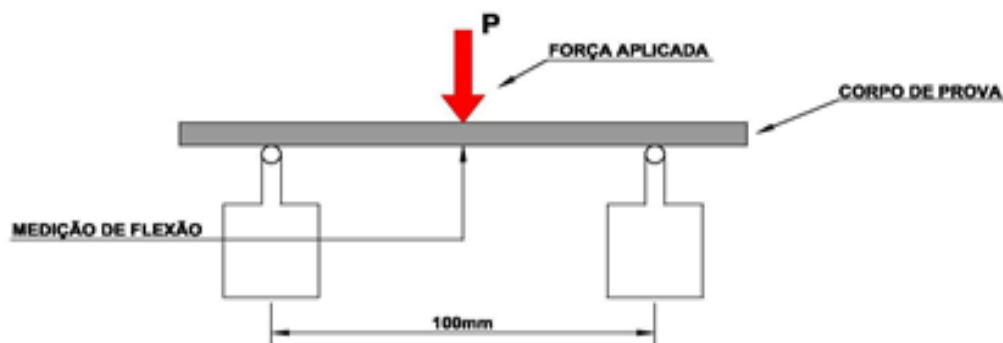
4.5.1 Ensaio de resistência à flexão em três pontos

O ensaio de flexão em três pontos foi realizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos – UFERSA. A efetivação do ensaio foi conforme a NBR 7215/96 para avaliação das

propriedades mecânicas das fibras de carnaúba em compósitos cimentícios com adição de pozolana.

A execução do ensaio se deu com o posicionamento dos corpos-de-prova na prensa, de forma que os apoios ficassem a 100 mm de distância e carregamento aplicado no centro do vão. A máquina usada foi a EMIC DL-5000/10000 de capacidade 100 kN. O carregamento foi aplicado a uma velocidade de deslocamento do travessão de $0,16\text{mm min}^{-1}$ até que ocorresse a ruptura do corpo (FARIAS FILHO *et al* , 2010). A Figura 15, mostra o esquema estático do ensaio.

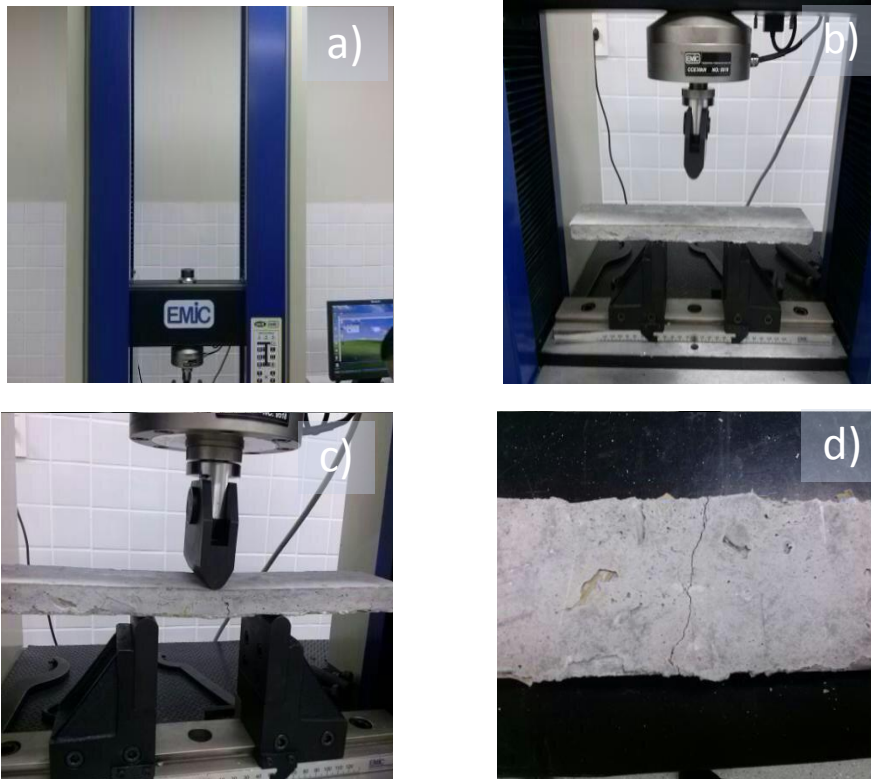
Figura 15 - Esquema estático do ensaio de flexão.



Fonte: Acervo próprio (2014).

O procedimento do ensaio se deu com 09 corpos-de-prova com diferentes características de moldagem citadas anteriormente a Figura 16 mostra a execução do ensaio.

Figura 16 - Ensaio de flexão (a) Preparação para ensaio de resistência a flexão (b) Rompimento do corpo-de-prova (c) Corpo-de-prova rompido (d) Estado final do corpo-de-prova.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Os dados obtidos nos ensaios foram de tempo, força e deformação. Segundo Abreu (2012) *apud* Souza (1982) com a deflexão pode-se traçar curvas tensão-deslocamento, sendo o deslocamento dado pela deflexão e a tensão de dobramento, calculada pela Equação 1.

$$\sigma_d = \frac{3QL}{2bh^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

σ_d → Tensão de dobramento, em MPa;

Q → Cargas diversas, em N;

L → Distância entre os apoios, em mm;

b → Largura da seção transversal, em mm;

h → Altura da seção transversal, em mm.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA AREIA

A caracterização física do agregado miúdo utilizado foi realizada mediante os ensaios de massa específica, massa unitária solta e granulometria descritos anteriormente. Os resultados das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras determinadas através do ensaio de análise granulométrica do material encontram-se na Tabela 2. Determinou-se a dimensão máxima característica de 4,75 mm.

Tabela 2 - Porcentagem média retida acumulada da areia.

Malha de Peneira ABNT	Massa retida (g)		Massa retida (%)		% retida média	% retida acumulada
	Amostra A	Amostra B	Amostra A	Amostra B		
	9,5 mm	0	0	0		
6,3 mm	0	0	0	0	0,00%	0,00%
4,75 mm	0	0	0	0	0,00%	0,00%
2,36 mm	46,7	55,6	9,34	11,12	10,20%	10,20%
1,18 mm	106,3	118	21,27	23,6	22,40%	32,70%
600 µm	149,7	144,8	29,95	28,96	29,50%	62,10%
300 µm	142	132,4	28,42	26,48	27,40%	89,60%
150 µm	43,4	40,8	8,68	8,16	8,40%	98,00%
Fundo	11,7	8,4	2,34	1,68	2,00%	100,00%
Total	499,8	500	100	100	100,00%	

Fonte: (Próprio Autor, 2014)

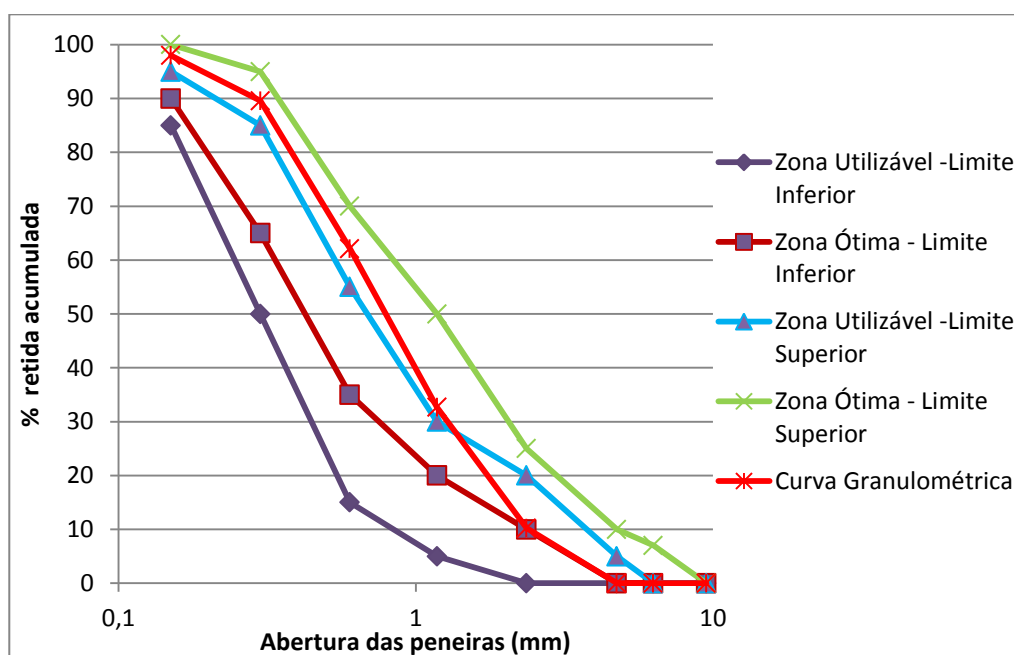
.A Tabela 3 apresenta as características físicas do agregado miúdo. Enquanto que o Gráfico 1 expõe sua curva granulométrica.

Tabela 3 - Características físicas do agregado miúdo.

CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO	
Característica	Dados (kg/dm ³)
Massa específica	2,622
Massa Unitária solta	1,511
Granulometria	MF = 2,93

Fonte: Acervo Próprio (2014).

Gráfico 1 - Curva granulométrica da areia.



Fonte: Acervo Próprio (2014).

A curva granulométrica situa-se entre os limites inferiores e superiores de zonas utilizáveis do agregado miúdo para argamassa, ou seja, apresentou-se adequada para uso em concretos e argamassas.

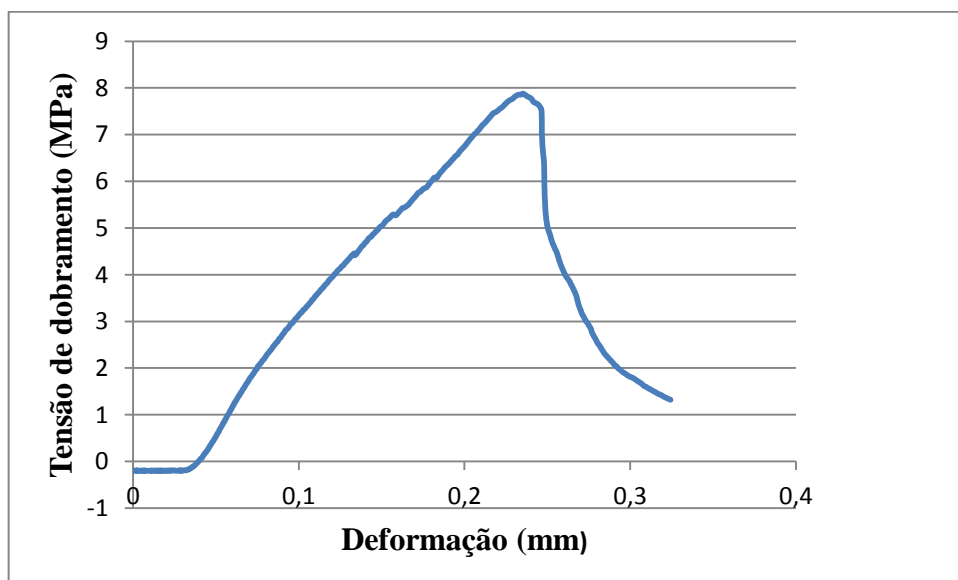
5.2 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Após a realização dos ensaios de flexão pode-se obter os valores da tensão de dobramento e de deformação sofridos pelos corpos-de-prova de referência e os que continham pozolana.

Mediante os valores de Tensão x Deformação foram plotados gráficos que expressam os valores máximos de tensões de dobramento para uma determinada deformação que os corpos suportaram.

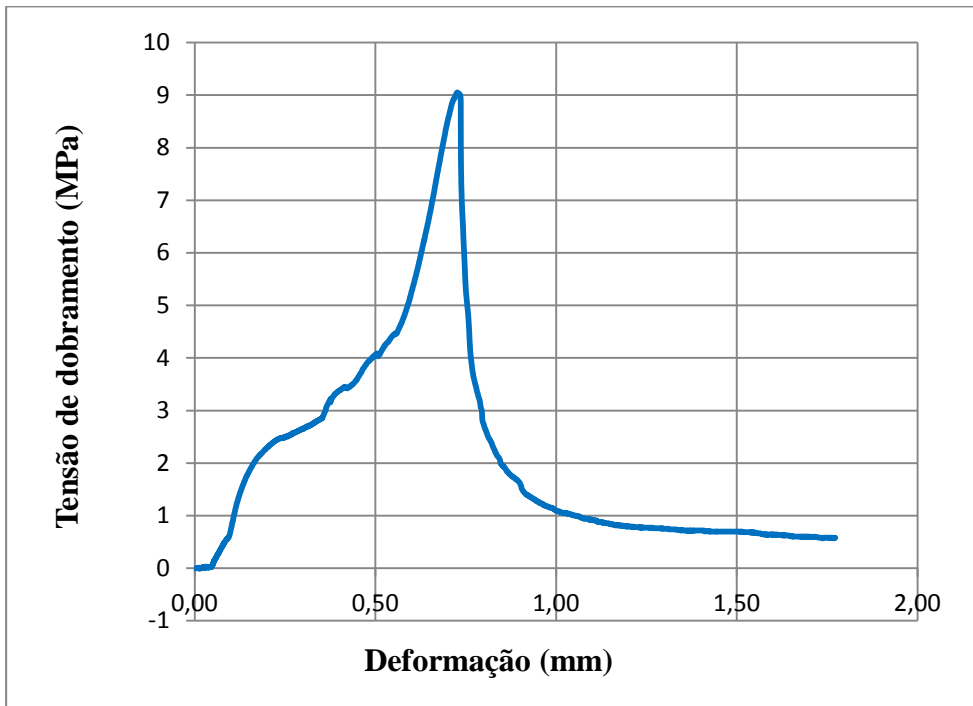
Para cada mistura foram produzidos três corpos de prova e foi feita uma média dos resultados das três amostras de mesma mistura e verificou-se o comportamento da resistência à flexão apresentados nos Gráficos 2,3,4 e 5.

Gráfico 2 - Tensão de dobramento versus deformação dos compósitos de referência.



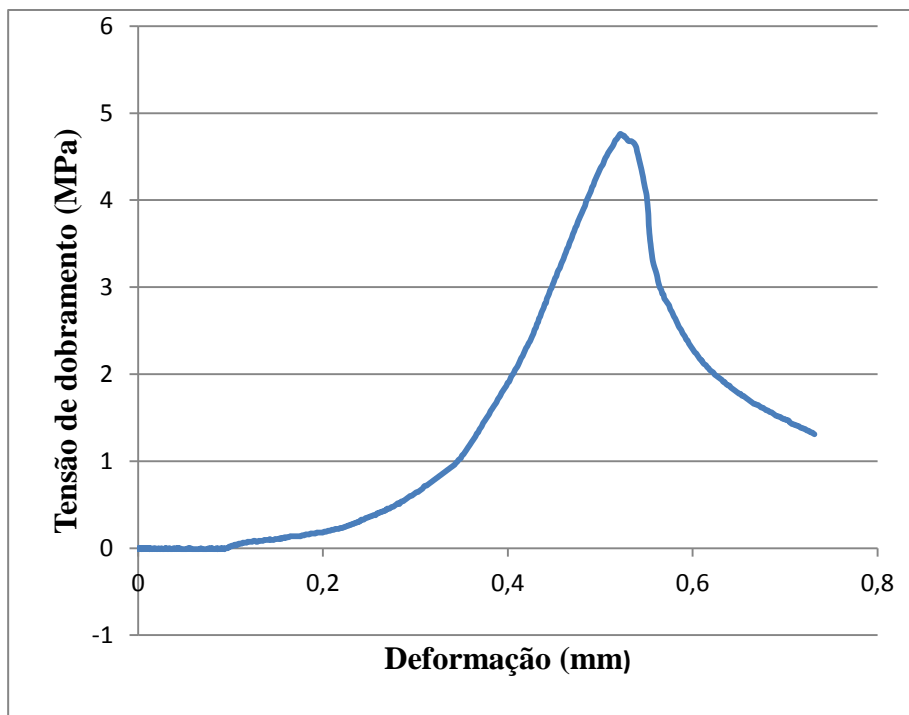
Fonte: Acervo próprio (2014)

Gráfico 3 - Curva tensão versus deformação dos compósitos com 25% de pozolana.



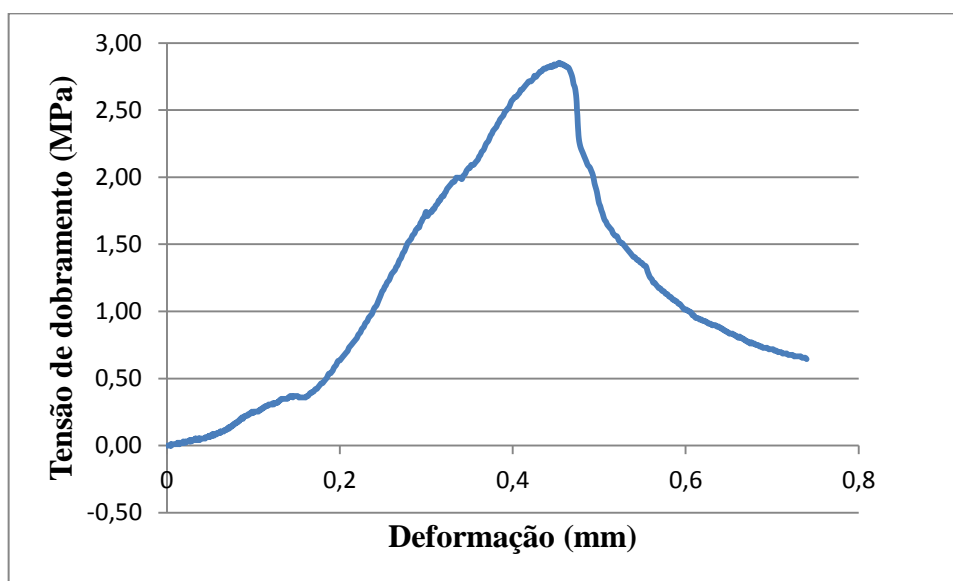
Fonte: Acervo próprio (2014)

Gráfico 4 - Curva tensão versus deformação dos compósitos com 35% de pozolana.



Fonte: Acervo próprio (2014)

Gráfico 5 - Curva tensão versus deformação dos compósitos com 45% de pozolana.



Fonte: Acervo próprio (2014).

Pode-se observar através dos gráficos que a amostra contendo substituição do cimento Portland por pozolana no teor de 25 % teve um aumento de resistência de 16,46% em relação a amostra de referência. O aumento do módulo de ruptura da mistura com as adições pozolânicas está diretamente associado à formação de novos compostos hidratados resultantes da substituição do hidróxido de cálcio livre por compostos mais resistentes e à formação de uma estrutura mais densa, que aumenta a resistência mecânica do material (Wild et al., 1996; Gutierrez et al., 2005). A pozolana reagiu com parte do hidróxido de cálcio da hidratação do cimento produzindo silicato de cálcio hidratado.

Além disso, percebeu-se que amostras contendo 35% e 45% de pozolana obtiveram aproximadamente uma queda de resistência nas porcentagens de 39,25% e 65,83% comparados ao compósito de referência. As máximas deformações apresentadas foram aproximadamente 0,23 mm para a amostra de referência, de 0,55, 0,53 e 0,46 mm para as substituições de 25, 35 e 45%, respectivamente. Observando que os teores de 25% e 35% apresentam maiores deformações em relação à amostra de referência e a contendo 45% de pozolana. A Tabela 4, mostra os resultados dos ensaios de resistência a flexão e deformação.

Tabela 4 - Resultados da resistência à flexão e deformação.

Percentual da adição de pozolana	Condição de exposição	Período	σ (Mpa)	ϵ (mm)
0%	Imersão em água	28 dias	7,9	0,23
25%	Imersão em água	28 dias	9,2	0,55
35%	Imersão em água	28 dias	4,8	0,53
45%	Imersão em água	28 dias	2,7	0,46

Fonte: Acervo próprio (2014).

6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios acerca da adição de fibras de carnaúba e pozolana nas matrizes de cimento Portland chegaram-se as principais conclusões:

- Pode-se concluir que a substituição do cimento nas porcentagens de 25% por pozolana é satisfatória, pois obteve uma resistência maior em torno de 16,46% comparada aos compósitos de referência;
- Os compósitos contendo 35% e 45% de pozolana tiveram diminuição da sua resistência de 39,25% e 65,83% respectivamente, o que se pode concluir que com o aumento da adição de pozolana os compósitos tem sua resistência reduzida;
- Com relação a deformação observou-se que os teores de 25% e 35% proporcionam maiores deformações em relação à amostra de referência e a contendo 45% de pozolana.

SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, proponho:

- Realizar ensaios de envelhecimento acelerado e natural para obter informações a cerca da durabilidade desses compósitos;
- Variar o tamanho e porcentagem de fibras de carnaúba, assim como o percentual de pozolana;
- Fazer um tratamento prévio nas fibras de carnaúba para aumentar sua durabilidade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 9776 - Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Rio de Janeiro, 1987.

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

_____. **NBR 7215 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1995.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso de fibras vegetais**. São Paulo, 1991. 204p. Tese (Livre-Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JR., H. **Uso de materiais alternativos a base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira**. In: Seminário Iberoamericano de materiales fibroreforzados, 1., y reunión proyecto PIP VIII.5 Cyted, 3., Cali. Universidade del Valle, Cali, 1997.

AGGARWALY.L.K, SINGT. J Effect of plant fibre extratives on properties of sement. *Cement & Concret Composites*, v.12,p. 103-8, 1990.

ALVES, O. M.;COELHO, D. J., **Tecnologia e relações de produção no extrativismo da carnaúba no nordeste brasileiro**,2006,20f. Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural. Fortaleza,2006.

ANJOS, M. A. S., **Compósitos á base de cimento reforçados com polpa de bambu – Caracterização física, mecânica e microestrutural**, 2002, 89f. Dissertação (Mestrado em engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2002.

ANJOS, M. A. S., GHAVAMI, K. BARBOSA, N. P. **Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. Parte I: Determinação do teor do reforço ótimo**. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.339-345, Campina Grande, 2003.

CARVALHO, M. F. L., **Tratamentos de fibras de carnaúba [*Copernicia prunifera* (Miller) *h. e. moore*] para o desenvolvimento de compósito biodegradável com matriz de polihidroxibutirato**, 2011, 105f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de ciências exatas e da terra. Natal, 2011.

CAETANO, L. F. GRAEFF, A. G. GARCEZ, E. O. BERNARDI, S. T. SILVA FILHO, L. C. P. **Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras**. Brasil. Porto Alegre, 2004.

ESCARIZ, R. C., **Desempenho à compressão de compósitos reforçados por fibras de coco**, 2008, 51f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2008.

FARIAS FILHO, J., TOLEDO FILHO, R. D., & LIMA, P.R.L. **Efeito da argila calcinada sobre a durabilidade de argamassa reforçadas com fibras curtas de sisal**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 10, p.1109-1114, Campina Grande, 2010.

FUJIYAMA, R. T. **Argamassa de Cimento Reforçada por Fibras de Sisal: Caracterização Mecânica e Microestrutural**. 1997. Dissertação (Mestrado em ciência dos materiais e metalurgia) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

LIMA, V. Y. S., **Propriedades físicas e mecânicas de compósitos a base de gesso contendo fibras e resíduos – revisão bibliográfica**, 2011, 732p. Monografia (Graduação em Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi – Árido, Mossoró, 2011.

MEHTA, K. e MONTEIRO, J. P., **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, São Paulo, SP – Ed. Pini, 1994.

MORRISON, J. K. SHAH, S. P. JENQ, Y. S. **Analysis of fiber debonding and pullout in composites**. New York: Journal of Engineering Mechanics, v. 114, n. 2, p. 277-94, 1988.

NETO.L.S.F., **Avaliação das propriedades mecânicas de matrizes à base de cimento Portland reforçadas com fibras de sisal**. 2014, 50f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2014.

NETO.M.F.S., **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades mecânicas**. 2010, 94f. Dissertação

(mestrado)-Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia Mecânica, Belém,2010.

PIRES.N.E., **Efeito do tratamento de superfície em fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,2009.

SAVASTANO JR.H., **Material à base de cimentos reforçados com a fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000, 152f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

SAVASTANO Jr. H., **Zona de transição entre fibras e pasta de cimento Portland: caracterização e inter- relação com as propriedades mecânicas do compósitos,**1992,249p. . Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo,1992.

SILVA, A. C., **O estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose,** 2002, 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SWAMY, R.N. **Vegetable fibre reinforced cement composites- a false dream or a potential reality? In: International symposium on vegetable plants and their fibres as building materials.** 2., Salvador. London, Chapman and Hall, 1990.

SWAMY, R. N. **FRC for sustainable infrastructure regeneration an rehabilitation. Fibre reinforced concretes (FRC), BEFB/RILEM,** p.5-17, 2000.

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