

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

LETÍCIA LARRÉ DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA FIBRA NATURAL DO CAPIM ANNONI COMO ELEMENTO DE
REFORÇO EM MATRIZ CIMENTÍCIA**

**Alegrete
2016**

LETÍCIA LARRÉ DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA FIBRA NATURAL DO CAPIM ANNONI COMO ELEMENTO DE
REFORÇO EM MATRIZ CIMENTÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Dr. Ederli Marangon

**Alegrete
2016**

LETÍCIA LARRÉ DE OLIVEIRA

**ESTUDO DA FIBRA NATURAL DO CAPIM ANNONI COMO ELEMENTO DE
REFORÇO EM MATRIZ CIMENTÍCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
da Universidade Federal do Pampa, como
requisito parcial para obtenção do Título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 29/06/2016

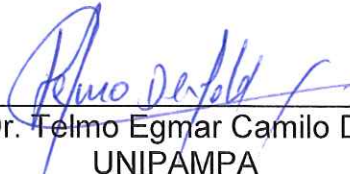
Banca examinadora:



Prof. Dr. Ederli Marangon
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Fladimir Fernandes dos Santos
UNIPAMPA



Prof. Dr. Felmo Egmar Camilo Deifeld
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais, meu irmão, meus avós e ao meu tio Maio, que me apoiou enquanto estive fisicamente junto à mim, e que com certeza se orgulha de mais essa conquista de onde quer ele que esteja me cuidando.

AGRADECIMENTO

A Deus, que não me deixou desistir nas diversas vezes em que esse pensamento me ocorreu.

A minha família que das mais diversas formas me apoiou, incentivou e compartilhou comigo momentos de felicidade, tristeza, desespero, e os meus mais diversos sentimentos e temperamentos, durante esses anos de graduação.

Ao professor Ederli, que além da dedicação como meu orientador e de acreditar na minha capacidade de realizar esse trabalho, foi um professor exemplar dentro e fora da sala de aula, e um grande amigo durante esses anos, ao qual sempre pude recorrer para pedir algum conselho ou apenas conversar.

Aos professores Fladimir e Telmo, pela valiosa contribuição como membros da banca de avaliação do Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos colegas e amigos que a graduação me deu, Diego, Eduardo, Jéssica, Everton, Iândora, Jucá, Angelo, Raphael, Thiago, Débora, Gabriel e Glauber pela convivência diária, pelo companheirismo nos dias e noites de estudo, pelos momentos especiais e únicos que vivemos, pela contribuição que cada um teve para esse trabalho se tornar realidade e pelos melhores incentivos (ameaças) que eu poderia receber: “e o TCC já começou?”, “faz esse TCC que eu quero festa”, “sem TCC não tem formatura Letícia”, “TCC tem pra quem faz”, “não te preocupa, próximo semestre tem TCC também”.

Aos amigos de toda a vida, Lailla, Évilin, Renata e João Alberto, que mesmo há alguns quilômetros de distância sempre se mantiveram ao meu lado, acreditaram no meu potencial e me acompanharam física e virtualmente nos meus piores e melhores momentos.

Ao Boca (Marcelo) amizade que felizmente herdei do meu tio Maio, que sempre me escuta, seja para reclamar ou dar boas notícias sobre a faculdade, que me incentivou e deu muita força nessa reta final.

Ao Saulo que se dispôs a me ajudar e sanar minhas dúvidas mesmo sem me conhecer.

Ao Carlos e ao Dieison que me auxiliaram com a parte mecânica dos ensaios.

“Algumas coisas ruins acontecem em nossas vidas para nos colocar na direção das melhores coisas que poderíamos viver”.

Autor Desconhecido

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo o estudo da fibra do Capim Annoni como elemento de reforço em matriz cimentícia. Ensaio de tração direta foram realizados para a caracterização mecânica da fibra e ensaios de arrancamento para a avaliação da fibra em meio a matriz cimentícia. A resistência à tração foi avaliada para três comprimentos de fibra, 15, 30 e 50 mm e para cada um desses, o ensaio de tração foi realizado para diferentes velocidades: 0,5 mm/min, 1 mm/min, 5 mm/min e 10 mm/min. Os melhores resultados de resistência à tração foram encontrados para a velocidade de 5 mm/min, tanto para o comprimento de fibra de 30 mm, quanto para 50 mm. Os valores de tensão de ruptura apresentaram valores entre 14,44 e 158,67 MPa, resultados semelhantes aos da fibra de Coco, e o módulo de elasticidade entre 1,41 e 10,24 GPa, valores próximos aos das fibras de Sisal, Coco e Palmira. Os ensaios de arrancamento foram realizados em velocidade 0,05 mm/min, para dois comprimentos de embebimento de fibra na matriz cimentícia, 25 mm e 50 mm. Para o ensaio de arrancamento com comprimento de embebimento da fibra de 25 mm, foi predominante a tensão friccional, e para comprimento 50 mm a tensão predominante foi adesional, os valores de tensão de cisalhamento ficaram entre 0,0012 e 0,0461 MPa, não ocorrendo ruptura da fibra, mas um descolamento da mesma do interior da matriz. Com base nos resultados encontrados e comparando-os com a literatura, não foi possível a determinação do melhor comprimento de embebimento de fibra para melhor aderência fibra-matriz devido ao deslizamento da fibra.

Palavras-Chave: capim annoni, fibras naturais, ensaio de tração, arrancamento.

ABSTRACT

This work aims study the capimannoni fiber as a reinforcing element in cementitious matrix. Tensile tests were performed for the mechanical characterization the fiber, and pullout fiber tests, for evaluating fiber in the cementitious matrix. The tensile strength was evaluated for three fiber lengths 15, 30 and 50 mm and each them at different speeds: 0,5 mm/min, 1 mm/min, 5 mm/min and 10 mm/min. The best tensile results were found for the speed of 5 mm/min, for both the 30 mm and 50 mm fiber length the break voltage values fall between 14,44 and 158,67 MPa, results similar to coconut fiber, and the modulus of elasticity between 1,41 and 10,24 GPa, values close to the fiber Sisal, Coco and Palmyra. The pullout tests were performed at speed 0,05 mm/min for two fiber embedment lengths in the cementitious matrix, 25 mm and 50 mm. For pullout testing with a length of 25 mm embedment fiber was predominantly the frictional tension, and length 50 mm was the predominant adesional tension, shear stress values were between 0,0012 and 0,0461 MPa, do not occurring fiber breakage, but a detachment of the same from the interior of the matrix. Based on the results obtained and comparing them with the literature, it was not possible to determine the best embedment for fiber, for better grip fiber-matrix due to sliding of the fiber.

Keywords: capimannoni, natural fibers, tensile test, pullout.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte transversal e representação esquemática das camadas de uma fibra de sisal	21
Figura 2 – Esquema de orientação molecular de uma microfibrila de celulose.....	22
Figura 3 – Arranjo helicoidal das fibras de celulose nas fibras naturais	23
Figura 4 - Curva tensão x deformação das fibras de coco para velocidade 5mm/min e distância entre garras 20 mm	24
Figura 5 - Curva tensão x deformação das fibras de curauá para velocidade 5mm/min e distância entre garras 20 mm	24
Figura 6 – Microscopia ótica da fibra de coco (a) 20x e (b) 50x.....	26
Figura 7 – Microscopia eletrônica da superfície da fibra de coco.....	27
Figura 8 – Microscopia eletrônica de fratura da fibra de coco a velocidade de 10 mm/min	27
Figura 9 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de coco velocidade de 50 mm/min	28
Figura 10 - Microscopia eletrônica da superfície da fibra de curauá	29
Figura 11 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de curauá a uma velocidade de 10 mm/min.....	29
Figura 12 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de curauá a uma velocidade de 20 mm/min.....	30
Figura 13 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de curauá a uma velocidade de 50 mm/min.....	30
Figura 14 – Seção transversal e detalhamento de fibras de sisal tratadas (a)(b) e não tratadas (c)(d).....	32
Figura 15 - Superfície de fibras de sisal tratadas (a) e não tratadas (b).....	32
Figura 16 – Curvas tensão x deformação das fibras de sisal não tratadas (a) e hornificadas (b).....	33
Figura 17 - Classificação arranjo de fibras	35
Figura 18 - Zona de interface de um compósito reforçado com fibra de aço	36
Figura 19 - Detalhamento do molde do corpo de prova para ensaio de arrancamento	38
Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova para ensaio de arrancamento	38
Figura 21 – Configuração do ensaio de arrancamento	39

Figura 22 - Curva carga x deslizamento para comprimento de embebimento 25 mm	39
Figura 23 - Curva carga x deslizamento para comprimento de embebimento 50 mm	40
Figura 24 - Touceiras de capim annoni	42
Figura 25 - Capim Annoni colhido ainda com as raízes antes (a) e após a lavagem (b)	43
Figura 26 – Fibras obtidas do capim annoni	44
Figura 27 - Máquina de ensaios mecânicos utilizada para os ensaios de tração direta das fibras e para ensaio de arrancamento	45
Figura 28- Preparação dos corpos de prova para ensaio de tração.....	46
Figura 29 - Configuração do ensaio de tração (a) e ampliação (b)	46
Figura 30 - Medição diâmetros da fibra.....	47
Figura 31 - Misturador mecânico.....	48
Figura 32 - Esquema do alinhamento da fibra.....	49
Figura 33 - Placas em MDF envernizadas para encaixe dos tubos PVC	49
Figura 34 - Placa de MDF com bases em EVA.....	50
Figura 35 - Lançamento da mistura nos tubos de PVC.....	50
Figura 36 - Corpos de prova moldados com tampa superior em EVA	51
Figura 37 - Corpo de prova com embebimento de fibra de 25 mm	52
Figura 38 - Corpos de prova com embebimento de fibra de 50 mm	52
Figura 39 - Configuração do ensaio de arrancamento (a) e detalhamento (b).....	53
Figura 40 - Curvas típicas de $\sigma \times \epsilon$	54
Figura 41 - Valores médios de resistência à tração das fibras de comprimento 15 mm, 30 mm e 50 mm para as velocidades 0,5 mm/min, 1,0 mm/min, 5,0 mm/min e 10,0 mm/min	57
Figura 42 - Curva força x deslocamento para fibra de comprimento 25 mm.....	59
Figura 43 - Curva força x deslocamento para fibra de comprimento 50 mm.....	59
Figura 44 - Curvas carga de arrancamento x deslizamento idealizadas	60
Figura 45 – Descolamento da fibra da matriz cimentícia (a) e ampliação (b).....	62
Figura 46 - Fibras removidas dos corpos de prova com embebimento de 25 mm	63
Figura 47 - Fibras removidas dos corpos de prova com embebimento de 50 mm	63
Figura 48 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 0,5 mm/min ..	68
Figura 49 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 1,0 mm/min ..	68

Figura 50 - Curvas σ x ϵ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 5,0 mm/min ..	69
Figura 51 - Curvas σ x ϵ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 10,0 mm/min	69
Figura 52 - Curvas σ x ϵ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 0,5 mm/min ..	70
Figura 53 - Curvas σ x ϵ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 1,0 mm/min ..	70
Figura 54 - Curvas σ x ϵ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 5,0 mm/min ..	71
Figura 55 - Curvas σ x ϵ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 10,0 mm/min	71
Figura 56 - Curvas σ x ϵ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 0,5 mm/min ..	72
Figura 57 - Curvas σ x ϵ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 1,0 mm/min ..	72
Figura 58 - Curvas σ x ϵ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 5,0 mm/min ..	73
Figura 59 - Curvas σ x ϵ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 10,0 mm/min	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores típicos de propriedades mecânicas de fibras naturais e sintéticas	23
Tabela 2 – Resumo dos resultados de tensão de ruptura e módulo de elasticidade das fibras de coco	25
Tabela 3 – Resumo dos resultados de tensão de ruptura e módulo de elasticidade das fibras de curauá.....	26
Tabela 4 - Matriz utilizada para o ensaio de arrancamento.....	37
Tabela 5 - Caracterização agregado miúdo	41
Tabela 6 – Consumo dos materiais utilizados para a dosagem das argamassas	47
Tabela 7 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da carga de ruptura, deslocamento, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade das fibras de 15 mm ensaiadas para diferentes velocidades.....	55
Tabela 8 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da carga de ruptura, deslocamento, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade das fibras de 30 mm ensaiadas para diferentes velocidades.....	56
Tabela 9 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da carga de ruptura, deslocamento, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade das fibras de 50 mm ensaiadas para diferentes velocidades.....	56
Tabela 10 – Variação das propriedades mecânicas do capimannoni	58
Tabela 11 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da força de ruptura, deslocamento e tensão de cisalhamento dos corpos de prova com 25 mm de embhecimento de fibra.....	61
Tabela 12 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da força de ruptura, deslocamento e tensão de cisalhamento dos corpos de prova com 50 mm de embhecimento de fibra.....	61
Tabela 13 – Resultados do ensaio de tração com velocidade 0,5 mm/min para fibra de 15 mm	74
Tabela 14 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 1,0 mm/min para fibra de 15 mm	74
Tabela 15 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 5,0 mm/min para fibra de 15 mm	75

Tabela 16 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 10,00 mm/min para fibra de 15 mm	75
Tabela 17 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 0,5 mm/min para fibra de 30 mm	76
Tabela 18 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 1,0 mm/min para fibra de 30 mm	76
Tabela 19 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 5,0 mm/min para fibra de 30 mm	77
Tabela 20 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 10,0 mm/min para fibra de 30 mm	77
Tabela 21 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 0,5 mm/min para fibra de 50 mm	78
Tabela 22 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 1,0 mm/min para fibra de 50 mm	78
Tabela 23 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 5,0 mm/min para fibra de 50 mm	79
Tabela 24 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 10,0 mm/min para fibra de 50 mm	79
Tabela 25 - Resultados do ensaio de arrancamento para embebimento de fibra de 25 mm	80
Tabela 26 - Resultados do ensaio de arrancamento para embebimento de fibra de 50 mm	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
1.2	Justificativa	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Capim annoni	18
2.2	Fibras naturais	20
2.3	Compósitos cimentícios reforçados com fibras	33
2.3.1	Matriz	33
2.3.2	Distribuição de fibras	34
2.3.3	Interface fibra-matriz	35
2.4	Arrancamento de fibras.....	36
3	MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1	Materiais.....	41
3.1.1	Cimento Portland e adições minerais	41
3.1.2	Agregado miúdo	41
3.1.3	Superplastificante.....	42
3.1.4	Fibras de capim annoni.....	42
3.2	Tração direta nas fibras.....	44
3.3	Matriz.....	47
3.4	Ensaio de arrancamento.....	49
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	54
4.1	Tração direta das fibras.....	54
4.2	Ensaio de arrancamento.....	58
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5.1	Conclusões	64
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	65
	REFERÊNCIAS.....	66
	ANEXOS	68

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do cimento Portland, no século XIX, os compósitos cimentícios evoluíram constantemente, principalmente quanto ao aumento da trabalhabilidade, resistência mecânica e durabilidade.

O concreto tem diversas vantagens, porém, é um material que apresenta comportamento frágil, tem limitações quando submetido a esforços de tração e baixa tenacidade. A adição de fibras em compósitos cimentícios é uma alternativa que contribui para o aumento da resistência à tração, flexão, abrasão, impacto e fadiga, conferindo ao compósito maior capacidade de absorver energia antes da ruptura e retardando o aparecimento de fissuras (BENTUR; MINDESS, 2007).

Dentre as fibras, as naturais são utilizadas como reforços em compósitos cimentícios por serem uma alternativa sustentável ao uso das fibras sintéticas rotineiramente usadas, pois é crescente o interesse no emprego de materiais não agressivos ao meio ambiente, visto que o desenvolvimento sustentável é o paradigma que surge para que se possa enfrentar a crise ambiental do mundo contemporâneo.

Os compósitos reforçados com fibras naturais podem ser aplicados como divisórias internas e externas, painéis estruturais, reforços de paredes de alvenaria, reparo estrutural, entre outros (SILVA, 2009). As fibras naturais mais utilizadas em meio a matriz cimentícia são: sisal, bagaço da cana de açúcar, juta, bambu, algodão, coco, curauá.

Outra dificuldade enfrentada atualmente é a ameaça à biodiversidade mundial devido as espécies invasoras, problema que está atrás somente da destruição de habitats por meio da exploração humana. A invasão dessas espécies acarreta na perda da biodiversidade, alteração dos ciclos e características naturais dos ecossistemas atacados, modificação da paisagem natural e consequências econômicas consideráveis. No Rio Grande do Sul (bioma pampa) os sistemas de produção de gado são ameaçados pela espécie *Eragrostis plana* Nees, onde é estimado que, de 15 milhões de hectares de campos naturais, 3 milhões estão sendo invadidos pela espécie (ZILLER, 2011).

O *Eragrostis plana* Nees, conhecido vulgarmente como Capim Annoni (CA), é uma gramínea natural da África do Sul, encontrada em áreas pisoteadas e solos pobres, e é considerada uma planta invasora, que surgiu no Rio Grande do Sul na década de 50, provavelmente de maneira acidental, introduzida como contaminante

em meio a um lote de sementes importadas da África e, posteriormente, difundida como forrageira excelente e revolucionária (REIS, 1993).

Na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), estudos revelaram que o *Eragrostis plana* Nees não oferecia qualidade e palatabilidade (NASCIMENTO, 1976 apud REIS, 1993, p. 12), tão pouco função nutricional suficiente a animais de cria (FIGUEIRÓ, 1976 apud REIS, 1993, p. 12). A Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (EMBRAPA) condenou a utilização e disseminação da gramínea, sendo que ela foi apontada como planta invasora agressiva, dominante e de difícil manejo e erradicação (REIS; OLIVEIRA, 1978 apud REIS, 1993, p. 12).

Diferentes materiais dos quais são extraídas fibras para uso em compósitos cimentícios são cultivados em diversas regiões do país, e vêm provendo fonte de renda para os moradores locais, como o sisal nos estados da Bahia e Paraíba, o curauá e a juta plantas características do Pará, a cana de açúcar em São Paulo, entre outras. O capim annoni aparentemente mostra-se resistente para uso em compósito cimentício, assim como as outras fibras, e poderá do mesmo modo que nas outras localidades, gerar renda para os moradores das regiões onde é encontrado em abundância.

Como visto, diferentes fibras vêm sendo utilizadas como reforço em matriz cimentícia, no entanto, não foi encontrada, na bibliografia pesquisada, a existência de trabalhos, que tratem da caracterização da fibra do capim annoni e de sua utilização em compósitos.

Diante o exposto, e para melhor entendimento do trabalho é feita a seguinte pergunta de pesquisa: A fibra natural do capim annoni pode ser utilizada como reforço em compósito a base de cimento Portland?

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é avaliar as propriedades mecânicas da fibra natural proveniente do Capim Annoni como reforço em compósitos cimentícios a base de cimento Portland.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar o comportamento à tração da fibra natural do Capim Annoni.
- Avaliar o comprimento de fibra ideal para melhor aderência entre compósito cimentício e fibra

1.2 Justificativa

Com a crescente preocupação em se preservar o meio ambiente e utilizar cada vez mais produtos naturais, compósitos com fibras vegetais surgem como alternativa no campo dos materiais para aplicação na engenharia, podendo ser empregados em reforço estrutural, painéis estruturais, divisórias internas e externas, telhas, entre outras aplicações.

A fibra natural do capim annoni, utilizada em meio a matriz cimentícia, além de ser uma matéria-prima de baixo custo, biodegradável e ter grande disponibilidade, necessita pouca energia para sua obtenção. Esta poderá contribuir também para a minimização dos impactos ambientais e possivelmente será uma viável solução para o controle dessa espécie invasora. Ademais, também poderá fornecer uma nova fonte de renda para a região.

No que diz respeito ao seu uso em matriz a base de cimento Portland, poderá contribuir para a melhora das propriedades mecânicas do compósito, aumentando a absorção de energia e conferindo maior resistência à tração e, conseqüentemente, conferindo maior durabilidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Capimannoni

O capimannoni (*Eragrostis plana* Nees) é uma gramínea perene de ciclo estival encontrada na África, onde domina áreas de savanas e pisoteadas pelo gado (BOSSER, 1969 apud REIS, 1993, p. 5). É citado também que a planta é natural da África do Sul, onde da mesma maneira é encontrada em zonas pisoteadas e em regiões de solos pobres, sendo considerada uma planta invasora, que surgiu no RS na década de 50, de maneira acidental, introduzida em meio a sementes de capim de rhodes e capim chorão (HALL, 1977 apud REIS, 1993, p. 5).

Dois versões são encontradas sobre o local e a data onde a planta foi encontrada pela primeira vez no estado. A primeira versão diz que o capimannoni foi encontrado no município de Sarandi em 1951. A segunda versão, que parece ser a mais provável é que a gramínea apareceu primeiramente na Estação Experimental Zootécnica de Tupanciretã (EEZT), em 1958, introduzida lá como contaminante de um lote de sementes de capim rhodes vindo da África do Sul, que foram semeadas também por um proprietário lindeiro a EEZT. Assim, quando o capimannoni surgiu na pastagem da EEZT, esse foi notado ao mesmo tempo na propriedade vizinha, de onde mais tarde o proprietário levou mudas do capimannoni para Sarandi (NASCIMENTO, 1976 apud REIS, 1993, p. 6).

O *Eragrostis plana* Nees é uma planta perene, cespitosa, que forma touceiras extremamente enraizadas com altura entre 45 e 110 centímetros. Tem preferência por solos secos até moderadamente drenados, podendo também vegetar solos mal drenados. Começa a florescer ao final da primavera, até a formação da primeira geada, sendo a maior produção de sementes no período da segunda quinzena de dezembro até final de março (COELHO 1983 apud REIS, 1993, p. 9).

Estudos iniciais sobre o capim na EEZT diziam que a planta era má forrageira e invasora impossível de ser controlada perante os conhecimentos existentes (LEAL, 1974; SILVA, 1975 apud REIS, 1993, p. 12). Diante disso foram então solicitados dois laudos técnicos pelo Secretário da Agricultura e Abastecimento da época.

O primeiro estudo qualitativo conduzido na UFSM mostrou que a espécie não tinha qualidade e palatabilidade (NASCIMENTO, 1976 apud REIS, 1993, p. 12) e tampouco proporcionava suporte alimentício para ovelhas de cria e seus cordeiros

(FIGUEIRÓ, 1976 apud REIS, 1993, p. 12). O segundo estudo, realizado pela EMBRAPA, apontou as características indesejáveis da planta como forrageira e planta invasora agressiva, dominante e de difícil erradicação e manejo, condenando a disseminação da espécie e sua utilização. Então, em 13 de março de 1979, o Ministério da Agricultura emitiu a proibição da comercialização, transporte, importação e exportação de sementes e mudas do capim *annoni* no estado.

A espécie tem grande facilidade de dispersão e sua principal forma é por meio de suas sementes que tem alto poder de germinação. As principais fontes de disseminação são: rodovias, ferrovias, estradas vicinais, corredores, porteiras, estradas, trilhas em propriedades rurais, locais com aglomeração de animais, etc. E os principais agentes de disseminação são: nos bovinos, ovinos e equinos, por meio dos cascos, pelos, lã, fezes, e nos herbívoros e carnívoros pelo transporte mecânico e fezes. Podem ser também agentes de disseminação automóveis, máquinas agrícolas, vento, córregos, rios, enchentes e irrigação (REIS, 1993).

O processo de invasão da espécie se dá por 4 fases. Na primeira encontram-se apenas algumas plantas isoladas, normalmente próximas a porteiras, trilhas, caminhos e locais onde estão concentrados os animais. Já na segunda fase se dá início a formação de populações maiores, nos mesmos locais da fase anterior, porém, a área ocupada começa a expandir gradativamente, nessa fase ocorre a invasão não perceptível dos poteiros. Na terceira fase acontece o início da dominação, as populações aumentam e a espécie começa a tomar conta do campo natural, das pastagens e as espécies naturais e cultivadas regridem conforme o capim aumenta. A fase quatro é onde ocorre o domínio total do capim sobre as espécies existentes e a “monocultura” do capim *annoni* é estabelecida (REIS, 1993).

Reis (1993) considera o capim *annoni* um desastre ecológico, por ser uma invasora que agride severamente o ambiente, e que implica na eliminação da flora natural, causando prejuízos a existência da fauna. Se analisado como planta forrageira tem características desejáveis como: rusticidade, fácil e rápido estabelecimento, alta produção de sementes, fácil disseminação e adaptação. Porém, essas características desejáveis de planta forrageira tornam-se pouco significativas, quando comparadas as características indesejáveis: baixa porcentagem de proteína bruta, alta porcentagem de fibra bruta, pouca palatabilidade, não oferece suporte alimentar a ovinos e bovinos, grande disseminação, espécie dominante, difícil

erradicação, desgaste precoce dos dentes dos animais, por ser invasora causa empecilhos para a agricultura e difícil roçagem por ser grosseiro e duro.

2.2 Fibras naturais

As fibras naturais são utilizadas desde a segunda guerra mundial, quando a fibra de asbesto tornou-se escassa e começou a ser substituída parcial ou totalmente pela fibra de celulose. Logo no início dos anos 70, novamente as fibras naturais receberam atenção quando foi descoberto que o asbesto era um material cancerígeno (SILVA, 2009).

Comparadas às fibras sintéticas, as fibras naturais como elemento de reforço são consideradas de baixo custo e requerem baixo processo de industrialização, pois o material é disponibilizado no formato a ser utilizado. Os reforços com fibras podem ser classificados de quatro formas diferentes: fibras longas alinhadas, fibras curtas (< 50 mm), fibras de polpa e tecidos bidirecionais (SILVA, 2009).

Segundo Tomczak (2010), as fibras vegetais podem ser classificadas também de acordo com o local de origem de extração: folha, fruto, talo raiz, semente ou capim.

No Quadro 1 é mostrada uma comparação entre as fibras naturais e sintéticas, mostrando suas vantagens e desvantagens.

Quadro 1 - Propriedades das fibras naturais e sintéticas

	Fibras Naturais	Fibras Sintéticas
Densidade	Baixa	Alta
Custo	Baixo	Alto
Reciclabilidade	Alta	Baixa
Consumo de energia	Baixo	Alto
Abrasão em equipamentos	Baixo	Alto
Riscos quando inalados	Nulo	Alto
Biodegradabilidade	Alta	Nenhum

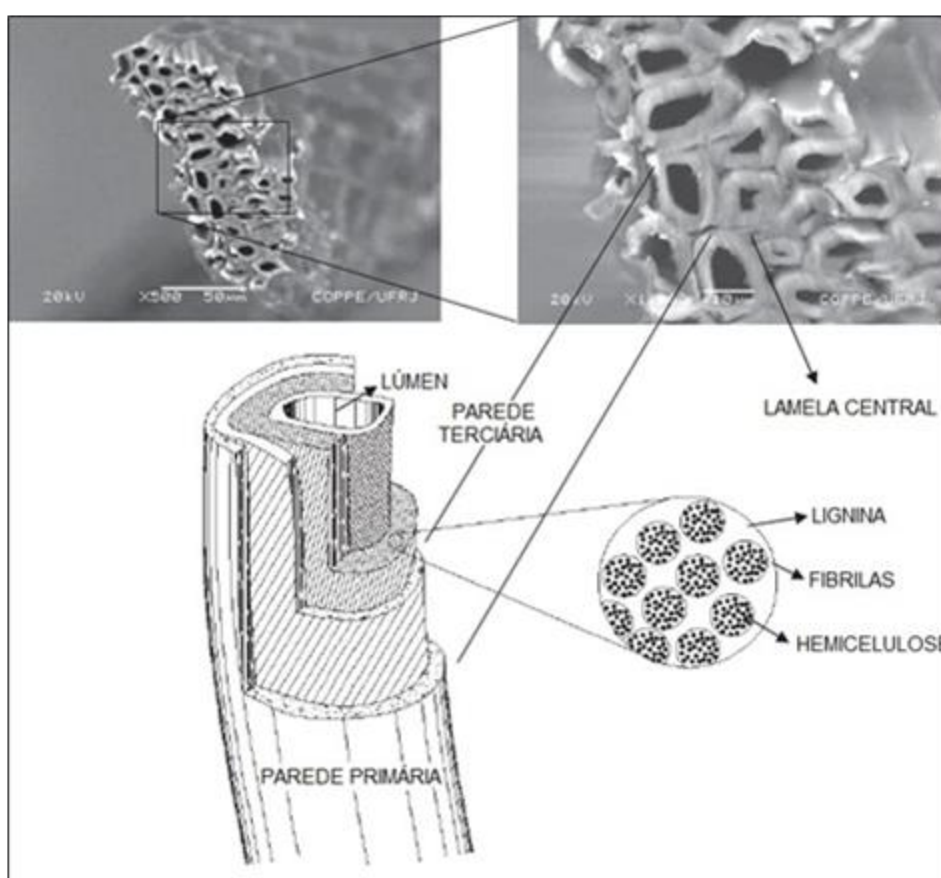
Fonte: Adaptado de Tomczak (2010)

As fibras naturais possuem uma estrutura extremamente complexa. Cada fibra é composta por inúmeras fibro-células, e estas são formadas por quatro partes: parede primária, parede secundária, parede terciária e lúmen. As fibro-células são ligadas

entre si pela lamela central, que é constituída de hemicelulose e lignina. Além disso, as fibras naturais possuem seção transversal irregular, o que causa dificuldade para o cálculo da sua área e, conseqüentemente, das tensões de tração (BENTUR; MINDESS, 2007).

Toledo et al. (2009), por meio da Figura 1, representaram essa estrutura complexa das fibras.

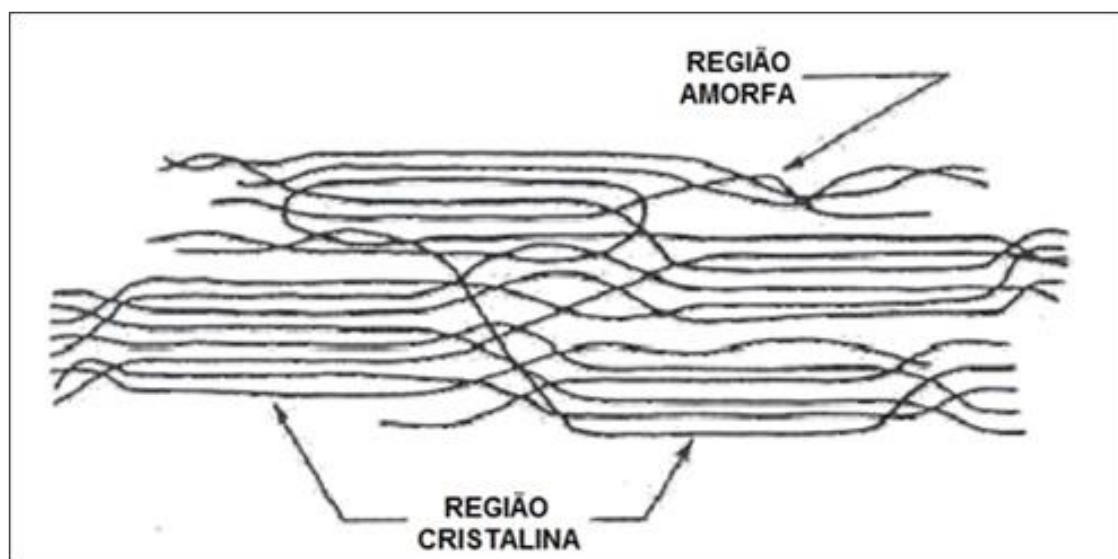
Figura 1 – Corte transversal e representação esquemática das camadas de uma fibra de sisal



Fonte: Adaptado de Toledo et al. (2009, p.2410)

De acordo com Tomczak (2010), as fibras naturais são compostas por inúmeras células, que são formadas por microfibrilas cristalinas de celulose. A celulose é um dos principais componentes das fibras vegetais, determinando suas propriedades mecânicas. A celulose é um polissacarídeo, composto de carbono, oxigênio e hidrogênio e sua fórmula química é $(C_6H_{10}O_5)_n$. As fibras celulósicas são encontradas em vários níveis de orientação, como mostrado na Figura 2. Essas microfibrilas de celulose são conectadas por uma região amorfa composta de lignina e hemicelulose.

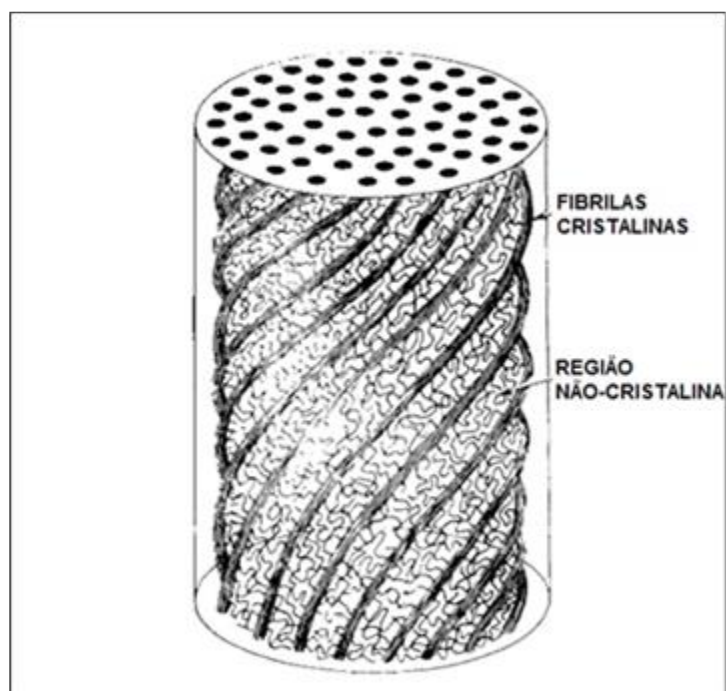
Figura 2 – Esquema de orientação molecular de uma microfibrila de celulose



Fonte: Adaptado de Tomczak (2010, p.10)

Diversos fatores influenciam nas propriedades mecânicas das fibras naturais, como: local de origem (clima), maturação (idade), espécie, método de extração, tipo de celulose (α -celulose, β -celulose), quantidade de celulose e ângulo helicoidal, que é exemplificado por meio da Figura 3 (KULKARNI; SATYANARAYANA; SUKUMARAN, 1981). Para fins comparativos, algumas propriedades mecânicas de fibras naturais e sintéticas são mostradas na Tabela 1 (TOMCZAK, 2010).

Figura 3 – Arranjo helicoidal das fibras de celulose nas fibras naturais



Fonte: Adaptado de Kulkarni, Satyanarayana e Sukumaran (1981, p.909)

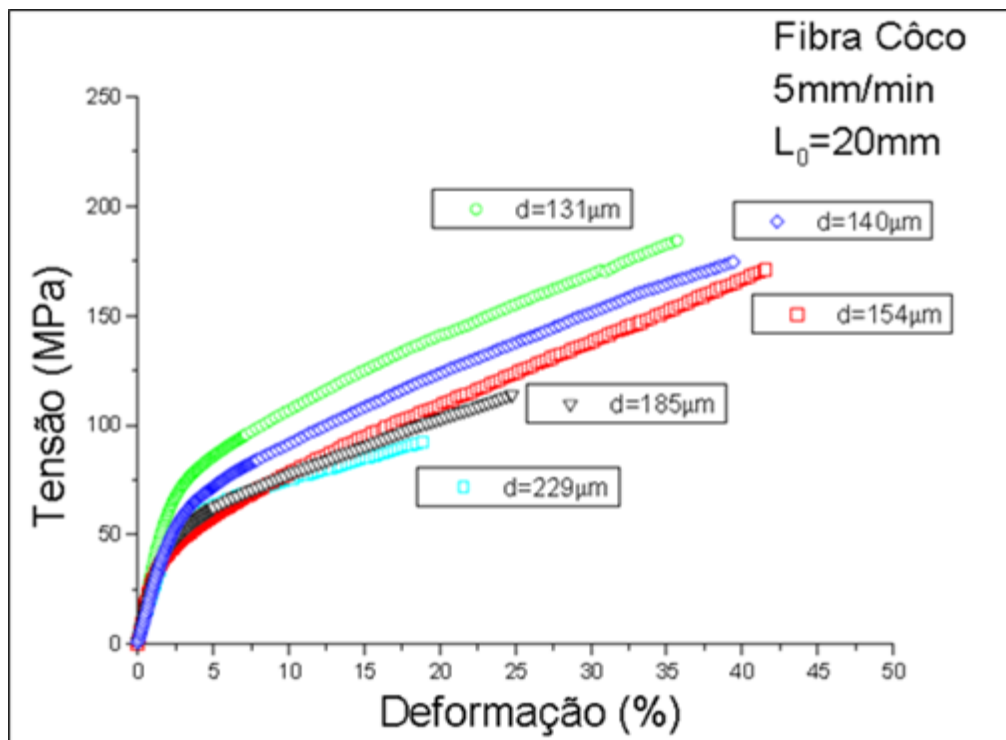
Tabela 1 – Valores típicos de propriedades mecânicas de fibras naturais e sintéticas

Fibra	Diâmetro (µm)	Densidade (kg.m ⁻³)	Módulo Elástico (GPa)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
Abacaxi	20 – 80	1440	34,5 – 82,5	413 – 1627	0,8 – 1,6
Banana	80 – 250	1350	7,7 – 20,0	54 – 754	1,9 – 13,0
Coco	100 – 450	1150	4,0 – 6,0	106 – 175	17,0 – 47,0
Curauá	10 – 130	1100	26,0 – 46,0	700 – 1100	2,0 – 4,0
Juta	-	1450	-	533	-
Palmira	70 – 1300	1090	4,4 – 6,1	180 – 215	7,0 – 15,0
Sisal	50 – 200	1450	9,4 – 15,8	568 – 640	3,0 – 7,0
Tailpot	200 – 700	890	9,3 – 13,3	143 – 264	2,7 – 5,2
Vidro	-	2600	70 – 86	2000 – 4500	2,5 – 2,8
Carbono	-	1400	230 – 240	4000	1,4 – 1,8

Fonte: Adaptado de Tomczak (2010)

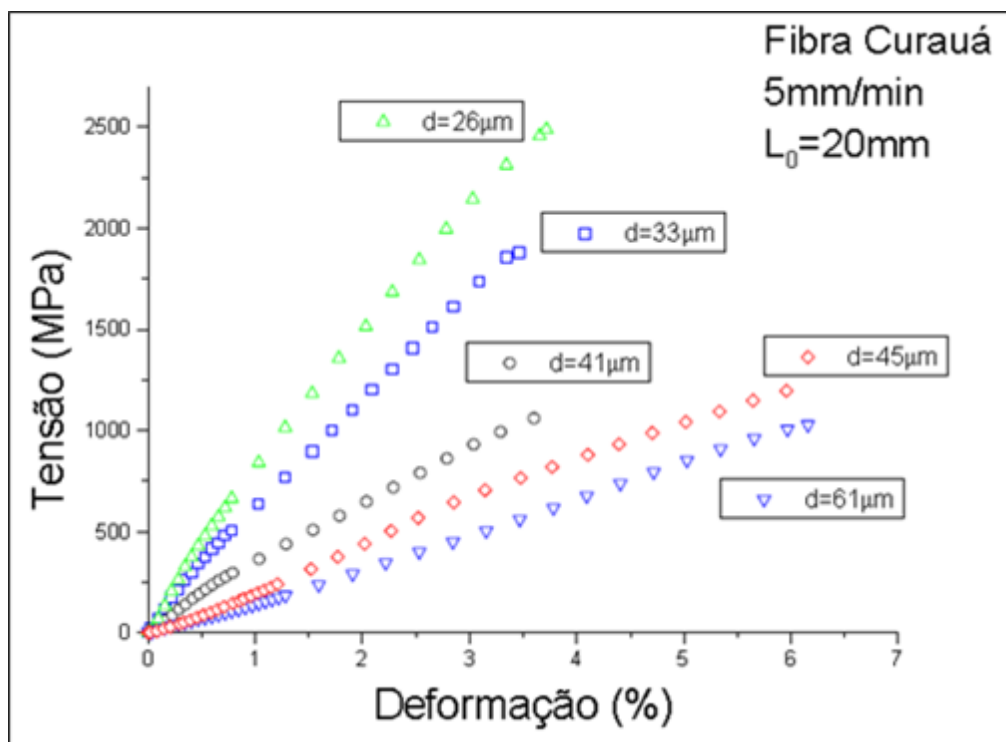
Tomczak (2010) realizou ensaios de tração em fibras de coco e curauá com diferentes diâmetros, 131 a 229 µm para as fibras de coco e 26 a 61 µm para fibra de curauá, e obteve as curvas tensão x deformação das Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Curva tensão x deformação das fibras de coco para velocidade 5mm/min e distância entre garras 20 mm



Fonte: Tomczak (2010, p.42)

Figura 5 - Curva tensão x deformação das fibras de curauá para velocidade 5mm/min e distância entre garras 20 mm



Fonte: Tomczak (2010, p.58)

Tanto para as fibras de coco, como para as de curauá, Tomczak (2010) observou que com o aumento do diâmetro da fibra há variação no número de células constituintes, o que altera outros parâmetros estruturais, como ângulo helicoidal, volume das células e número de defeitos. Tais parâmetros atuam diminuindo a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade das fibras, comportamento semelhante ao das fibras de abacaxi e linho, mas contrário as fibras de banana, sisal, palmira, coco do Brasil, entre outras.

Tomczak (2010) considerou a tensão de ruptura o maior valor encontrado nas curvas, e a partir da porção linear inicial de cada curva determinou o módulo de elasticidade dos dois tipos de fibra, valores mostrados para diferentes velocidades de ensaio e distâncias entre garras nas Tabelas 2 e 3, nas quais é possível notar, tanto para a fibra de coco quanto para a de curauá, que a tensão de ruptura apresenta uma tendência de diminuição a medida que a distância entre garras L_0 aumenta, enquanto que o módulo de elasticidade aumenta com o L_0 .

Tabela 2 – Resumo dos resultados de tensão de ruptura e módulo de elasticidade das fibras de coco

Fibra	Velocidade (mm/min)	Distância entre Garras (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo Elástico (GPa)
Coco	5	5	142,57	1,27
		10	135,43	1,97
		15	148,60	2,35
		20	128,74	2,30
		25	118,27	2,73
	10	20	134,80	2,21
	20	20	142,42	2,39
	50	20	155,43	2,40

Fonte: Adaptado de Tomczak (2010)

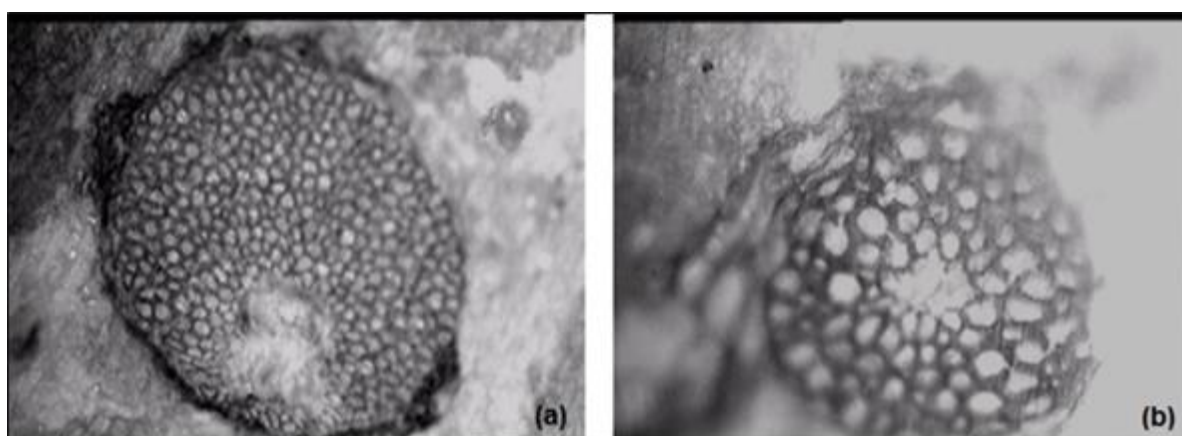
Tabela 3 – Resumo dos resultados de tensão de ruptura e módulo de elasticidade das fibras de curauá

Fibra	Velocidade (mm/min)	Distância entre Garras (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo Elástico (GPa)
Curauá	5	5	2213,00	26,39
		10	2314,00	43,91
		15	1950,05	44,32
		20	1784,59	46,25
		25	1730,61	51,89
	10	20	1898,04	47,99
	20	20	1921,82	47,00
	50	20	2174,67	53,69

Fonte: Adaptado de Tomczak (2010)

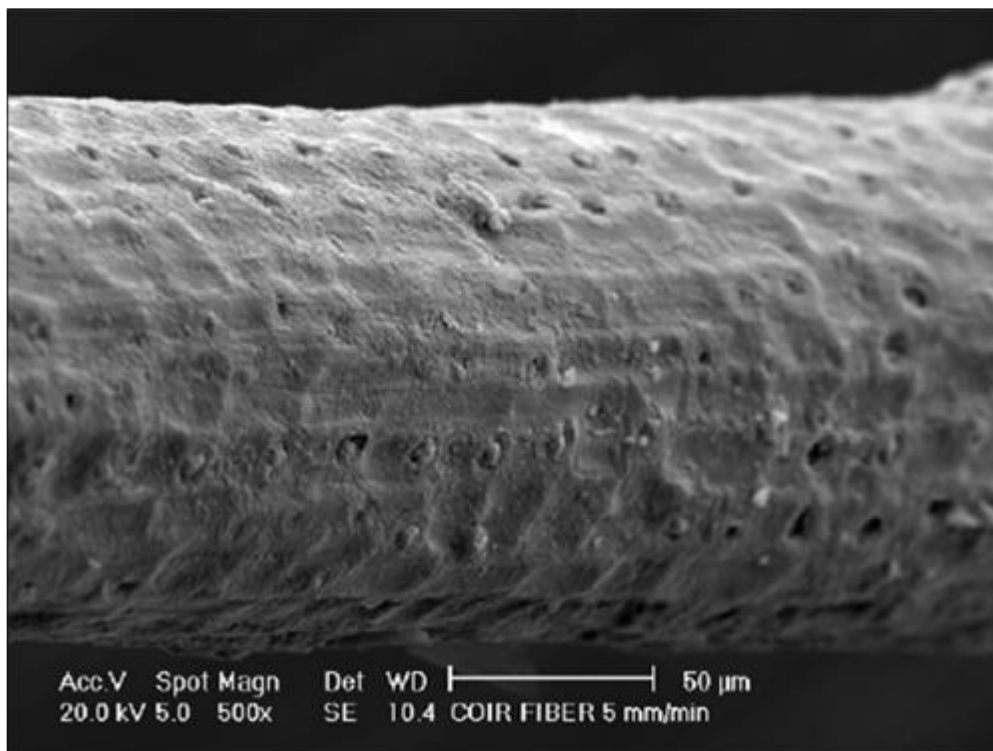
Tomczak (2010), além do ensaio de tração, analisou por meio de microscopia ótica a seção transversal das fibras de coco, constatando que estas são compostas de diferentes tipos de células regularmente arranjadas, com uma lacuna central circular, que podem ser observadas na Figura 6. Por meio de microscopia eletrônica analisou tanto a superfície da fibra de coco, conforme a Figura 7, quanto as fraturas dessa fibra a diferentes velocidades, que podem ser observadas na Figura 8 a uma velocidade de 10 mm/min e na Figura 9 a 50 mm/min.

Figura 6 – Microscopia ótica da fibra de coco (a) 20x e (b) 50x



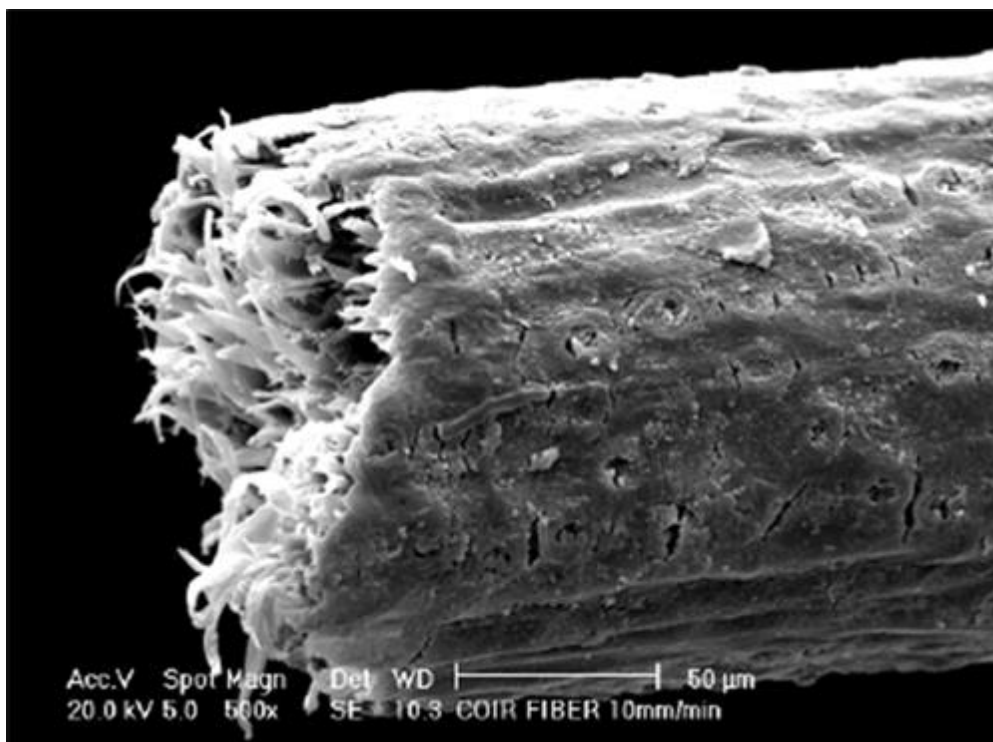
Fonte: Tomczak (2010, p.48)

Figura 7 – Microscopia eletrônica da superfície da fibra de coco



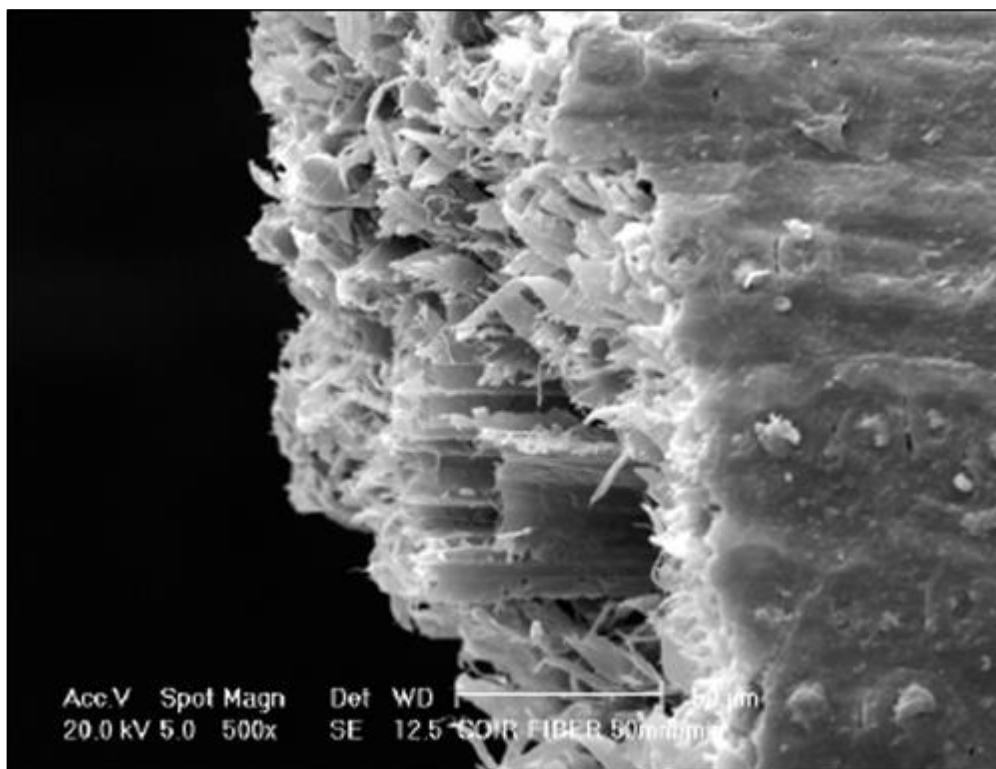
Fonte: Tomczak (2010, p.49)

Figura 8 – Microscopia eletrônica de fratura da fibra de coco a velocidade de 10 mm/min



Fonte: Tomczak (2010, p.49)

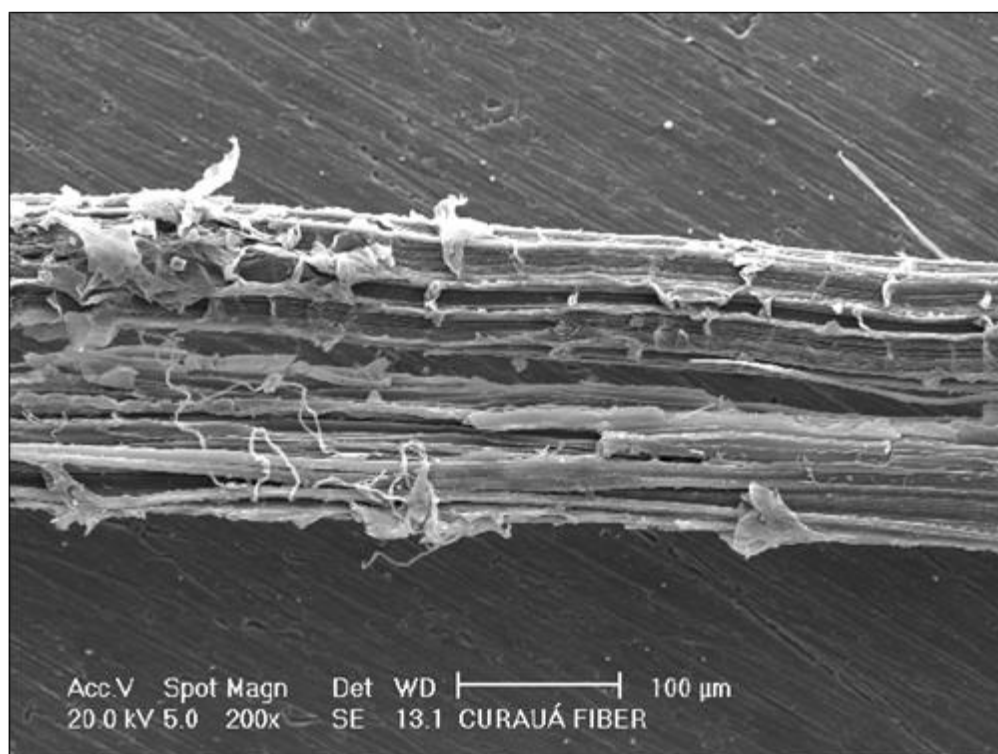
Figura 9 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de coco velocidade de 50 mm/min



Fonte: Tomczak (2010, p.49)

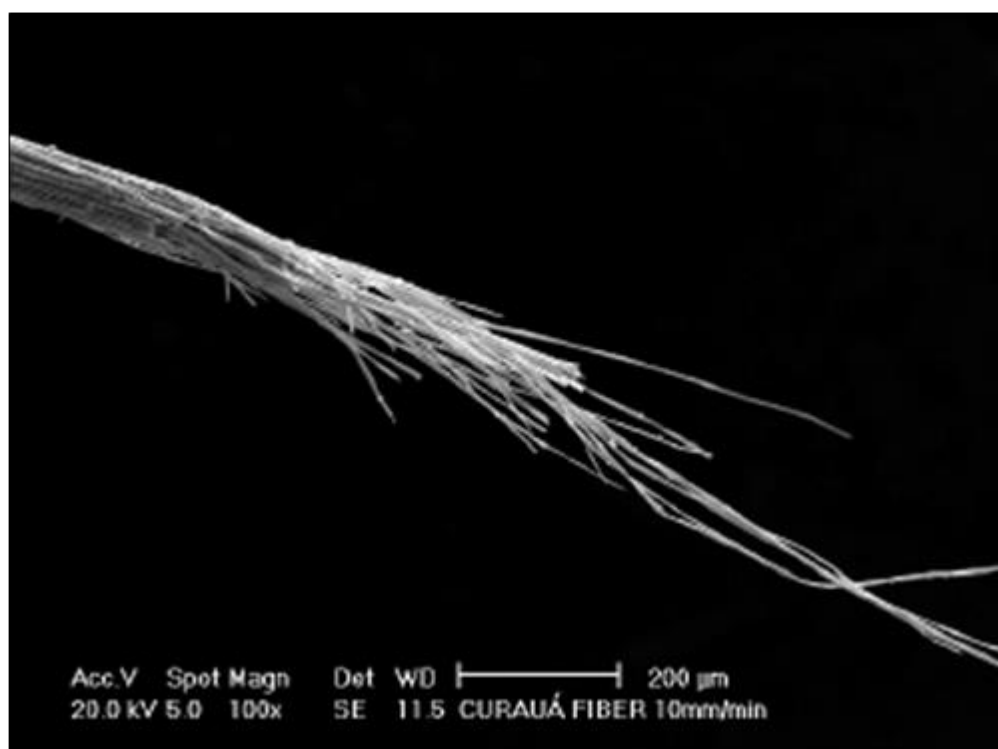
As fibras de curauá foram analisadas por Tomczak (2010), também por microscopia eletrônica, na qual a superfície da fibra pode ser vista na Figura 10 e as fraturas podem ser analisadas a diferentes velocidades, por meio das Figuras 11, 12 e 13, onde é observado que as fraturas têm comportamento frágil e as microfibrilas sofrem arrancamento independentemente da velocidade de ensaio.

Figura 10 - Microscopia eletrônica da superfície da fibra de curauá



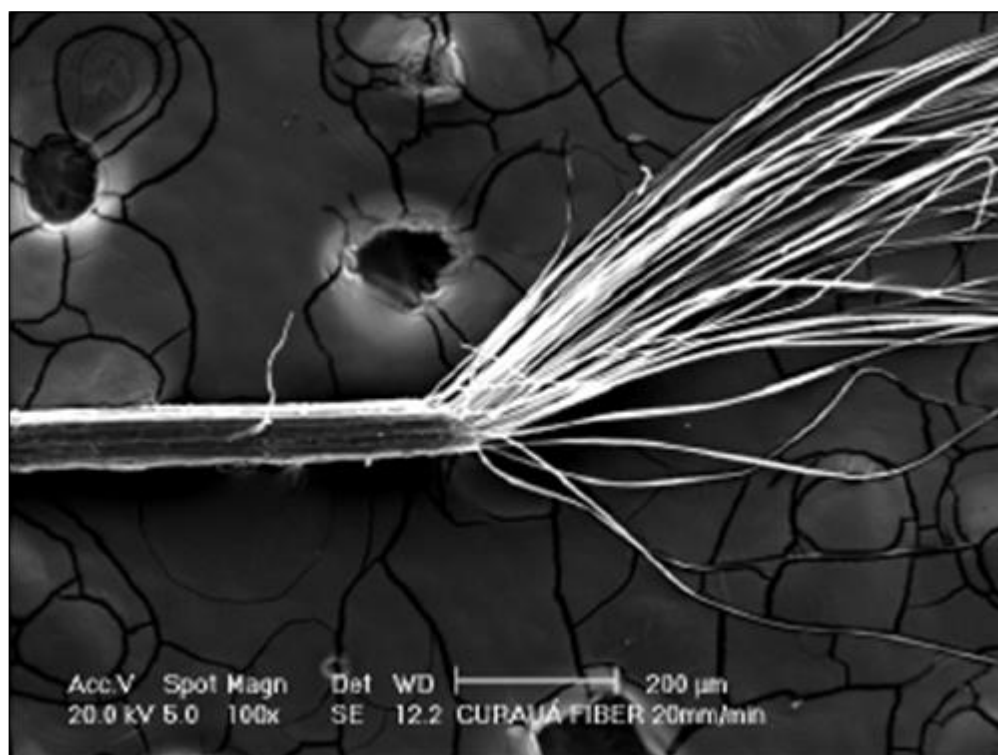
Fonte: Tomczak (2010, p.65)

Figura 11 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de curauá a uma velocidade de 10 mm/min



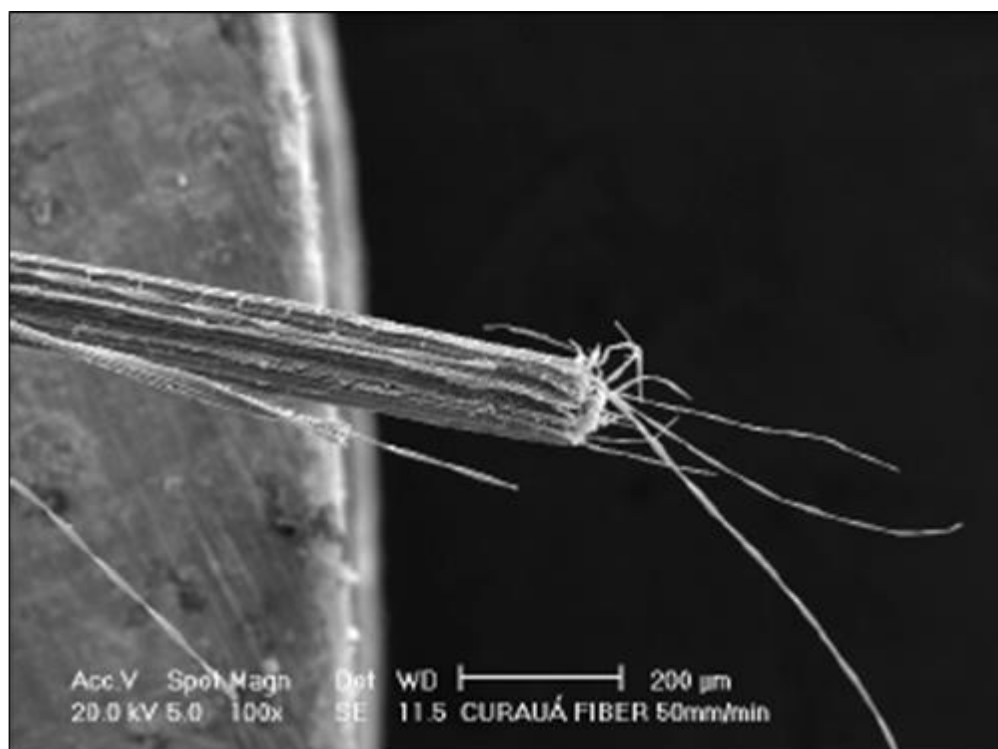
Fonte: Tomczak (2010, p.64)

Figura 12 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de curauá a uma velocidade de 20 mm/min



Fonte: Tomczak (2010, p.64)

Figura 13 - Microscopia eletrônica de fratura da fibra de curauá a uma velocidade de 50 mm/min



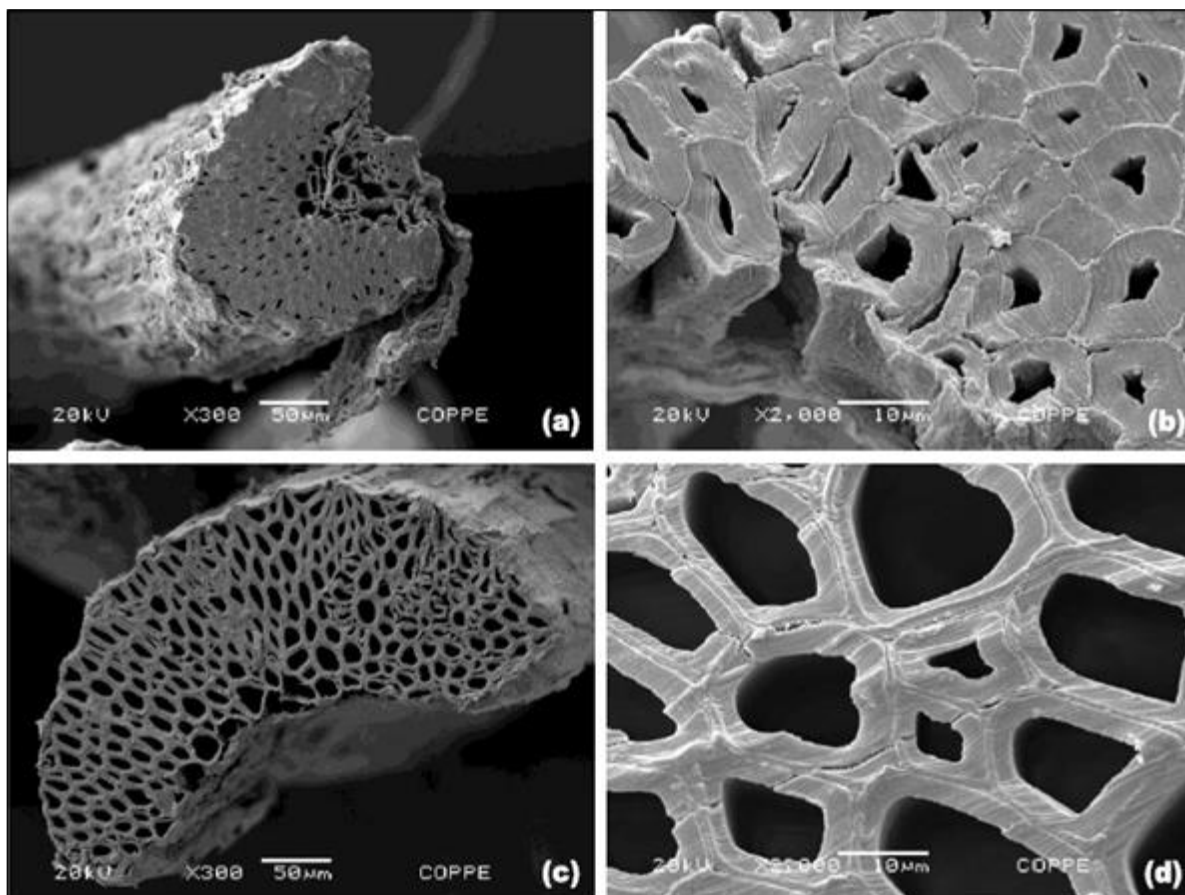
Fonte: Tomczak (2010, p.64)

Quando utilizadas como reforço em compósitos cimentícios as fibras naturais apresentam problema de durabilidade ao serem expostas a ambientes úmidos, a mineralização da fibra, processo que ocorre devido a migração principalmente do hidróxido de cálcio (CaOH_2) resultante da hidratação do cimento para a estrutura da fibra. Essa mineralização resulta na redução da resistência pós-primeira fissura e tenacidade (SILVA, 2009). O problema de durabilidade está relacionado principalmente à decomposição da lignina e da hemicelulose presentes na estrutura da fibra (GRAM, 1988 apud FERREIRA, 2012, p. 7).

Diversos estudos vêm sendo realizados em relação a durabilidade dessas fibras quando usadas como reforço em elemento cimentício, como ciclos de molhagem e secagem, imersão em água quente, envelhecimento natural, impregnação da fibra com agentes bloqueadores de água, selagem do sistema de poros da matriz, redução da alcalinidade da matriz, e também a combinação de alguns desses (SILVA, 2009).

Ferreira (2012) submeteu fibras de sisal a 10 ciclos de molhagem e secagem, tratamento conhecido como hornificação, que se mostrou efetivo quanto à diminuição de absorção de água, assim como ocasionou redução expressiva da variação da seção transversal das fibras. Nas fibras sem tratamento a área média das fibras secas foi de $0,027\text{mm}^2$ e das fibras saturadas de $0,037\text{ mm}^2$ (diferença de 27%), enquanto as fibras hornificadas apresentaram seção média de $0,029\text{ mm}^2$ estando secas e $0,035\text{ mm}^2$ quando saturadas (diferença de 17%). Essa redução da variação da seção das fibras, assim como uma redução do lúmen e a expansão das paredes celulares, podem ser observadas nas imagens obtidas por MEV mostradas na Figura 14.

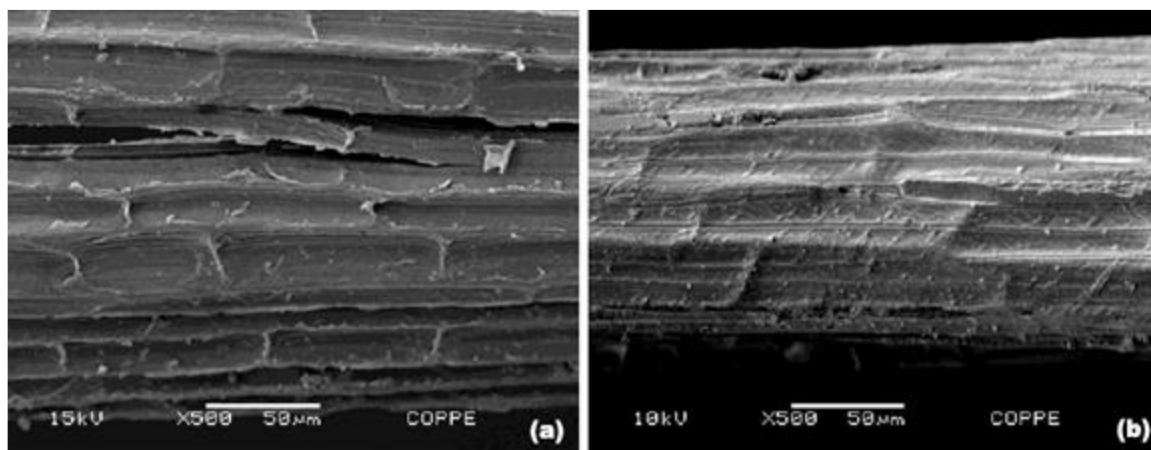
Figura 14 – Seção transversal e detalhamento de fibras de sisal tratadas (a)(b) e não tratadas (c)(d)



Fonte: Ferreira (2012, p.64)

Ferreira (2012) analisou também a microestrutura da superfície das fibras de sisal, e observou por meio da Figura 15 que a superfície das fibras tratadas apresentam uma “esfoliação” devido às lavagens que estas foram submetidas.

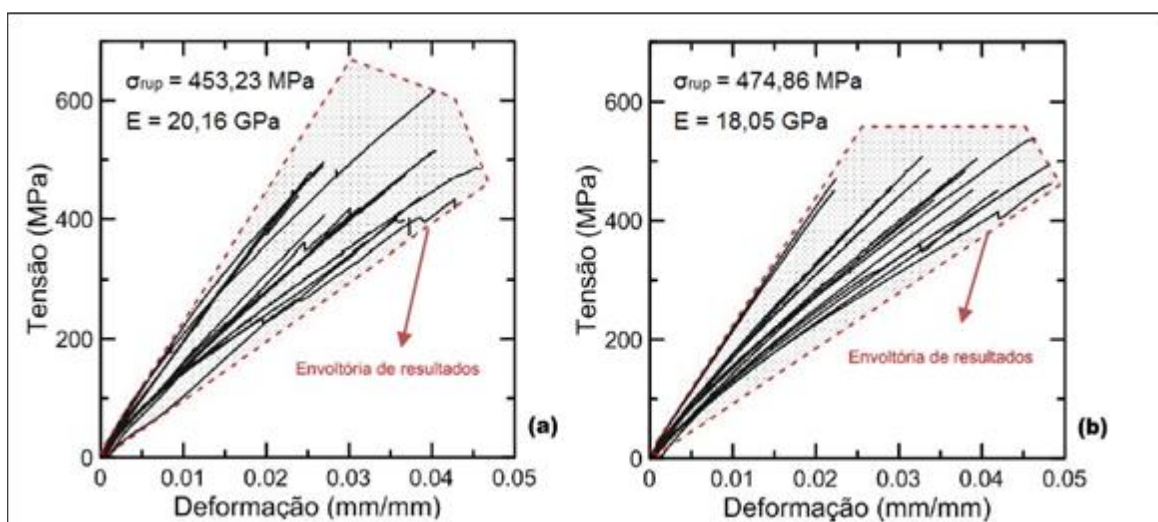
Figura 15 - Superfície de fibras de sisal tratadas (a) e não tratadas (b)



Fonte: Ferreira (2012, p.65)

Ensaio de tração direta antes e após a hornificação das fibras de sisal também foram realizados por Ferreira (2012), que obteve as curvas de tensão x deformação conforme mostrado na Figura 16. Por meio destas, observou que o tratamento alterou bastante a deformação das fibras (acréscimo em torno de 60%), reduziu o módulo de elasticidade (cerca de 16%) e elevou a tensão última (aproximadamente 11%).

Figura 16 – Curvas tensão x deformação das fibras de sisal não tratadas (a) e hornificadas (b)



Fonte: Adaptado de Ferreira (2012, p.66)

2.3 Compósitos cimentícios reforçados com fibras

Nos compósitos cimentícios reforçados com fibras, três questões devem ser consideradas: matriz cimentícia, distribuição das fibras e interface fibra-matriz.

2.3.1 Matriz

A matriz pode ser um micro concreto (cimento + areia + água) ou concreto (brita + areia + água + cimento). Micro concretos reforçados com fibras são comumente aplicados em chapas finas, usadas para revestimento, nessa matriz as fibras agem como reforço primário, ocupando entre 5 a 15% do volume do compósito. Já nos concretos as fibras ocupam volume inferior a 2% e atuam nessa matriz como reforço secundário, já que o reforço primário é feito por barras de aço. Em casos de uma formulação de matriz mais avançada, por meio do controle reológico e da microestrutura da mistura, utilizando a combinação de dispersantes e agentes de

enchimento é possível chegar a ocupação de 6% do volume, proporcionando ao compósito um reforço mais eficaz (BENTUR; MINDESS, 2007).

Quando fibras vegetais são utilizadas como reforço em matrizes cimentícias é preciso garantir a durabilidade das fibras nesse meio alcalino. Uma forma de melhorar a durabilidade é por meio de adições minerais. Estas adições promovem reações pozolânicas, que consomem o hidróxido de cálcio da matriz, formando silicato de cálcio hidratado (CSH) e tornando a matriz livre de hidróxido de cálcio (CH) (MELO FILHO, 2012).

Gram (1988) apud Silva (2012, p. 6) obteve resultado promissor com a substituição de 45% do cimento por fumo de sílica.

Mohr, Biernacki e Kurtis (2007) estudaram misturas binárias, ternárias e quaternárias de fumo de sílica, escória, cinza volante, metacaulim e cinzas vulcânicas substituindo parcialmente o cimento. Não apresentaram degradação após 25 dias as misturas com substituição parcial do cimento por 90% de escória, 30% de metacaulim ou mais de 30% de fumo de sílica.

Silva (2009) desenvolveu uma matriz com substituição de 50% do cimento por argila calcinada, o que resultou em uma baixa quantidade de CH.

Melo Filho (2012) verificou que a substituição de 50% do cimento Portland, em massa, por metacaulinita foi suficiente para consumir totalmente o hidróxido de cálcio da matriz, não prejudicando a resistência à compressão.

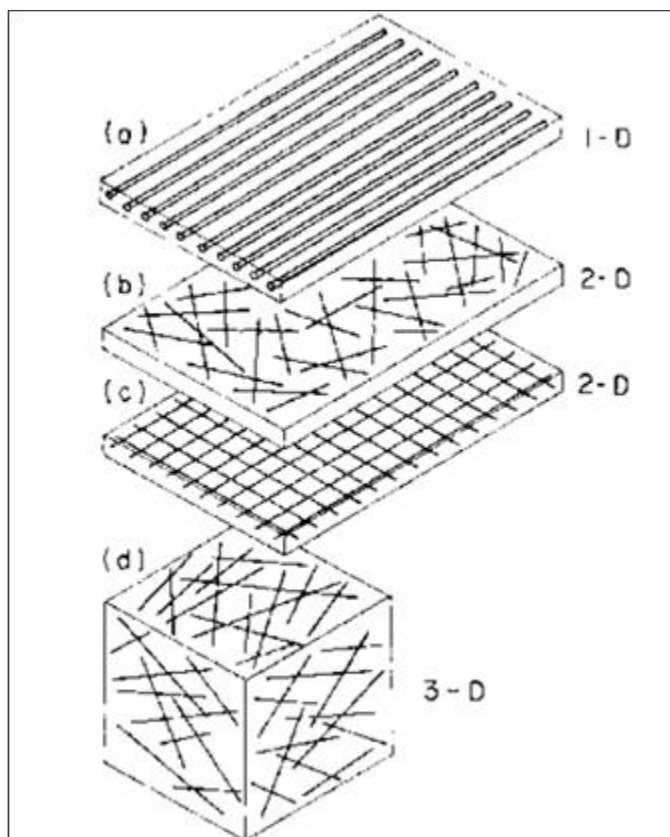
2.3.2 Distribuição de fibras

Existem nitidamente dois tipos de reforços: reforço contínuo com fibras longas, que são incorporadas na matriz por meio de técnicas como enrolamento filamentar ou dispostas em camadas, e o reforço com fibras curtas (<50 mm) que são adicionadas a matriz por meio de métodos como pulverização e mistura. A matriz reforçada pode ser classificada ainda de acordo com a dispersão das fibras que podem ser em uma, duas ou três direções, como mostrado na Figura 17 (BENTUR; MINDESS, 2007).

As fibras alinhadas de forma contínua, são dispostas na direção preferida, porém, esse tipo de reforço não é muito comum em compósitos cimentícios. No caso de fibras dispersas na matriz, as fibras assumem uma orientação aleatória, entretanto, mesmo nesse sistema a distribuição das fibras não ocorre de maneira uniforme. Se o comprimento da fibra for superior a espessura do compósito, as fibras irão assumir

uma distribuição em 2D, como visto na Figura 17 (b), caso comum em componentes finos (BENTUR; MINDESS, 2007).

Figura 17 - Classificação arranjo de fibras



Fonte: Bentur e Mindess (2007, p.14)

2.3.3 Interface fibra-matriz

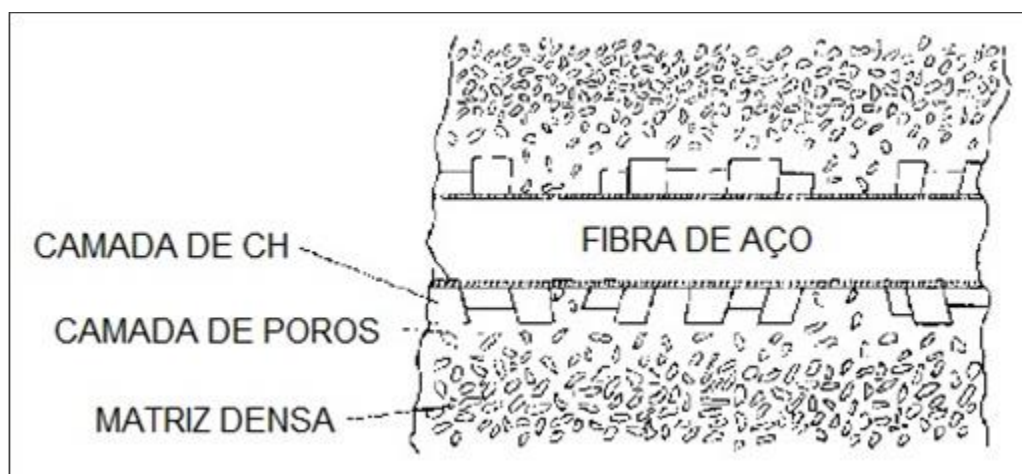
Os compósitos cimentícios são caracterizados por uma zona de interface. A natureza e o tamanho dessa zona dependem do material da fibra e tecnologia de produção empregada. Essas características da interface fibra-matriz exercem vários efeitos que devem ser levados em consideração, como adesão física e química, atrito fibra-matriz e ancoragem mecânica da fibra. Cada efeito desses é influenciado tanto pela característica da fibra utilizada (volume, geometria, tipo de material, orientação, condição superficial) e da matriz (composição, propriedades físicas e mecânicas, condição de fissuração) (LIMA, 2004).

A matriz é formada por partículas de cimento de diâmetro entre 1 e 100 μm , sendo o diâmetro médio de 10 μm . Na matriz ainda em estado fresco ocorre a hidratação do cimento e são formadas partículas de silicato de cálcio hidratado (CSH

= $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) + hidróxido de cálcio ($\text{CH} = \text{CaOH}_2$). A natureza dessas partículas da mistura fresca tem grande influência sobre a zona de interface e formam espaços cheios de água ao redor das fibras devido a dois efeitos: retenção de água ao redor do reforço e empacotamento ineficiente dos grãos de cimento da zona de interface. Assim, a região da matriz próxima a fibra é mais porosa do que a parte densa característica do restante do compósito, o que acaba retendo água. Diante disso, a medida que ocorre a hidratação do cimento, as partículas em torno da fibra não se consolidam como na matriz densa e grandes quantidades de CH se acumulam nas cavidades existentes (PELED; BENTUR, 1998).

Nas fibras de monofilamento a interface fibra-matriz tem sido estudada principalmente em compósitos cimentícios reforçados com fibras de aço. O elo mais frágil entre a fibra e a matriz não é necessariamente a interface real e pode ser na camada porosa, que se estende de 10 a 40 μm a partir da interface, entre a camada de CH e a parte densa da matriz, como mostrado na Figura 18. Durante o ensaio de arrancamento de uma fibra o cisalhamento ocorre em uma zona de interface que parece ser de 40 a 70 μm (PELED; BENTUR, 1998).

Figura 18 - Zona de interface de um compósito reforçado com fibra de aço



Fonte: Adaptado de Bentur e Mindess (2007, p.22)

2.4 Arrancamento de fibras

Levando em consideração o que se conhece sobre a fibra de sisal, essa apresenta boa resistência à tração, porém, pouca aderência fibra-matriz. Para que

essa aderência seja melhorada é necessário um comprimento grande de fibra para que essa atinja a sua máxima tensão de tração antes de ser arrancada da matriz, contribuindo então para transferência total de tensões na matriz fissurada. Para isso são realizados vários tratamentos químicos e físicos com o intuito de elevar a aderência entre a fibra e a matriz cimentícia, conferindo melhor distribuição das tensões no reforço e alcançando melhor desempenho do compósito (GUIMARÃES, 1987 apud FERREIRA, 2012, p. 2).

Substituindo cimento Portland por micro-sílica e escória, Toledo Filho (1997) apud Ferreira (2012, p. 15) realizou ensaio de arrancamento e notou um aumento de 24% na carga de decoesão e acréscimo de 9 a 20 % da carga de ruptura, melhorias que atribuiu a redução dos poros da matriz devido aos materiais finos e conseqüentemente a elevação da aderência fibra-matriz.

Silva et al. (2011), em compósito reforçado com fibra sisal com comprimentos de embebiamento de 10 e 40 mm, substituiu 50% do cimento Portland, sendo 30% por metacaulinita e 20% por tijolo moído calcinado, matriz que aos 28 dias não apresentava presença de hidróxido de cálcio e obteve melhoria da tensão adesional média que variou entre 0,59 à 0,67 MPa.

Ferreira (2012) realizou ensaios de arrancamento em compósitos reforçados com fibras de sisal com dois comprimentos de embebiamento, 25mm e 50mm. A matriz utilizada é apresentada na Tabela 4.

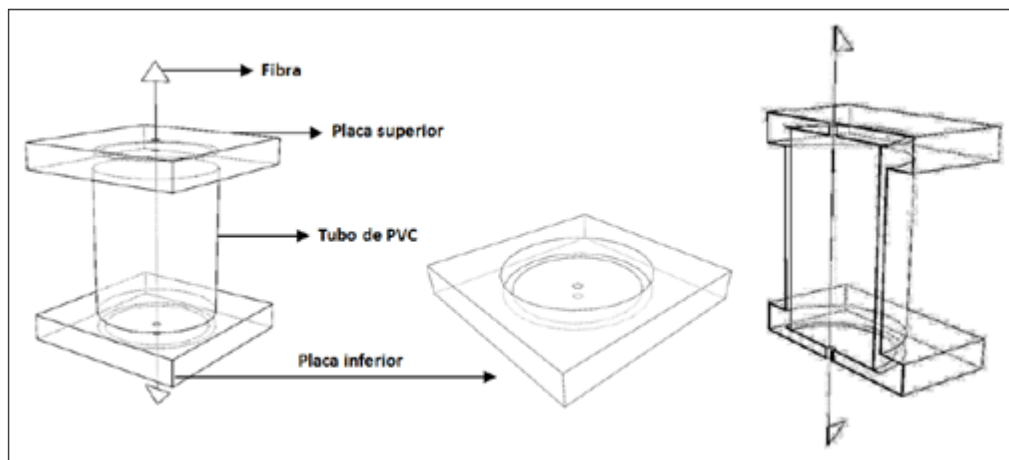
Tabela 4 - Matriz utilizada para o ensaio de arrancamento

Matriz (kg/m ³)						
Cimento	Areia	Metacaulinita	Cinza Volante	Água	Superplastificante	Espalhamento (mm)
362	542	289	434	434	25	450

Fonte: Adaptado de Ferreira (2012)

Ferreira (2012) moldou seus corpos de prova em molde de PVC fixados a uma placa acrílica inferior, e uma superior colocada após a moldagem, ambas com um furo central para o alinhamento correto da fibra, como mostrado nas Figuras 19 e 20.

Figura 19 - Detalhamento do molde do corpo de prova para ensaio de arrancamento



Fonte: Ferreira (2012, p.40)

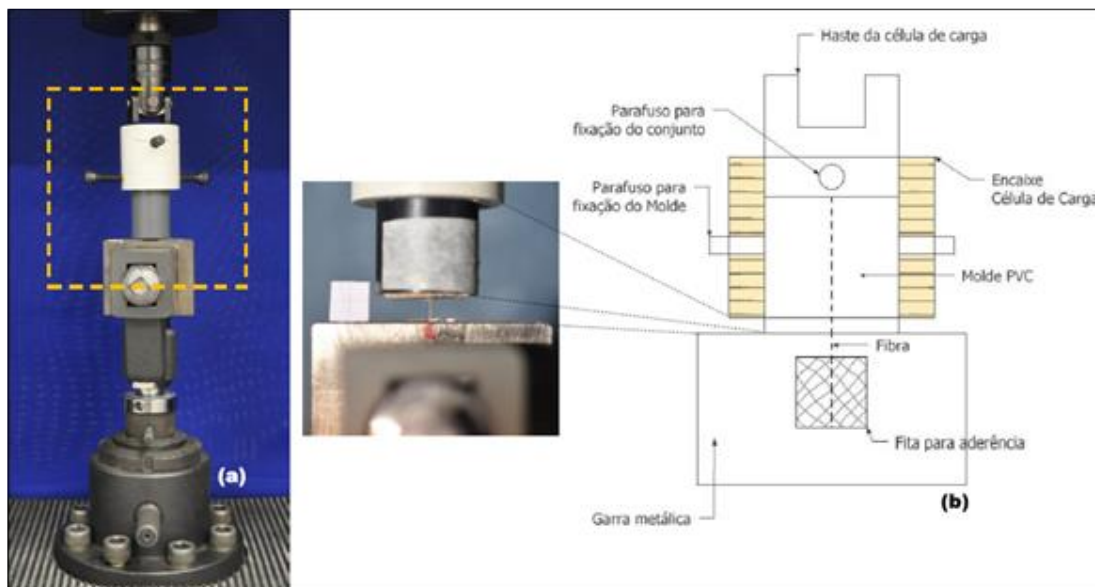
Figura 20 - Moldagem dos corpos de prova para ensaio de arrancamento



Fonte: Ferreira (2012, p.40)

As amostras de Ferreira (2012) foram desmoldados após 24h e o ensaio foi executado de acordo com a configuração mostrada na Figura 21, após 6 dias de cura em câmara úmida e um dia de secagem a 23°C. O ensaio de arrancamento foi executado em uma máquina de ensaios mecânicos Shimadzu AGX-100kN com velocidade de deslocamento do travessão de 0.1mm/min.

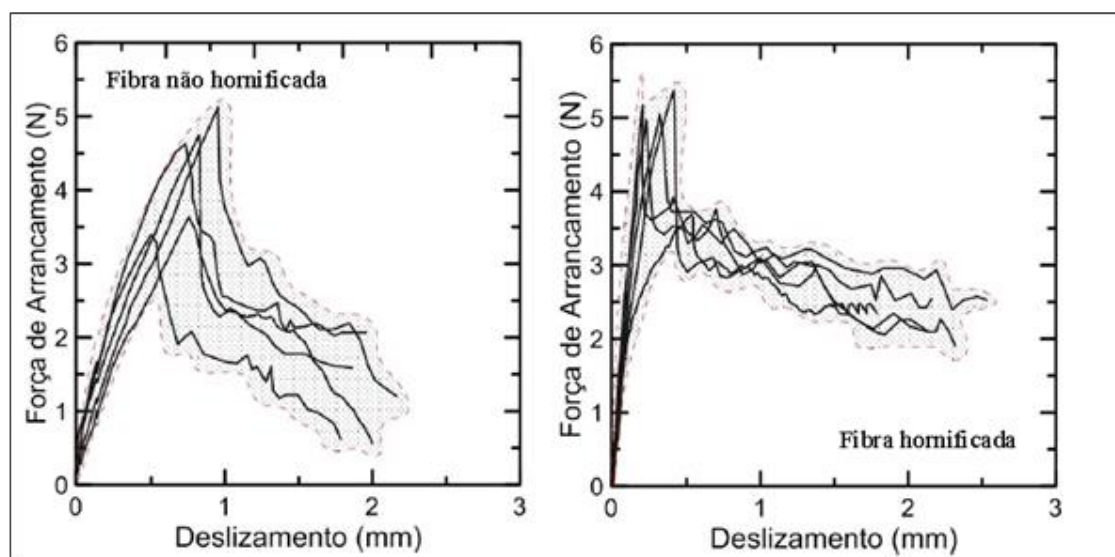
Figura 21 – Configuração do ensaio de arrancamento



Fonte: Ferreira (2012, p.41)

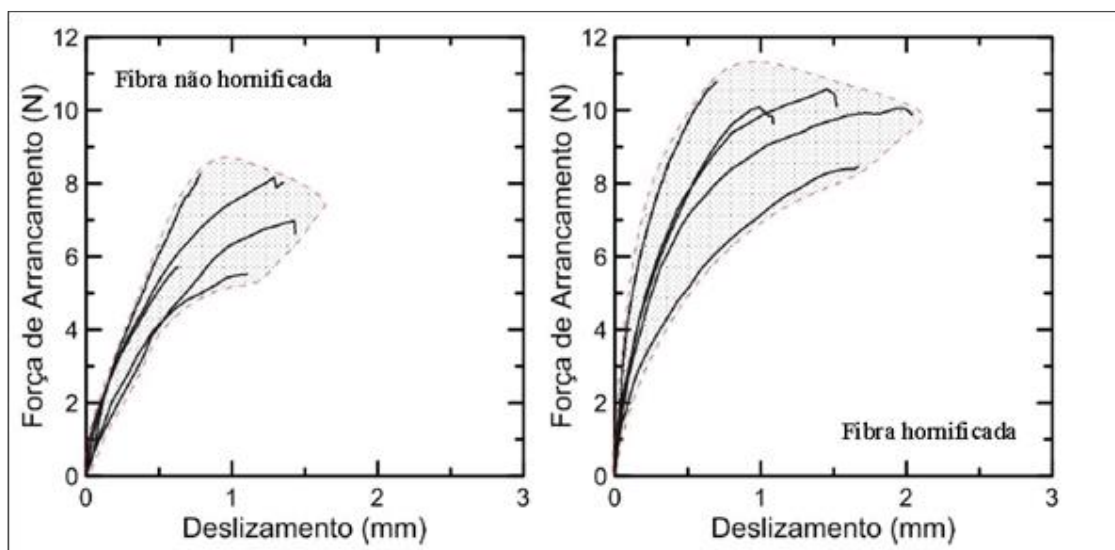
A a partir do ensaio de arrancamento, Ferreira (2012) obteve as curvas força x deslocamento, para as fibras sem tratamento e para as fibras hornificadas. As curvas das fibras com comprimento de embebiamento 25 mm estão apresentadas na Figura 22, e das fibras com comprimento de embebiamento 50 mm mostradas na Figura 23. Com esses resultados observou que nas fibras com hornificação, tanto para comprimento de embebiamento de 25 mm como para 50 mm houve uma melhoria na capacidade de ancoragem da fibra à matriz.

Figura 22 - Curva carga x deslocamento para comprimento de embebiamento 25 mm



Fonte: Ferreira (2012, p.69)

Figura 23 - Curva carga x deslizamento para comprimento de embebimento 50 mm



Fonte: Ferreira (2012, p.69)

Os resultados de Ferreira (2012) indicaram também que para o comprimento de 50 mm de embebimento, ocorreu o rompimento da fibra na maioria das amostras ensaiadas, tanto no exterior do corpo de prova como no interior da amostra, o que indica que esse comprimento é suficiente para atingir a resistência à tração da fibra. Embora esse comportamento tenha sido observado nas fibras sem tratamento e nas fibras tratadas, notou-se que para o mesmo nível de arrancamento da fibra, as cargas mais altas foram obtidas para as fibras hornificadas. Para um deslizamento de 0,5 mm, a carga nas amostras não tratadas ficou entre 3 e 6 N, já nas amostras que passaram por processo de hornificação os valores ficaram entre 5 e 9 N.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados os materiais que foram utilizados na pesquisa e abordados os procedimentos executados para a caracterização da fibra do capim annoni, que foram: ensaio de tração direta das fibras, execução da mistura, moldagem dos compósitos e ensaio de arrancamento de fibras.

3.1 Materiais

Para a produção dos compósitos foram utilizados os materiais listados a seguir:

- cimento Portland CP V-ARI
- metacaulinita (MC)
- cinza volante (CV)
- aditivo superplastificante (SP)
- areia local
- fibra do capim annoni

3.1.1 Cimento Portland e adições minerais

Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado Cimento Portland CP V-ARI puro. As adições minerais foram: metacaulinita (MC) da empresa Metacaulim do Brasil Indústria e Comércio Ltda e cinza volante (CV) proveniente da termoeletrica de Candiota.

3.1.2 Agregado miúdo

Foi utilizado agregado miúdo obtido do leito do rio Ibicuí no município de Manoel Viana – RS, já caracterizado por Mendes (2014) de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Caracterização agregado miúdo

Módulo de Finura	Dimensão Máxima Característica (mm)	Massa Específica (kg/dm ³)
1,37	0,6	2,63

Fonte: Adaptado de Mendes (2014)

3.1.3 Superplastificante

Foi utilizado superplastificante dispersante do tipo PA (Poliacrilato) Glenium 51, com teor de sólidos de 31,20 %, massa específica 1073 kg/m³ e pH 6,2.

3.1.4 Fibras de capim annoni

As plantas do capim annoni, da qual foram extraídas as fibras, foram obtidas no Município de Alegrete, no terreno da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA). O capim foi encontrado em forma de touceiras, como pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Touceiras de capim annoni



Fonte: Elaboração própria

O capim foi removido com a raiz, como pode ser observado na Figura 25, e em seguida no laboratório foram removidos com jato de água os resíduos de solo impregnados, o que possibilitou que as fibras fossem obtidas inteiramente, o que não ocorreria se houvesse tentativa de obter a fibra direto a campo, pois essa seria danificada.

Figura 25 - Capim Annoni colhido ainda com as raízes antes (a) e após a lavagem (b)



Fonte: Elaboração própria

(a)



(b)

Após a lavagem, as fibras foram obtidas manualmente uma a uma, removendo as folhas e raízes até que fosse adquirida somente a fibra. As fibras já selecionadas foram levadas para a estufa a uma temperatura de 60°C, onde foram mantidas por cinco dias. Depois do período de secagem as fibras foram mantidas em temperatura ambiente, conforme a Figura 26.

Figura 26 – Fibras obtidas do capimannoni



Fonte: Elaboração própria

3.2 Tração direta nas fibras

Os ensaios de tração direta nas fibras foram realizados na máquina de ensaios mecânicos Shimadzu AGS-X 5kN, mostrada na Figura 27.

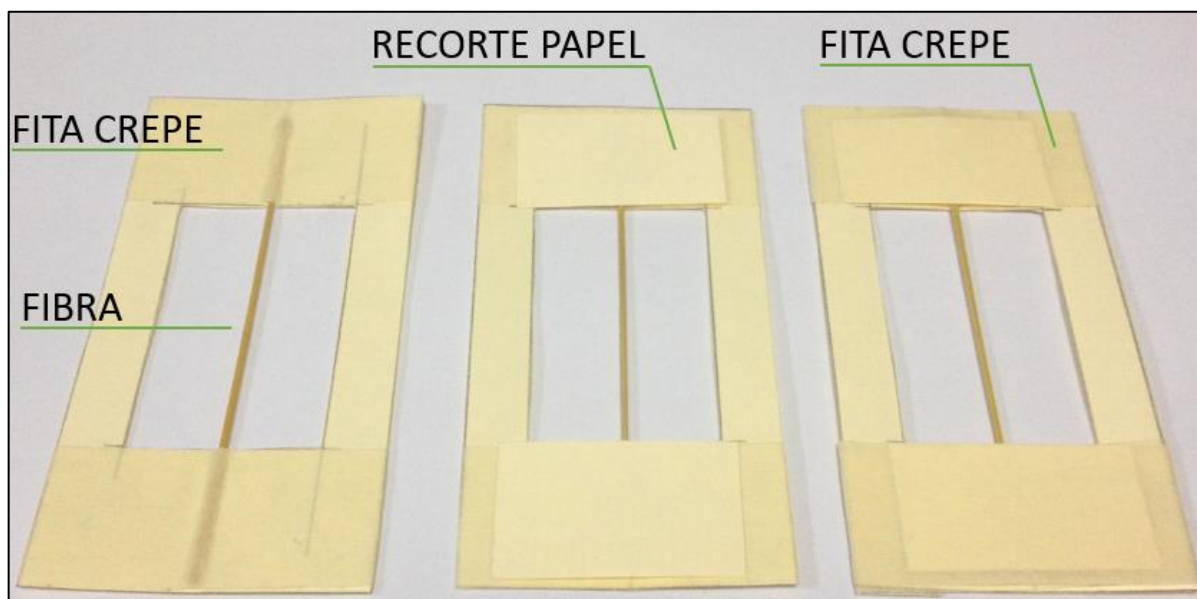
Figura 27 - Máquina de ensaios mecânicos utilizada para os ensaios de tração direta das fibras e para ensaio de arrancamento



Fonte: Elaboração própria

Os ensaios de tração direta foram realizados para três diferentes comprimentos de fibras: 15, 30 e 50 mm. E para cada comprimento de fibra o ensaio foi realizado em diferentes velocidades: 0,5 mm/min, 1 mm/min, 5 mm/min e 10 mm/min. As fibras para os distintos comprimentos foram primeiramente coladas com fita crepe a um molde de papel 120 g, para que fosse mantido o alinhamento das mesmas e destas em relação a máquina. Em seguida foi colado um recorte de papel para a proteção da fibra e para que uma melhora na aderência entre as garras e o corpo de prova fosse adquirida, evitando escorregamento da amostra, conforme a Figura 28.

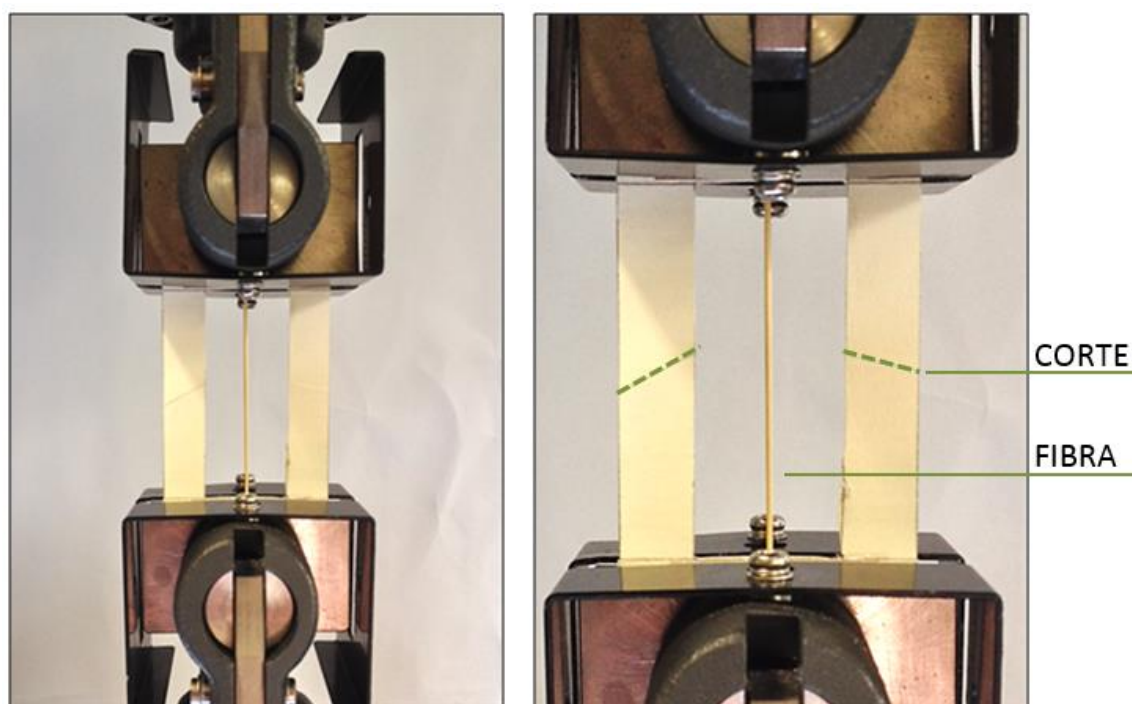
Figura 28- Preparação dos corpos de prova para ensaio de tração



Fonte: Elaboração própria

Posicionado o corpo de prova na máquina, as laterais do molde de papel foram cortadas para que a fibra pudesse ser tracionada, conforme a Figura 29 e de acordo com o ensaio executado por Ferreira (2012).

Figura 29 - Configuração do ensaio de tração (a) e ampliação (b)

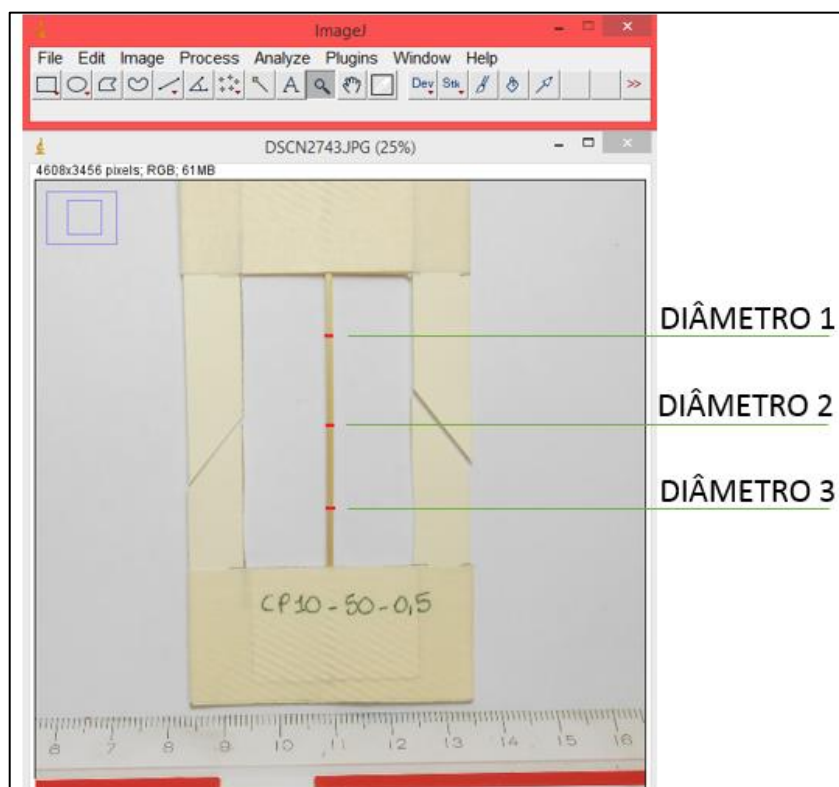


Fonte: Elaboração própria (a)

(b)

Para o cálculo da tensão o diâmetro das fibras foram medidos por meio do programa ImageJ, de acordo com a Figura 30. Foram feitas três medidas e a partir destas foi calculada a média, resultado que foi utilizado para o cálculo.

Figura 30 - Medição diâmetros da fibra



Fonte: Elaboração própria

3.3 Matriz

A matriz utilizada para o compósito cimentício foi a matriz utilizada por Ferreira (2012), para a qual determinou, por meio de ensaios termogravimétricos, que o hidróxido de cálcio foi totalmente consumido aos 28 dias para composição: 33% cimento Portland, 27% metacaulinita e 40% cinza volante. Estabelecido o consumo dos materiais cimentícios, é mostrado na Tabela 6 o traço para a matriz.

Tabela 6 – Consumo dos materiais utilizados para a dosagem das argamassas

Matriz	CP	Areia	MC	CV	Água	a/agl	SP	Espalhamento (mm)
M1	362	542	289	434	434	0,4	25	450

Fonte: Adaptado de Ferreira (2011)

As misturas foram preparadas no misturador mecânico do tipo planetário com capacidade de 5 litros, mostrado na Figura 31.

Figura 31 - Misturador mecânico



Fonte: Elaboração própria

A mistura foi realizada conforme os passos a seguir:

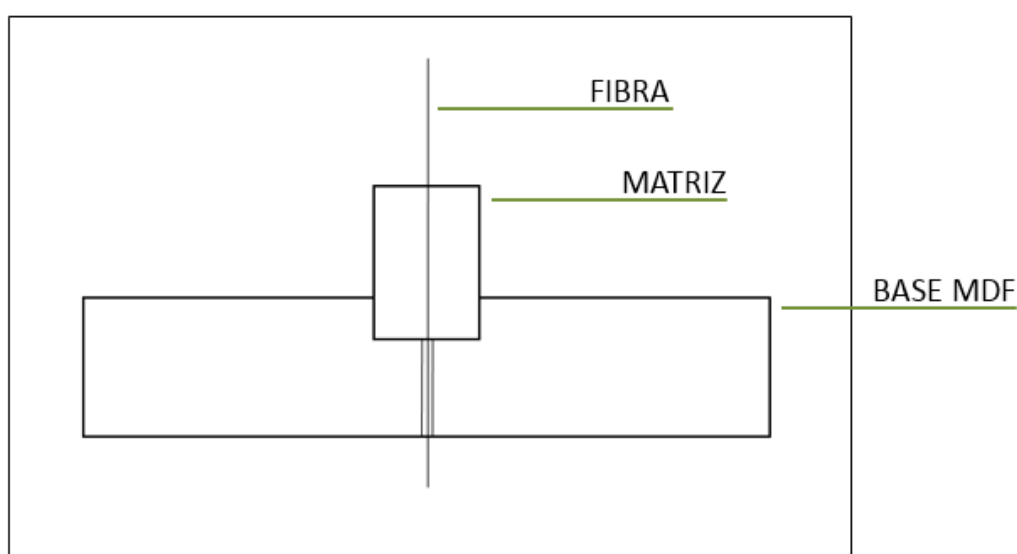
- mistura da água + superplastificante durante 30 segundos no misturador;
- mistura dos materiais finos em recipiente a parte por 1 minuto;
- adicionar materiais finos ao misturador durante 2 minutos;
- misturar todos os materiais presentes no misturador por 2 minutos;
- pausa de 30 segundos para retirada do material retido nas paredes do misturador;
- misturar por 2 minutos todo o conteúdo do misturador.

Após processo de mistura, a argamassa foi lançada por meio de saco de confeiteiro nos moldes de PVC, processo descrito e ilustrado posteriormente.

3.4 Ensaio de arrancamento

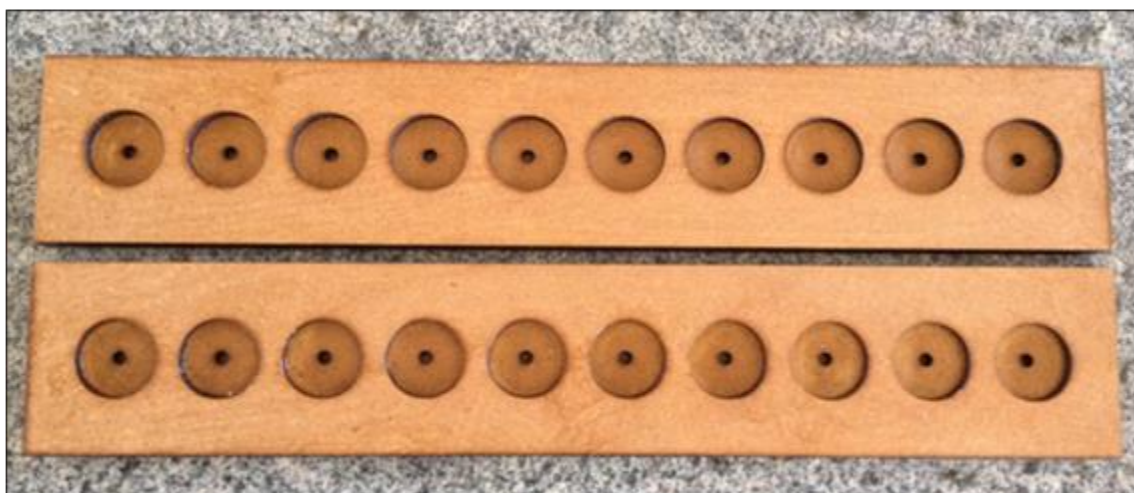
Com base no modelo utilizado por Silva et al. (2011), ilustrado na Figura 32, os compósitos para ensaio de arrancamento foram moldados em seções de tubo PVC de diâmetro 32 mm, que previamente foram encaixados sobre placas de MDF. As placas foram envernizadas e continham um furo central para a passagem das fibras, como pode ser visto na Figura 33.

Figura 32 - Esquema do alinhamento da fibra



Fonte: Elaboração própria

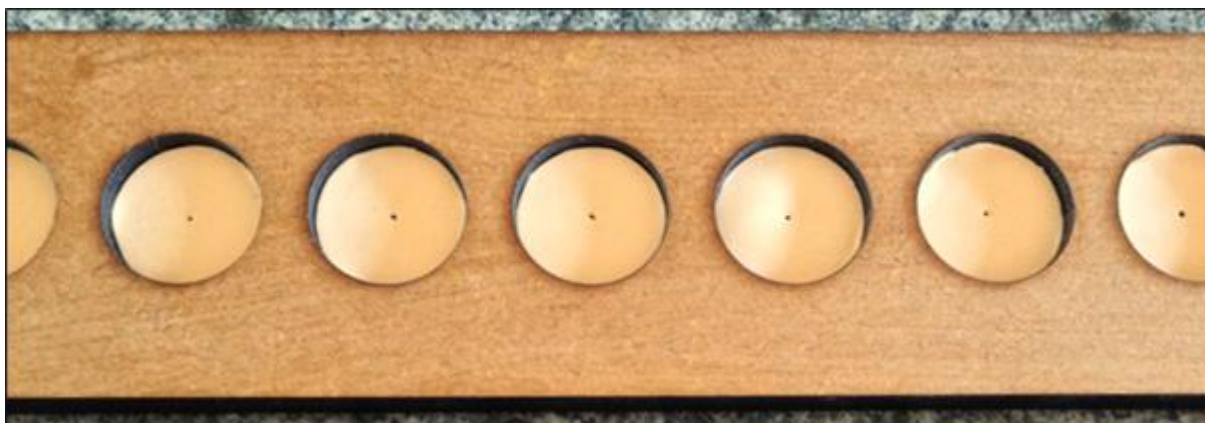
Figura 33 - Placas em MDF envernizadas para encaixe dos tubos PVC



Fonte: Elaboração própria

Para que a argamassa lançada no tubo PVC não escoasse pelo orifício da placa e para manter um melhor alinhamento da fibra em meio a matriz cimentícia foi colocada uma base em EVA com furo central feito por uma agulha, conforme Figura 34.

Figura 34 - Placa de MDF com bases em EVA



Fonte: Elaboração própria

Os tubos de PVC foram então devidamente encaixados na placa e as fibras centralizadas, passando pela base de EVA e pelo furo da placa. Em seguida foi feito o lançamento da mistura nos moldes através de um saco de confeiteiro, como mostrado na Figura 35.

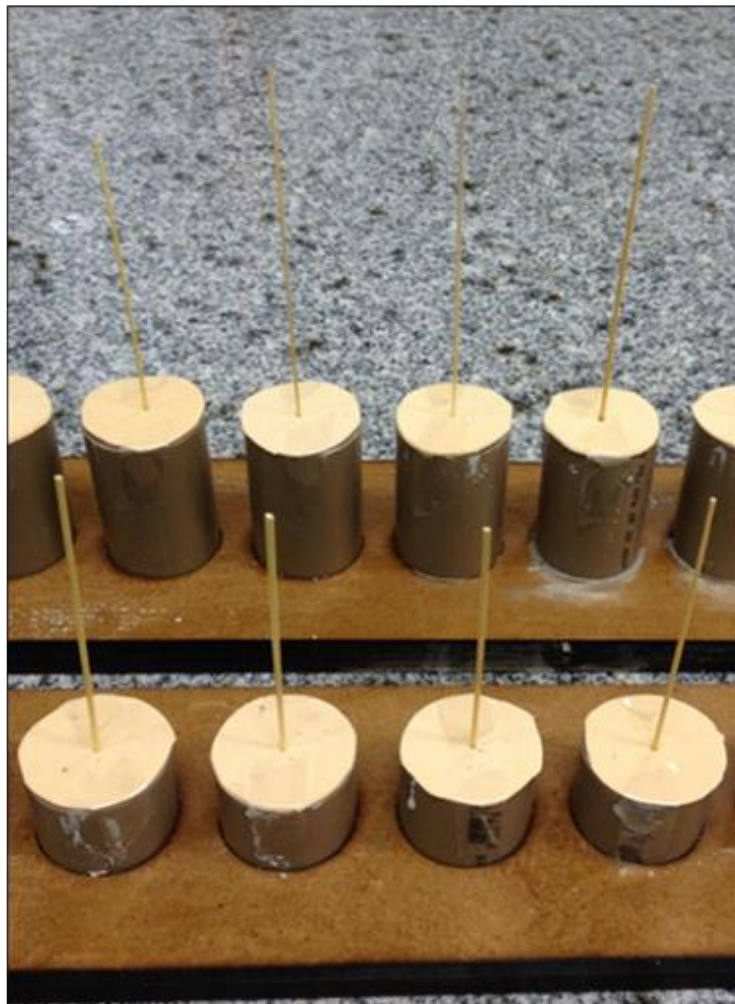
Figura 35 - Lançamento da mistura nos tubos de PVC



Fonte: Elaboração própria

Depois de preenchidos os moldes, uma tampa também em EVA foi colocada na parte superior e fixada com fita durex para manter o alinhamento da fibra no interior da matriz (Figura 36).

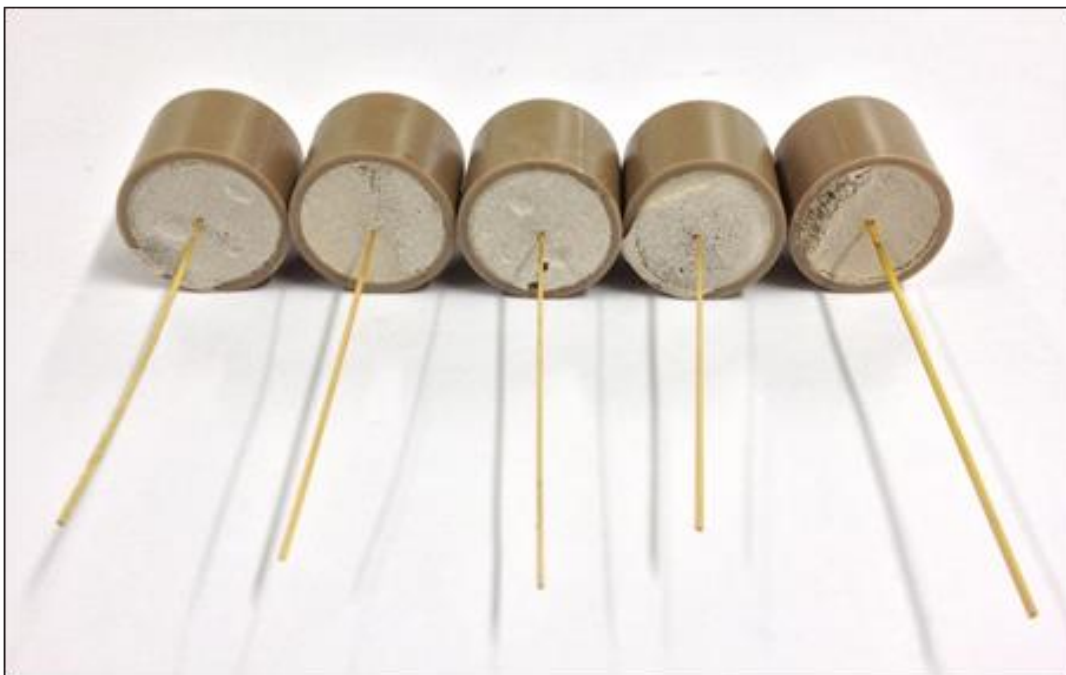
Figura 36 - Corpos de prova moldados com tampa superior em EVA



Fonte: Elaboração própria

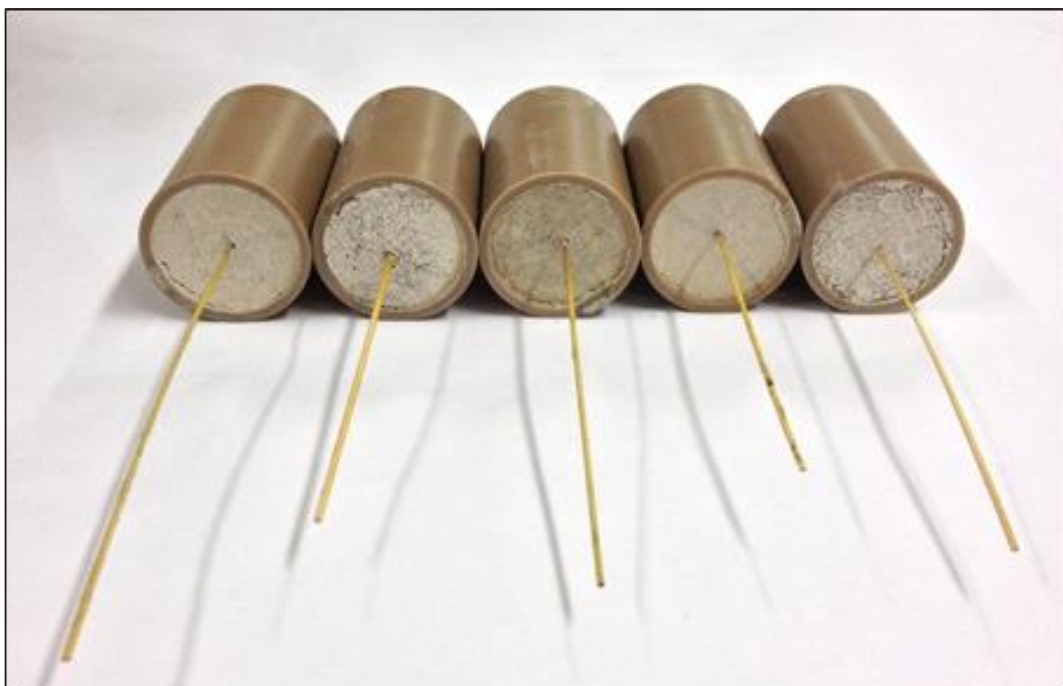
Após 24 horas os compósitos foram removidos da placa e levados a câmara úmida onde permaneceram durante 6 dias, devido a necessidade de um controle de temperatura. Após esse período os corpos de prova foram retirados da câmara úmida e mantidos em temperatura ambiente por 24 horas. Nas Figuras 37 e 38 são mostrados os corpos de prova de 25 e 50 mm prontos para o ensaio.

Figura 37 - Corpo de prova com embebimento de fibra de 25 mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 38 - Corpos de prova com embebimento de fibra de 50 mm



Fonte: Elaboração própria

Em seguida os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de arrancamento, realizado na máquina de ensaios mecânicos Shimadzu AGS-X 5kN, a uma velocidade

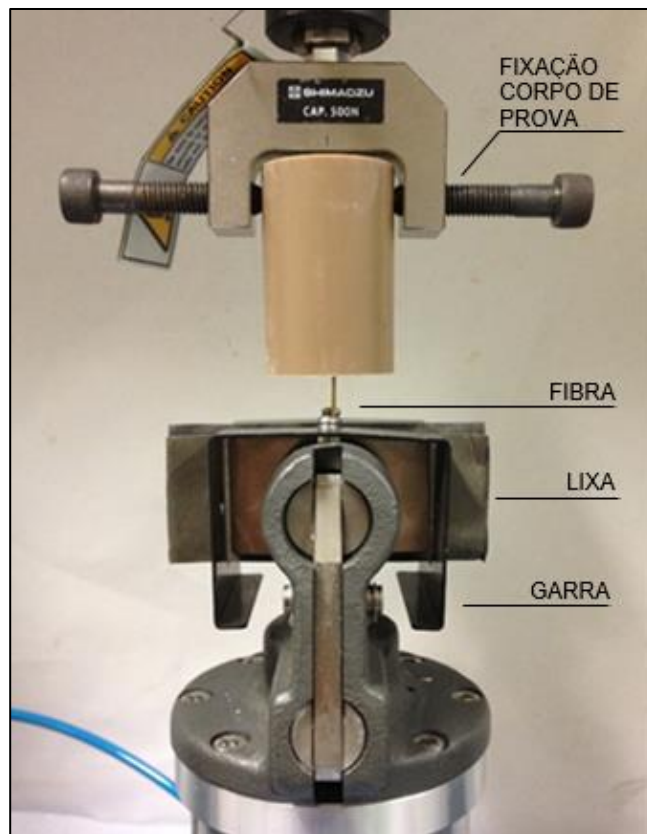
de deslocamento do travessão de 0,05 mm/min, conforme configuração de ensaio mostrada na Figura 39.

Figura 39 - Configuração do ensaio de arrancamento (a) e detalhamento (b)



Fonte: Elaboração própria

(a)



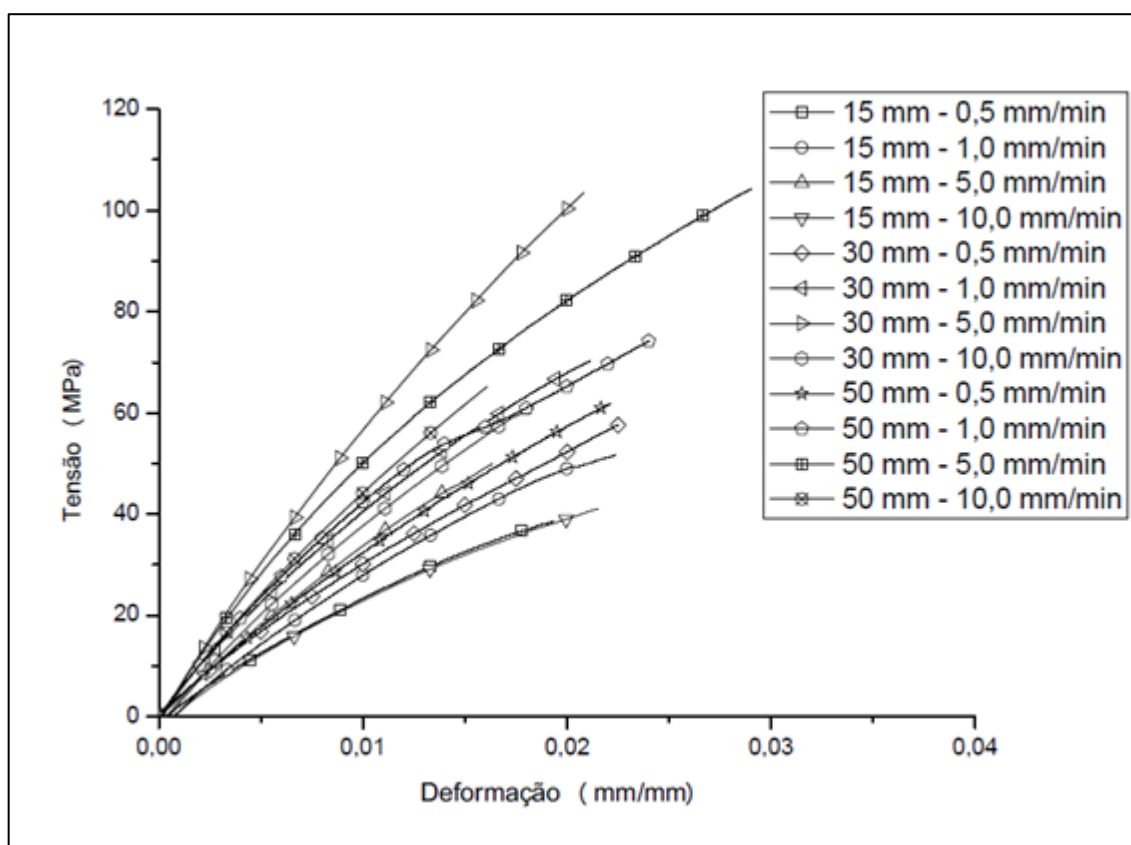
(b)

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Tração direta das fibras

Os ensaios de tração foram realizados para os diferentes comprimentos de fibra e diferentes velocidades, com diâmetros variando entre 0,6 e 1,7 mm. As curvas tensão x deformação típicas para cada caso são mostradas na Figura 40. E as curvas de todos os ensaios encontram-se no Anexo.

Figura 40 - Curvas típicas de σ x ϵ do ensaio de tração direta das fibras



Fonte: Elaboração própria

*Legenda: (15 mm – 0,5 mm/min) comprimento da fibra – velocidade de ensaio

Para cada curva tensão x deformação foram determinados, força, deslocamento, tensão de ruptura e deformação. E partir da região linear das curvas, foram determinados os módulos de elasticidade para as fibras ensaiadas. Os resultados médios são apresentados nas Tabelas 7,8 e 9 em função do comprimento de fibra e podem ser melhor visualizados na Figura 41.

Tabela 7 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da carga de ruptura, deslocamento, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade das fibras de 15 mm ensaiadas para diferentes velocidades

15 mm		Força de Ruptura (N)	Deslocamento (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0,5 mm/min	Média	29,95	0,2781	31,62	0,0186	2,20
	Desvio Padrão	6,11	0,0760	13,63	0,0051	0,48
	Coef. Variação (%)	20,40	27,3148	43,09	27,3411	21,58
1,0 mm/min	Média	36,13	0,2972	36,96	0,0198	2,49
	Desvio Padrão	6,99	0,0931	10,86	0,0062	0,67
	Coef. Variação (%)	19,36	31,34	29,37	31,35	26,92
5,0 mm/min	Média	41,31	0,3633	43,27	0,0242	2,17
	Desvio Padrão	5,12	0,1076	15,02	0,0072	0,60
	Coef. Variação (%)	12,39	29,61	34,71	29,61	27,55
10,0 mm/min	Média	53,69	0,3186	37,80	0,0212	1,95
	Desvio Padrão	13,30	0,0786	10,45	0,0052	0,45
	Coef. Variação (%)	24,78	24,66	27,65	24,66	23,30

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da carga de ruptura, deslocamento, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade das fibras de 30 mm ensaiadas para diferentes velocidades

30 mm		Força de Ruptura (N)	Deslocamento (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0,5 mm/min	Média	40,92	0,5360	53,66	0,0179	3,74
	Desvio Padrão	8,04	0,0731	18,65	0,0024	1,23
	Coef. Variação (%)	19,65	13,64	34,77	13,64	32,83
1,0 mm/min	Média	46,89	0,6001	71,99	0,0200	4,23
	Desvio Padrão	7,14	0,0792	25,95	0,0026	1,37
	Coef. Variação (%)	15,22	13,20	36,04	13,20	32,26
5,0 mm/min	Média	79,55	0,7365	83,66	0,0246	4,39
	Desvio Padrão	15,31	0,1694	29,47	0,0056	1,14
	Coef. Variação (%)	19,25	23,00	35,22	23,00	26,02
10,0 mm/min	Média	73,92	0,5751	59,48	0,0192	3,94
	Desvio Padrão	5,07	0,1361	17,85	0,0045	1,48
	Coef. Variação (%)	6,86	23,67	30,01	23,67	37,68

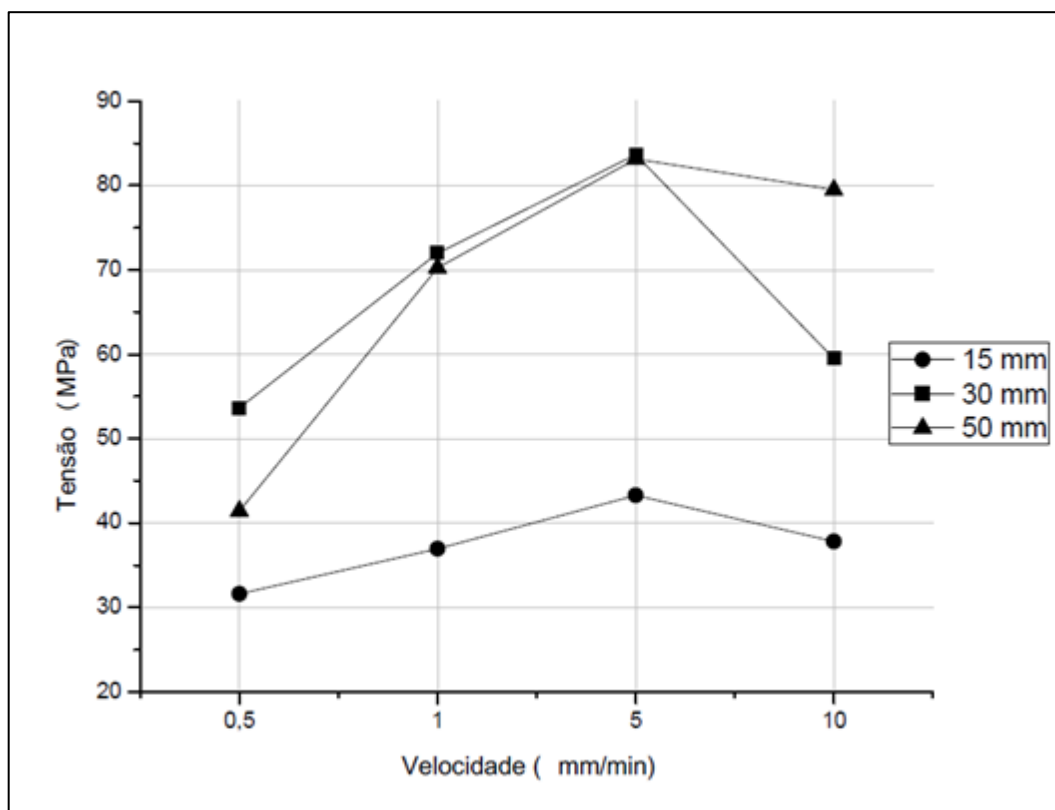
Fonte: Elaboração própria

Tabela 9 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da carga de ruptura, deslocamento, resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade das fibras de 50 mm ensaiadas para diferentes velocidades

50 mm		Força de Ruptura (N)	Deslocamento (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0,5 mm/min	Média	40,65	1,0700	41,45	0,0214	2,80
	Desvio Padrão	5,05	0,1697	10,90	0,0034	0,73
	Coef. Variação (%)	12,43	15,86	26,31	15,86	25,98
1,0 mm/min	Média	50,35	1,0424	70,25	0,0208	4,51
	Desvio Padrão	11,01	0,1927	22,15	0,0039	1,33
	Coef. Variação (%)	21,86	18,48	31,53	18,48	29,58
5,0 mm/min	Média	74,77	1,3291	83,17	0,0266	4,05
	Desvio Padrão	17,72	0,2033	41,86	0,0041	1,93
	Coef. Variação (%)	23,70	15,30	50,32	15,30	47,65
10,0 mm/min	Média	55,41	0,9155	79,51	0,0183	5,27
	Desvio Padrão	13,59	0,1173	35,35	0,0023	2,33
	Coef. Variação (%)	24,53	12,81	44,45	12,81	44,22

Fonte: Elaboração própria

Figura 41 - Valores médios de resistência à tração das fibras de comprimento 15 mm, 30 mm e 50 mm para as velocidades 0,5 mm/min, 1,0 mm/min, 5,0 mm/min e 10,0 mm/min



Fonte: Elaboração própria

Considerando os três diferentes comprimentos de fibras (15, 30 e 50 mm), a resistência à tração cresceu conforme aumentava a velocidade de ensaio, até a velocidade 5 mm/min, e decresceu para a velocidade de 10 mm/min. Os melhores resultados de resistência à tração ocorreram para velocidade de ensaio de 5 mm/min, para todos os comprimentos de fibra.

Para os comprimentos 30 e 50 mm as resistências à tração foram próximas tanto para velocidade 1 mm/min quanto para 5 mm/min, mantendo maior dispersão para velocidades 0,5 e 10 mm/min, enquanto as fibras de 15 mm mantiveram resultados de resistência à tração abaixo em todas as velocidades.

O módulo de elasticidade variou para os três comprimentos de fibra. Para comprimento 15 mm o maior módulo de elasticidade foi determinado para velocidade 1,0 mm/min, enquanto para comprimento 30 mm foi para a velocidade de ensaio 5 mm/min. Já para 50 mm foi encontrado o melhor valor de módulo de elasticidade para 10 mm/min. Devido a essas variações, são apresentados na Tabela 10 os limites

encontrados, tanto de tensão máxima, como de módulo de elasticidade, para os ensaios realizados. Além disso são mostrados dados das fibras de coco, palmira e curauá, que apresentam resultados mais próximos dos obtidos para o capim annoni, estudado nessa pesquisa. Cabe ressaltar que os diâmetros da fibra de capim foram obtidos, considerando a fibra como um cilindro maciço.

Tabela 10 – Variação das propriedades mecânicas do capim annoni

Fibra	Diâmetro (µm)	Módulo Elástico (GPa)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
Sisal*	50 - 200	9,4 – 15,8	568 - 640	3,0 – 7,0
Coco*	100 – 450	4,0 – 6,0	106 – 175	17,0 – 47,0
Palmira*	70 – 1300	4,4 – 6,1	180 – 215	7,0 – 15,0
Capim Annoni	600 - 1700	1,41 – 10,24	14,44 – 158,67	1,02 – 3,24

Fonte: Elaboração própria

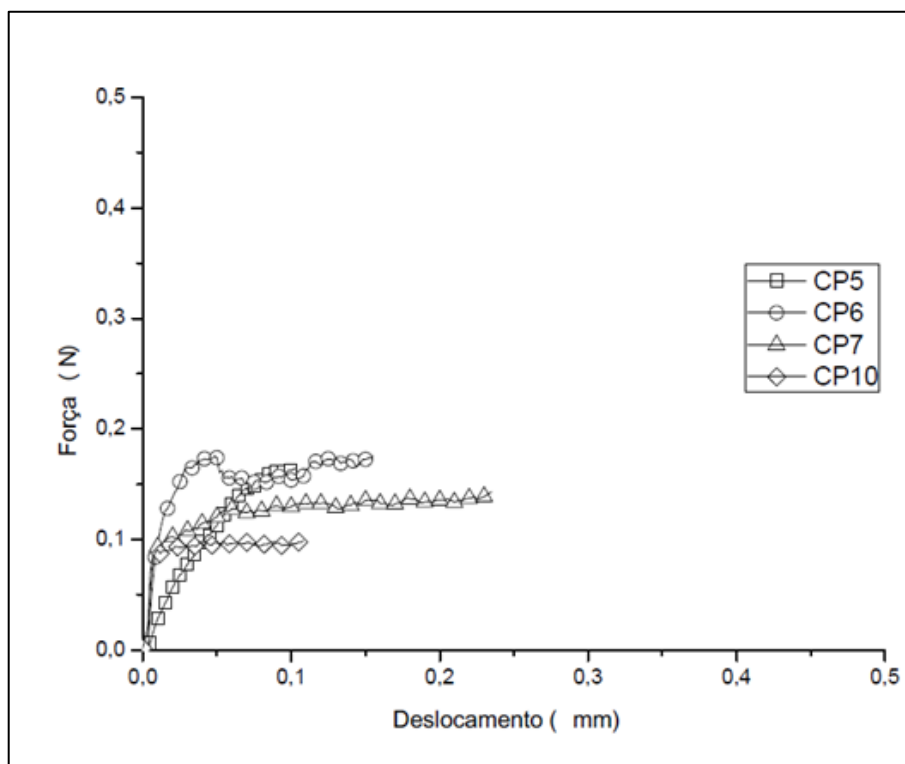
*Dados de Tomczak (2010)

Comparando os valores e comportamento à tração, a fibra de capim annoni em termos de resistência tem valores na ordem dos encontrados para as fibras de coco. Em relação ao diâmetro, o capim annoni apresenta valores superiores aos da fibra de coco e em certo intervalo coincidentes com os da fibra de palmira. Quanto ao módulo de elasticidade o capim annoni apresenta valores superiores aos encontrados para as fibras de coco e palmira e próximos ao módulo elástico da fibra de sisal.

4.2 Ensaio de arrancamento

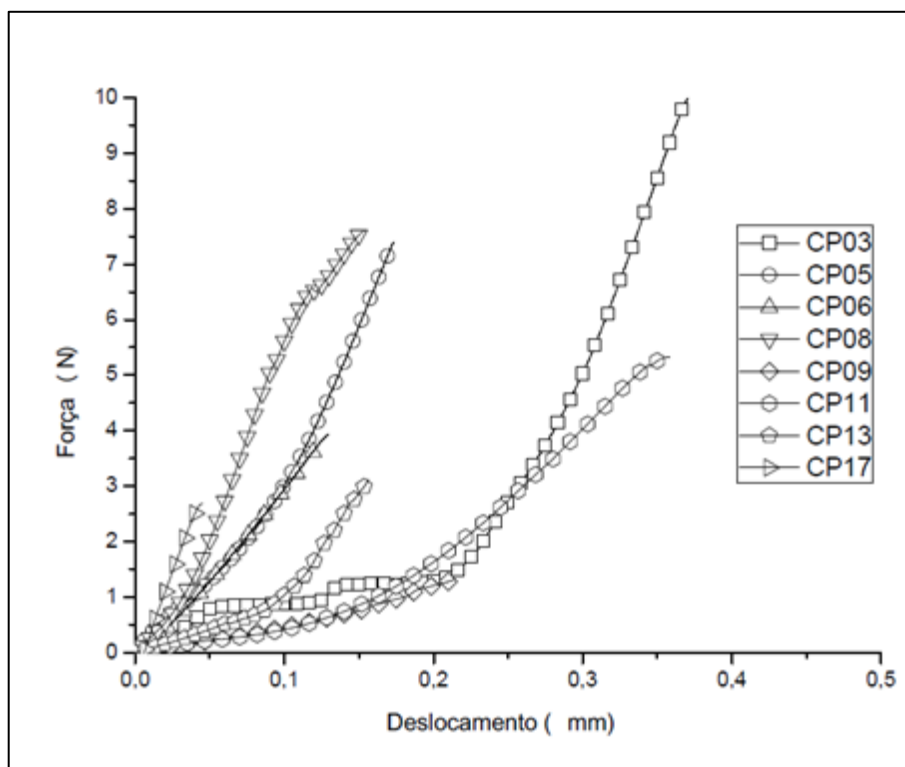
Os ensaios de arrancamento foram realizados para os diferentes comprimentos de embebimento (25 e 50 mm). As curvas força x deslocamento para cada comprimento de embebimento são mostradas nas Figuras 42 e 43.

Figura 42 - Curva força x deslocamento para fibra de comprimento 25 mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 43 - Curva força x deslocamento para fibra de comprimento 50 mm

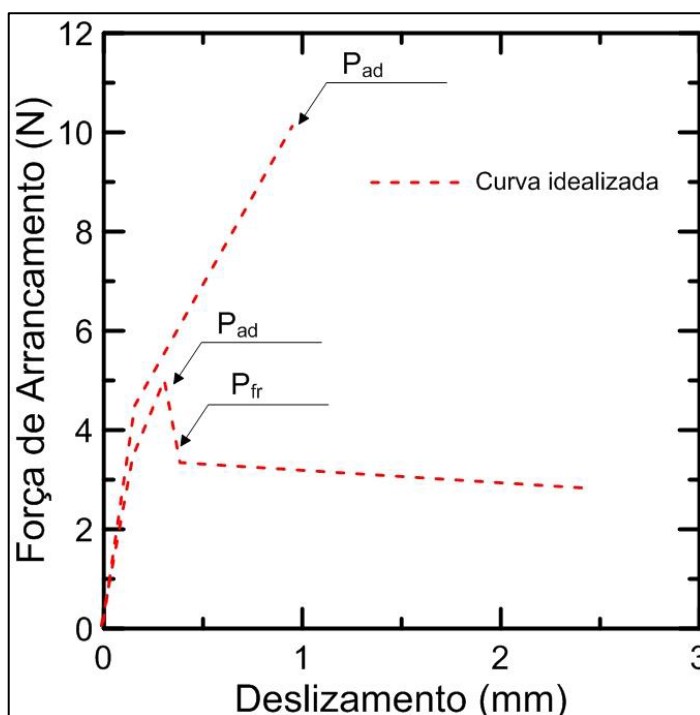


Fonte: Elaboração própria

Para cada curva força x deslocamento foram determinados, força de ruptura, deslocamento e tensão de cisalhamento. A tensão de cisalhamento foi calculada por meio da Equação $\tau = \frac{P}{2\pi rl}$ onde “P” é a carga de arrancamento “l” é o comprimento de embebimento e “r” é o raio da fibra medido por meio do software ImageJ.

Para comprimento de embebimento de 25 mm (ver Figura 42) foi observada uma tensão friccional, onde predomina a aderência existente resultante do processo de aderência friccional (comparar Figuras 42 e 44), que pode ser notada pelas curvas de propagação instável, de acordo com Ferreira (2012). Para comprimento de embebimento 50 mm a tensão observada foi adesional (comparar Figuras 43 e 44).

Figura 44 - Curvas carga de arrancamento x deslizamento idealizadas



Fonte: Ferreira (2012)

Os resultados médios de força, tensão e deslocamento são apresentados nas Tabelas 11 e 12 para os comprimentos de embebimento de fibra de 25 e 50 mm, respectivamente.

Tabela 11 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da força de ruptura, deslocamento e tensão de cisalhamento dos corpos de prova com 25 mm de embebimento de fibra

25 mm			
0,05 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento (mm)	Tensão de cisalhamento (MPa)
Média	0,1455	0,1504	0,0017
Desvio Padrão	0,0338	0,0610	0,0003
Coef. Variação (%)	23,1986	40,5623	18,3622

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 - Valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação da força de ruptura, deslocamento e tensão de cisalhamento dos corpos de prova com 50 mm de embebimento de fibra

50 mm			
0,05 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de cisalhamento (MPa)
Média	4,2037	0,2845	0,0262
Desvio Padrão	2,3464	0,3198	0,0135
Coef. Variação (%)	55,8162	112,4264	51,5228

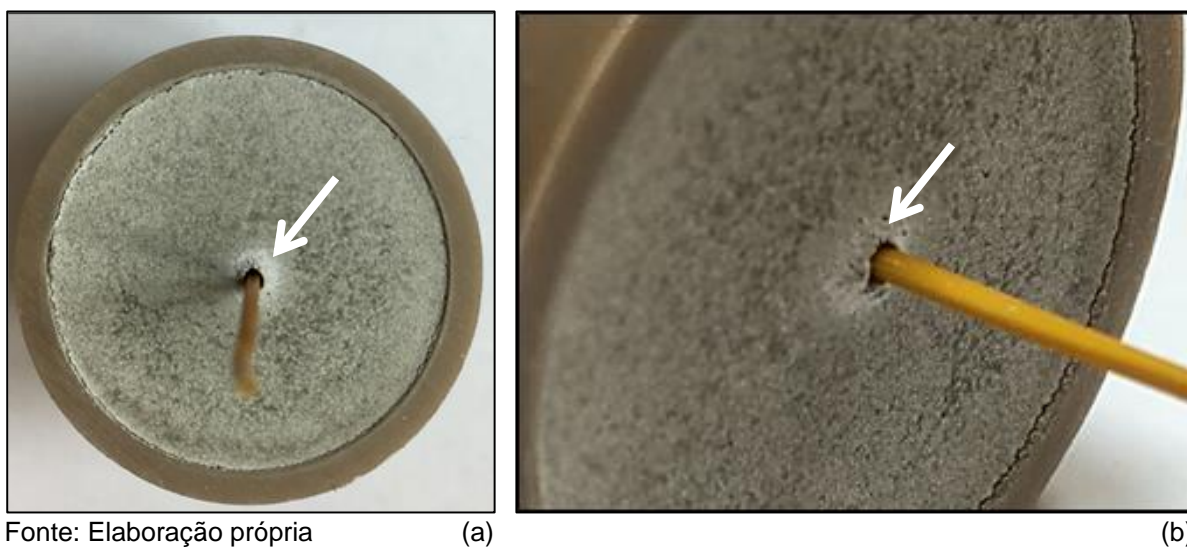
Fonte: Elaboração própria

Ferreira (2012) encontrou para os ensaios de arrancamento da fibra de sisal, tensão de cisalhamento de 0,30 MPa para comprimento de embebimento 25 mm, valor 176 vezes maior que o encontrado para o capim nessa pesquisa, e 0,32 MPa para embebimento 50 mm, valor aproximadamente 12 vezes superior ao encontrado para o capim annoni avaliado nesse trabalho.

Por fim, e com base nos resultados encontrados e na literatura, conclui-se que não foi possível determinar o melhor comprimento de embebimento de fibra nesse estudo, pois não encontrou-se o comprimento necessário para a ruptura da fibra e sim um deslizamento. Essa perda de aderência da fibra pode ser explicada pela variação dimensional da seção transversal da fibra, no comprimento que foi embebido na matriz

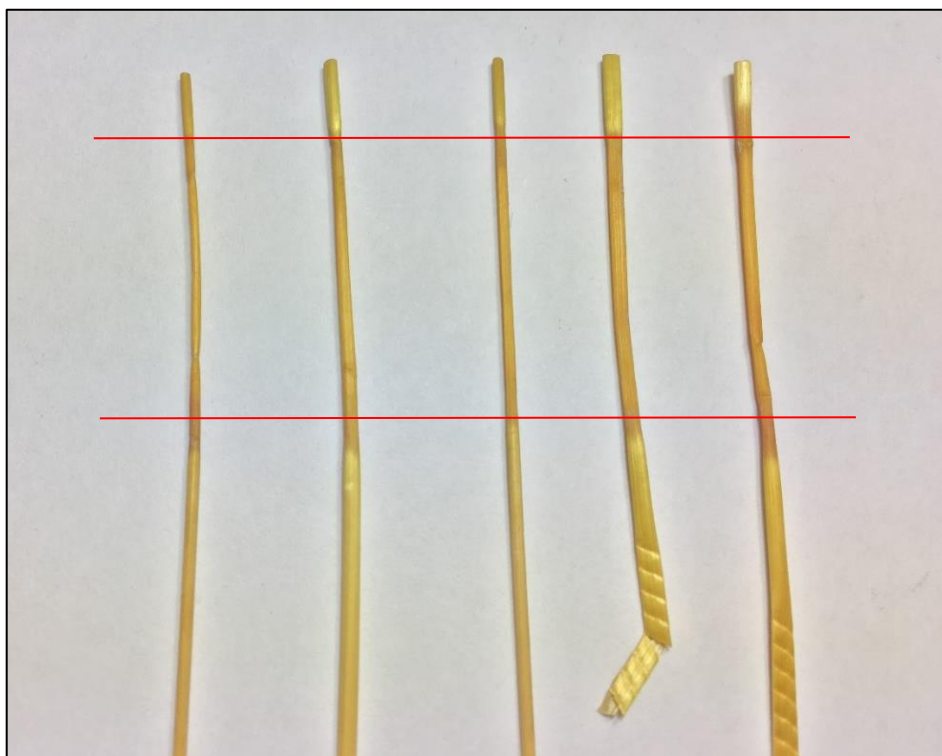
cimentícia. Esse fenômeno pode ser visto na Figura 45, onde é possível observar que ocorreu o descolamento da fibra da matriz cimentícia.

Figura 45 – Descolamento da fibra da matriz cimentícia (a) e ampliação (b)



Para melhor visualização, posteriormente aos ensaios de arrancamento, as fibras foram removidas do interior da matriz. Nas Figuras 46 e 47 é possível observar uma região mais escura (entre as linhas vermelhas) no comprimento de embebiamento da fibra, e que existe uma variação do diâmetro na região. Essa diminuição da seção pode ter ocorrido pelo tempo de secagem, estado de maturação na colheita das fibras, entre outras.

Figura 46 - Fibras removidas dos corpos de prova com embebimento de 25 mm



Fonte: Elaboração própria

Figura 47 - Fibras removidas dos corpos de prova com embebimento de 50 mm



Fonte: Elaboração própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

As principais conclusões retiradas do trabalho são:

Propriedades mecânicas:

- As fibras com 30 e 50 mm de comprimento ensaiadas a uma velocidade de 5 mm/min apresentaram melhores resultados e comportamentos quando submetidas a ensaio de tração direta.

- A resistência à tração das fibras de capimannoni variou de 14,44 a 158,67 MPa, e podem ser comparadas com as das fibras de coco e palmira.

- O módulo de elasticidade variou entre 1,41 e 10,24 GPa, valores superiores aos módulos das fibras de coco e palmira e semelhante ao módulo elástico da fibra de sisal.

Arrancamento das fibras:

- As tensões de cisalhamento obtidas para ensaio de arrancamento foram de 0,0012 a 0,0461 MPa, valores que comparados aos encontrados por Ferreira (2012), são muito baixos e podem ser desprezados.

- Não foi possível determinar o melhor comprimento de embebedimento de fibra para uma melhor aderência fibra-matriz, pois não houve a ruptura da fibra e sim um deslizamento.

- Observou-se a perda de aderência da fibra em relação a matriz, o que resultou somente no deslizamento da fibra, que pode ser explicado pela variação dimensional da seção transversal da mesma, no comprimento que foi embebido na matriz cimentícia.

Para esta pesquisa pode-se dizer que a fibra natural do capimannoni não pode ser utilizada como reforço em compósitos a base de cimento Portland, uma vez que não foi possível determinar de forma aceitável as propriedades de arrancamento das fibras de capimannoni. Diante disso, conclui-se que o presente estudo deve ser ampliado em novas pesquisas.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Para melhor caracterização mecânica da fibra e aumento da aderência fibra-matriz sugere-se que alguns estudos sejam feitos, como:

- determinação da resistência ao arrancamento de fibras tratadas quimicamente;
- caracterização de fibras com diferentes tempos de secagem, assim como para fibras com distintas fases de maturação;
- caracterização de fibras com diâmetros pré selecionados e menos dispersos;

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11578**: Cimento Portland composto – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

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

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. 2 Ed. New York: Taylor & Francis Group, 2007.

FERREIRA, S. R. **Influência da hornificação na aderência fibra-matriz e no comportamento de compósitos cimentícios reforçados com fibras curtas de sisal**. 2012. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2012.

FERREIRA, S. R. et al. Influência de ciclos de molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland. **Revista Matéria**, v. 17, p. 1024-1034, 2012.

KULKARNI, A. G.; SATYANARAYANA, K. G.; SUKUMARAN, K. Mechanical behaviour of coir fibres under tensile load. **Journal of materials science**, Kerala, v. 16, p. 3715-3720, 1981.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. 2004. 263 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MARANGON, et al. Índice de atividade pozolânica da sílica de casca de arroz Silcca Nobre SCI proveniente da combustão em leito fluidizado. **Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis**, Guimarães, v. 1, p. 523-529, mar. 2014.

MELO FILHO, J. A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal**. 2012. 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MENDES, G. G. **Durabilidade de concretos com adição de sílica da casca de arroz à penetração de íons cloretos**. 2014. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete. 2014.

MOHR, B. J.; BIERNACKI, J. J.; KURTIS, K. E. Supplementary cementitious materials for mitigating degradation of kraft pulp fiber-cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 37, p. 1531-1543, 2007.

PELED, A.; BENTUR, A. Reinforcement of cementitious matrices by warp knitted fabrics. **Materials and Structures**, v. 31, p. 543-550, 1998.

REIS, J. C. L. Capim Annoni 2: Origem, Morfologia, Características, Disseminação. In: MACEDO, W. **Reunião Regional de Avaliação de Pesquisa com Annoni 2**. Bagé: Embrapa-CPPSUL, 1993. p. 5-23.

SILVA, A.; CHAWLA, N.; TOLEDO FILHO, R. D. Tensile behavior of high performance natural (sisal) fibers. **Composites Science and Technology**, v. 68, p. 3438-3443, 2008.

SILVA, F. A. **Durabilidade e propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados por fibras de sisal**. 2009. 243 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, F. A. et al. Effect of fiber shape and morphology on interfacial bond and cracking behaviors of sisal fiber cement based composites. **Cement & Concrete Composites**, v. 33, p. 814-823, 2011.

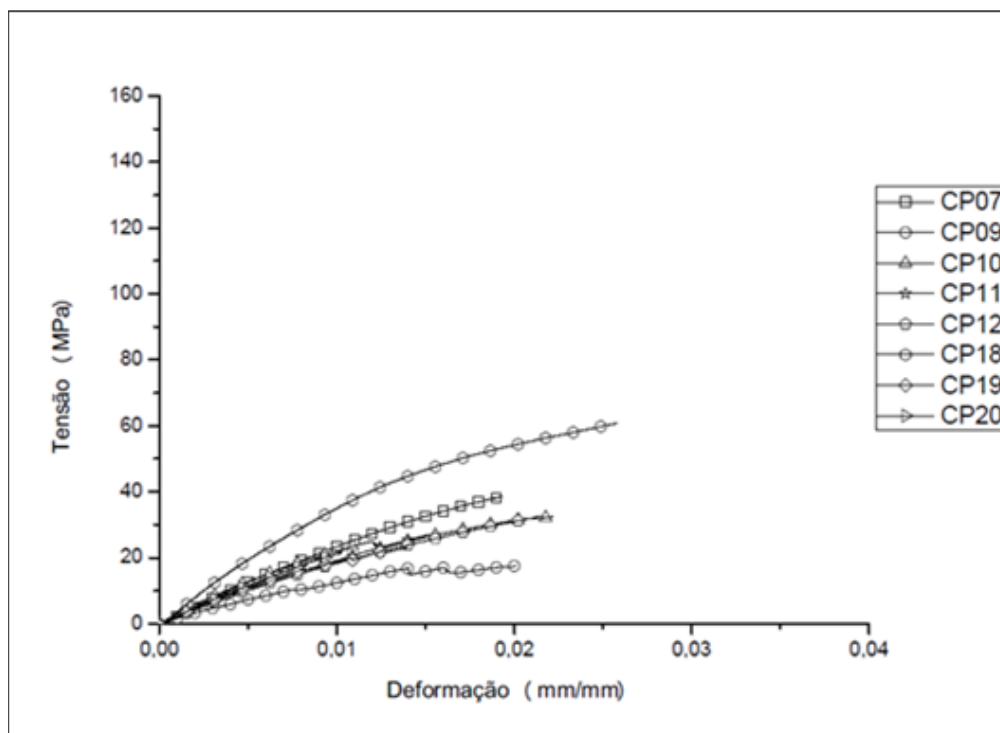
TOLEDO FILHO, R. D. et al. Durability of Compression Molded Sisal Fiber Reinforced Mortar Laminates. **Construction and Building Materials**, v. 23, p. 2409 - 2420, 2009.

TOMCZAK, F. **Estudo sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil**. 2010. 135 p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

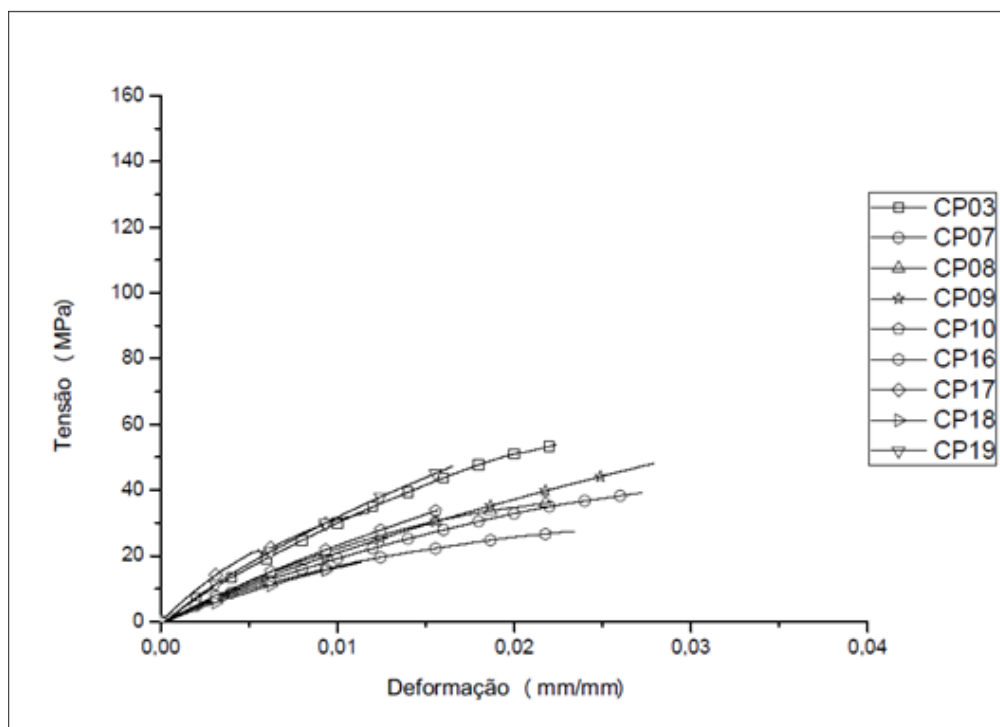
ZILLER, S. R. Os processos de degradação ambiental originados por plantas exóticas invasoras. **Revista Ciência Hoje**, Curitiba, v. 30, n. 178, 2011.

ANEXOS

Resultados dos ensaios de tração das fibras

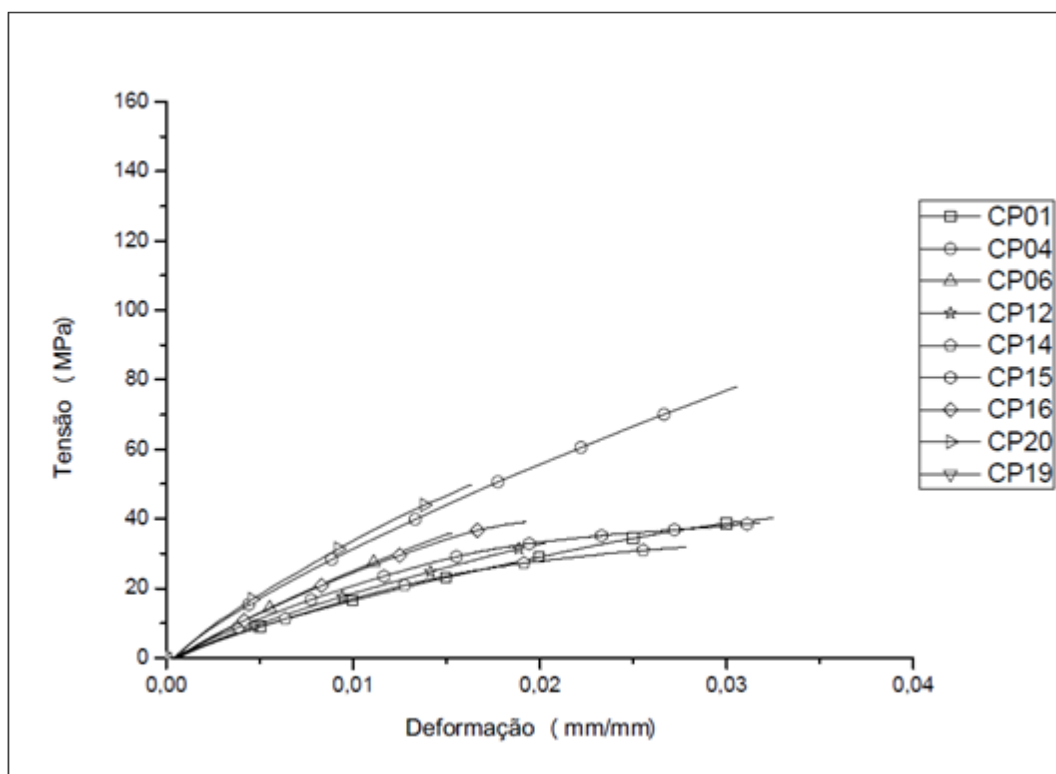
Figura 48 - Curvas $\sigma \times \varepsilon$ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 0,5 mm/min

Fonte: Elaboração própria

Figura 49 - Curvas $\sigma \times \varepsilon$ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 1,0 mm/min

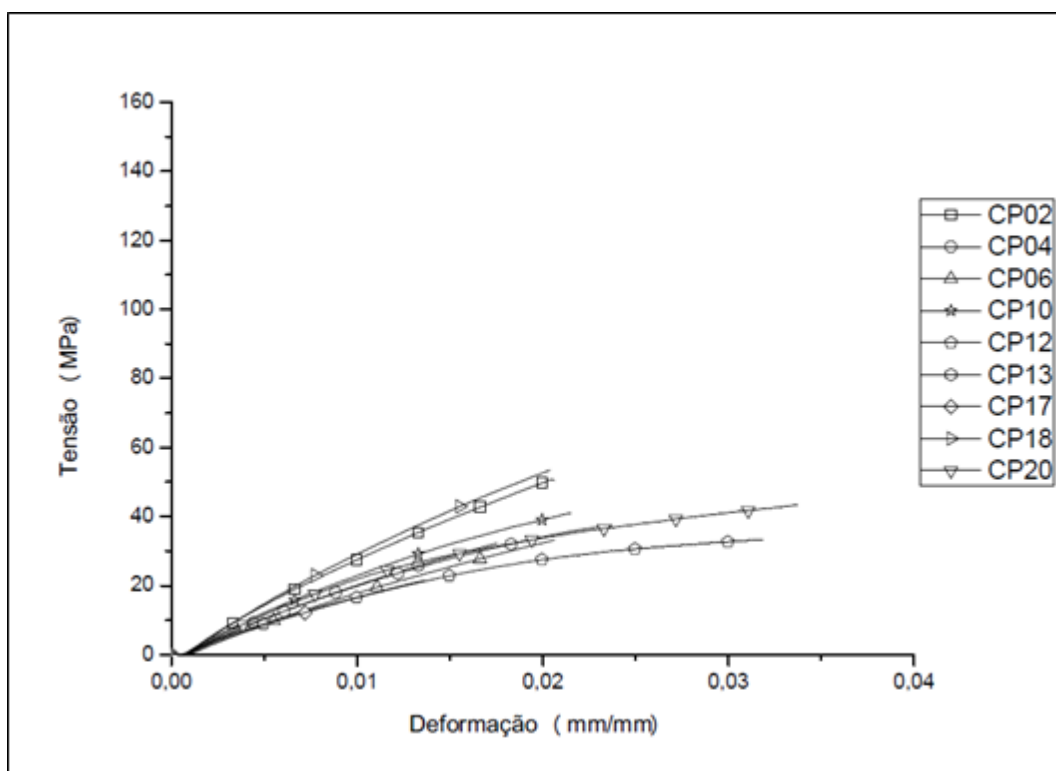
Fonte: Elaboração própria

Figura 50 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 5,0 mm/min



Fonte: Elaboração própria

Figura 51 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 15 mm ensaiada a velocidade 10,0 mm/min



Fonte: Elaboração própria

Figura 52 - Curvas σ x ϵ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 0,5 mm/min

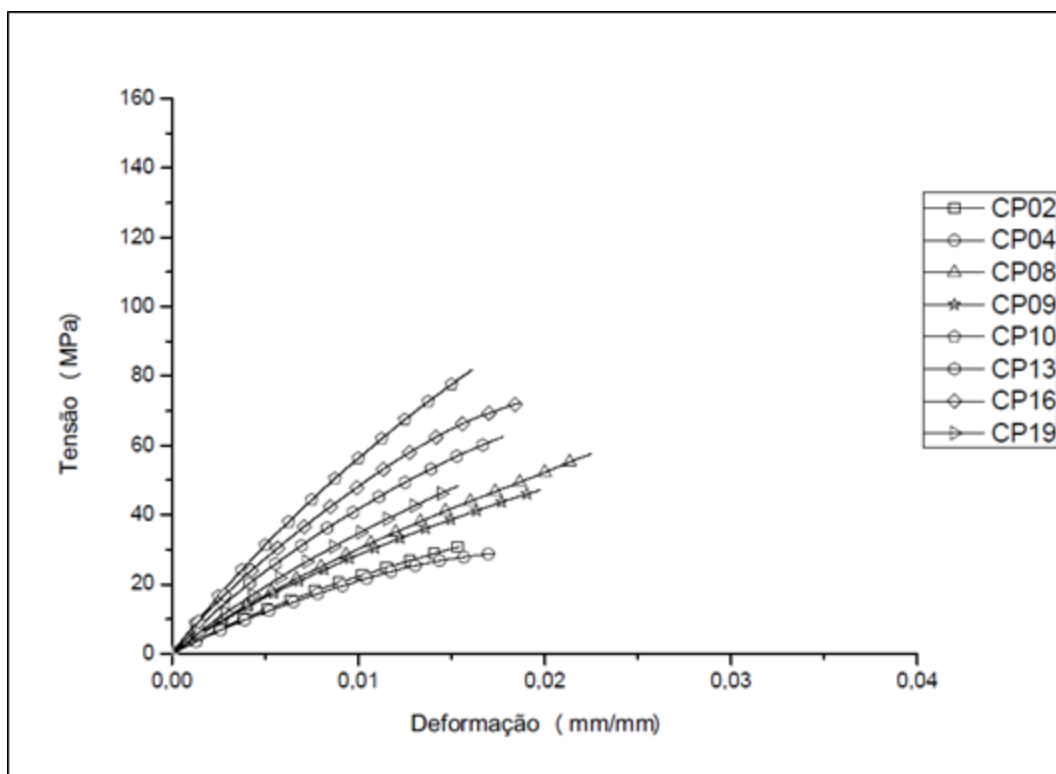


Figura 53 - Curvas σ x ϵ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 1,0 mm/min

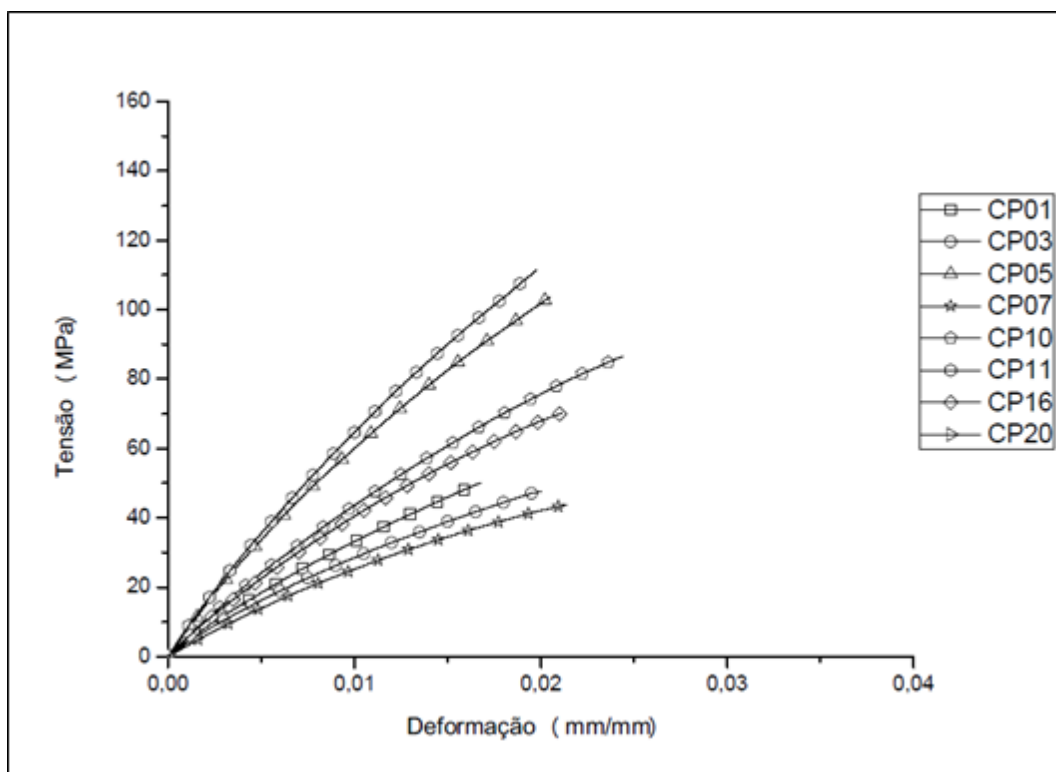
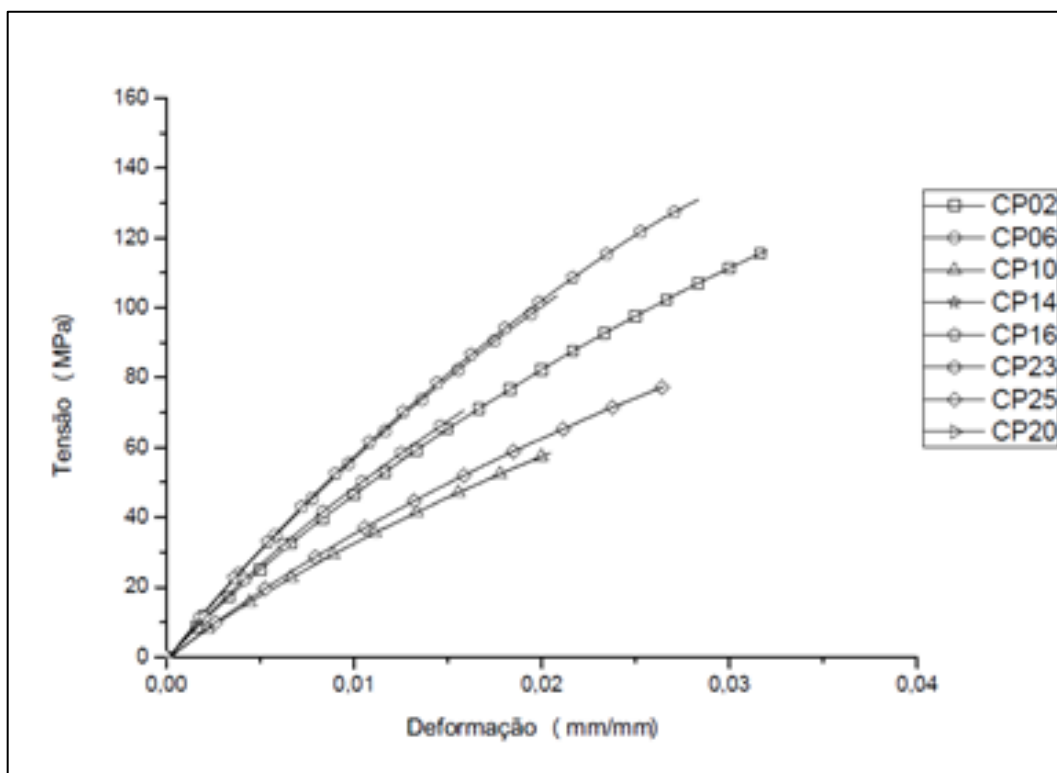
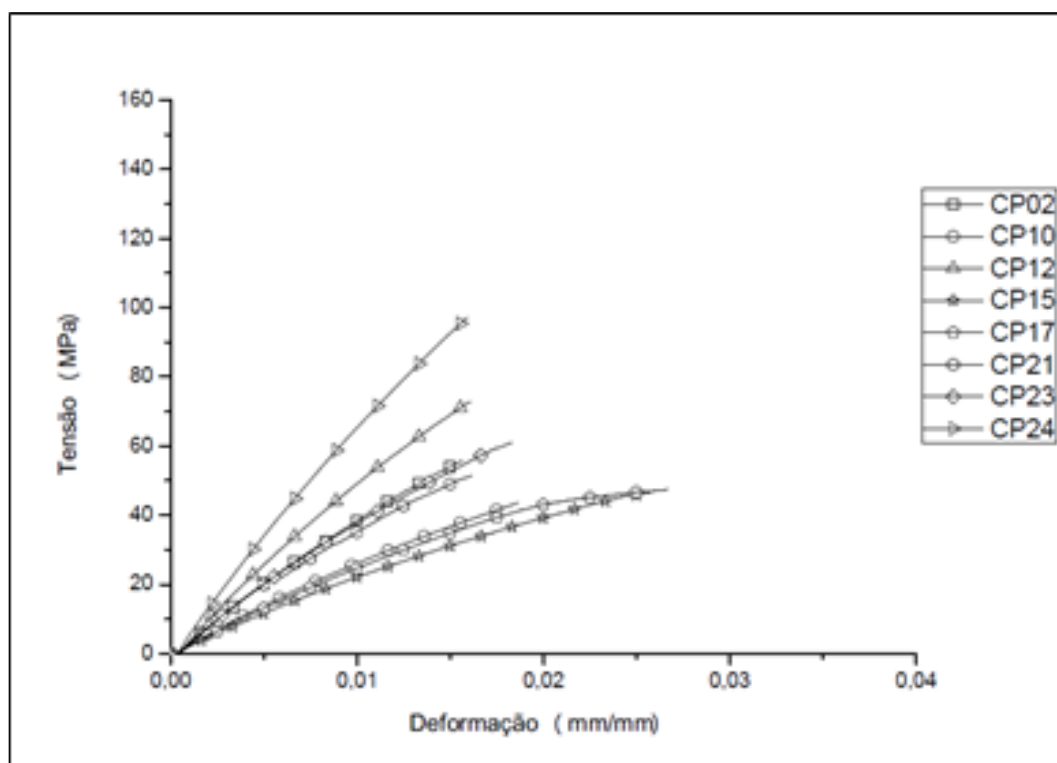
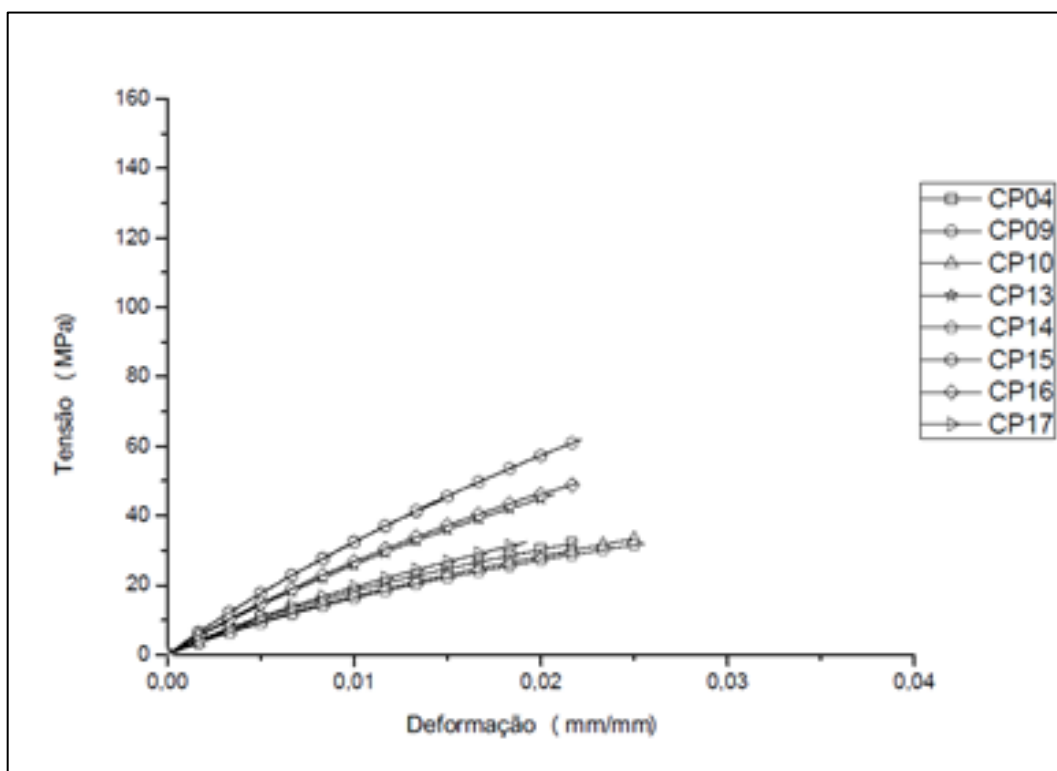


Figura 54 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 5,0 mm/min

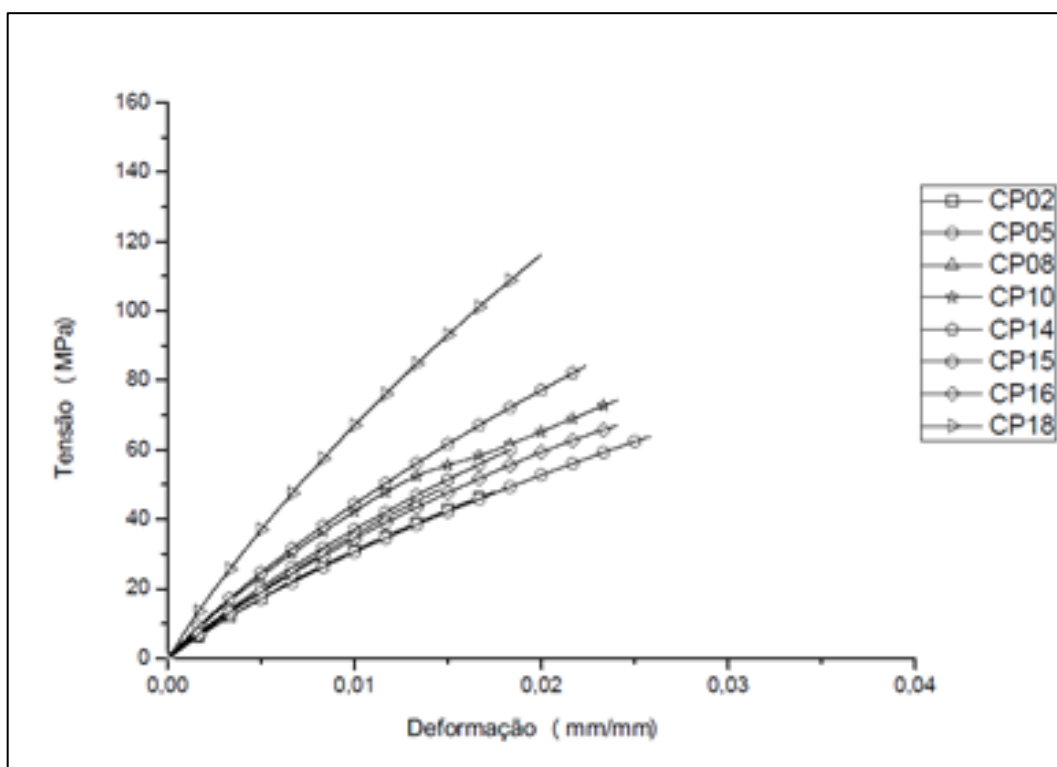
Fonte: Elaboração própria

Figura 55 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 30 mm ensaiada a velocidade 10,0 mm/min

Fonte: Elaboração própria

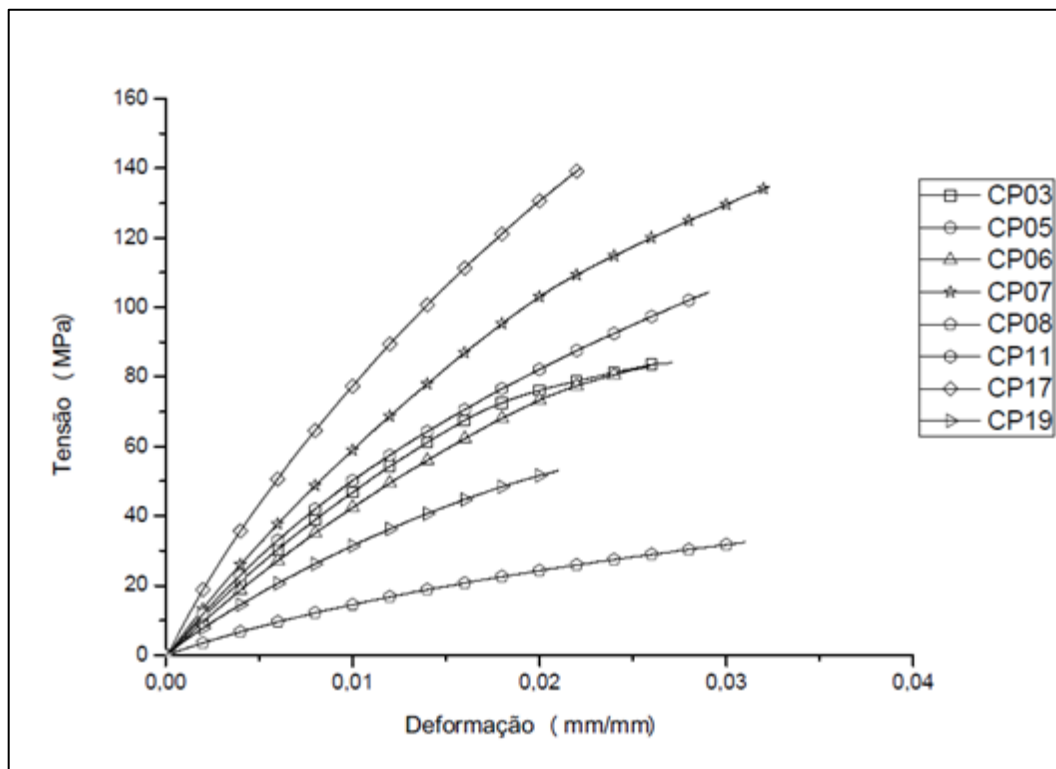
Figura 56 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 0,5 mm/min

Fonte: Elaboração própria

Figura 57 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 1,0 mm/min

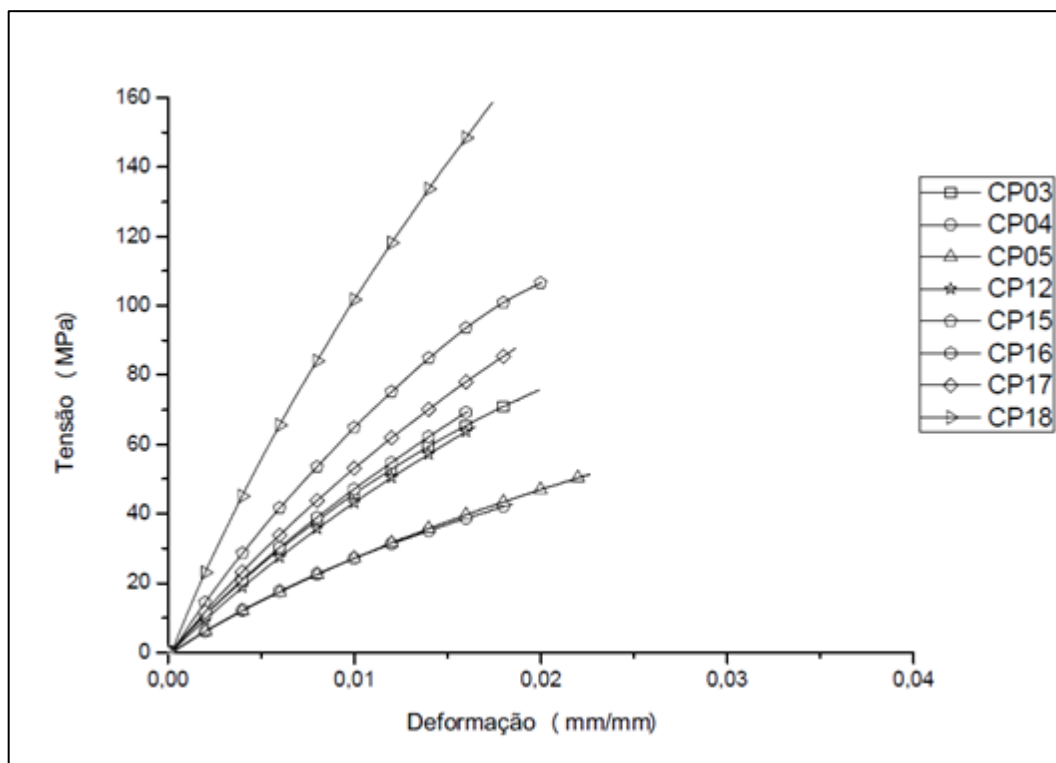
Fonte: Elaboração própria

Figura 58 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 5,0 mm/min



Fonte: Elaboração própria

Figura 59 - Curvas $\sigma \times \epsilon$ para fibra de 50 mm ensaiada a velocidade 10,0 mm/min



Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 – Resultados do ensaio de tração com velocidade 0,5 mm/min para fibra de 15 mm

15 mm					
0,5 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP7	35,37	0,2899	38,54	0,0193	2,30
CP9	27,81	0,3010	17,44	0,0201	1,53
CP10	31,85	0,3329	32,39	0,0222	2,07
CP11	33,12	0,2293	26,99	0,0153	2,06
CP12	26,86	0,3234	32,61	0,0216	2,05
CP18	39,40	0,3867	60,72	0,0258	3,23
CP19	24,38	0,2085	23,03	0,0139	2,17
CP20	20,80	0,1530	21,27	0,0102	2,19
Média	29,95	0,2781	31,62	0,0186	2,20
Desvio Padrão	6,11	0,0760	13,63	0,0051	0,48
Coef. Variação (%)	20,40	27,31	43,09	27,34	21,58

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 1,0 mm/min para fibra de 15 mm

15 mm					
1,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP3	34,90	0,3354	51,60	0,0224	3,11
CP7	40,38	0,4080	39,08	0,0272	1,88
CP8	35,00	0,3318	36,36	0,0221	2,35
CP9	46,43	0,4183	48,06	0,0279	2,09
CP10	43,78	0,2355	33,81	0,0157	2,44
CP16	34,72	0,3506	27,41	0,0234	1,86
CP17	36,87	0,1770	31,08	0,0118	3,54
CP18	23,47	0,1697	18,01	0,0113	1,84
CP19	29,59	0,2481	47,24	0,0165	3,35
Média	36,13	0,2972	36,96	0,0198	2,49
Desvio Padrão	6,99	0,0931	10,86	0,0062	0,67
Coef. Variação (%)	19,36	31,34	29,37	31,35	26,92

Fonte: Elaboração própria

Tabela 15 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 5,0 mm/min para fibra de 15 mm

15 mm					
5,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP1	38,07	0,4873	40,20	0,0325	1,47
CP4	34,40	0,4581	77,87	0,0305	2,50
CP6	49,99	0,2297	35,76	0,0153	2,54
CP12	47,09	0,3039	33,00	0,0203	1,74
CP14	40,58	0,4172	31,84	0,0278	1,62
CP15	37,76	0,4764	38,74	0,0318	1,89
CP16	39,99	0,2889	39,05	0,0193	2,32
CP20	42,57	0,2448	49,73	0,0163	3,26
Média	41,31	0,3633	43,27	0,0242	2,17
Desvio Padrão	5,12	0,1076	15,02	0,0072	0,60
Coef. Variação (%)	12,39	29,61	34,71	29,61	27,55

Fonte: Elaboração própria

Tabela 16 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 10,00 mm/min para fibra de 15 mm

15 mm					
10,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP2	41,53	0,3095	50,73	0,0206	2,52
CP4	42,89	0,2629	32,21	0,0175	1,84
CP6	78,24	0,3094	33,17	0,0206	1,67
CP10	45,29	0,3229	41,00	0,0215	2,02
CP12	62,63	0,4778	33,19	0,0319	1,41
CP13	64,55	0,3561	37,32	0,0237	1,78
CP17	50,22	0,2045	21,36	0,0136	1,65
CP18	44,14	0,3060	53,39	0,0204	2,73
Média	53,69	0,3186	37,80	0,0212	1,95
Desvio Padrão	13,30	0,0786	10,45	0,0052	0,45
Coef. Variação (%)	24,78	24,66	27,65	24,66	23,30

Fonte: Elaboração própria

Tabela 17 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 0,5 mm/min para fibra de 30 mm

30 mm					
0,5 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP2	36,26	0,4622	30,82	0,0154	2,32
CP4	44,76	0,5198	28,91	0,0173	2,36
CP8	50,54	0,6751	57,60	0,0225	3,32
CP9	43,11	0,5930	47,15	0,0198	3,18
CP10	33,57	0,4832	81,77	0,0161	5,81
CP13	52,71	0,5322	62,41	0,0177	4,33
CP16	31,35	0,5614	72,31	0,0187	4,96
CP19	35,06	0,4609	48,27	0,0154	3,62
Média	40,92	0,5360	53,66	0,0179	3,74
Desvio Padrão	8,04	0,0731	18,65	0,0024	1,23
Coef. Variação (%)	19,65	13,64	34,77	13,64	32,83

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 1,0 mm/min para fibra de 30 mm

30 mm					
1,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP1	43,04	0,5037	50,09	0,0168	3,31
CP3	54,98	0,6011	47,66	0,0200	2,78
CP5	43,10	0,6145	103,54	0,0205	5,91
CP7	45,54	0,6415	43,69	0,0214	2,61
CP10	45,00	0,7321	86,46	0,0244	4,11
CP11	43,96	0,5935	111,36	0,0198	6,32
CP16	60,52	0,6335	70,15	0,0211	4,09
CP20	39,00	0,4813	62,97	0,0160	4,75
Média	46,89	0,6001	71,99	0,0200	4,23
Desvio Padrão	7,14	0,0792	25,95	0,0026	1,37
Coef. Variação (%)	15,22	13,20	36,04	13,20	32,26

Fonte: Elaboração própria

Tabela 19 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 5,0 mm/min para fibra de 30 mm

30 mm					
5,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP2	97,25	0,9589	116,26	0,0320	4,80
CP6	67,42	0,6248	103,43	0,0208	5,84
CP10	87,86	0,6139	58,41	0,0205	3,36
CP14	64,20	0,9172	59,61	0,0306	3,27
CP15	79,44	0,6548	52,58	0,0218	3,18
CP16	87,03	0,8506	130,92	0,0284	5,71
CP23	56,56	0,4757	70,60	0,0159	5,28
CP25	96,61	0,7964	77,48	0,0265	3,66
Média	79,55	0,7365	83,66	0,0246	4,39
Desvio Padrão	15,31	0,1694	29,47	0,0056	1,14
Coef. Variação (%)	19,25	23,00	35,22	23,00	26,02

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 10,0 mm/min para fibra de 30 mm

30 mm					
10,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP9	69,34	0,4694	55,79	0,0156	4,17
CP10	70,63	0,5596	43,61	0,0187	2,93
CP12	78,15	0,4828	72,69	0,0161	4,97
CP15	70,94	0,7777	46,88	0,0259	2,36
CP17	69,00	0,7995	47,36	0,0266	2,47
CP21	73,55	0,4844	51,46	0,0161	3,77
CP23	76,30	0,5495	60,90	0,0183	3,99
CP24	83,48	0,4777	97,14	0,0159	6,87
Média	73,92	0,5751	59,48	0,0192	3,94
Desvio Padrão	5,07	0,1361	17,85	0,0045	1,48
Coef. Variação (%)	6,86	23,67	30,01	23,67	37,68

Fonte: Elaboração própria

Tabela 21 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 0,5 mm/min para fibra de 50 mm

50 mm					
0,5 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP4	36,02	1,0901	32,06	0,0218	2,28
CP9	42,68	0,7406	44,67	0,0148	3,75
CP10	41,68	1,2550	33,37	0,0251	2,08
CP13	40,65	1,0334	46,07	0,0207	3,03
CP14	34,27	1,2765	32,04	0,0255	1,99
CP15	46,42	1,1067	61,79	0,0221	3,77
CP16	47,88	1,0982	49,30	0,0220	3,16
CP17	35,58	0,9591	32,32	0,0192	2,31
Média	40,65	1,0700	41,45	0,0214	2,80
Desvio Padrão	5,05	0,1697	10,90	0,0034	0,73
Coef. Variação (%)	12,43	15,86	26,31	15,86	25,98

Fonte: Elaboração própria

Tabela 22 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 1,0 mm/min para fibra de 50 mm

50 mm					
1,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP2	33,94	0,8740	47,88	0,0175	3,51
CP5	45,04	1,2891	63,81	0,0258	3,40
CP8	54,81	0,7326	48,71	0,0147	3,90
CP10	50,89	1,2034	74,27	0,0241	4,78
CP14	67,04	1,1198	84,17	0,0224	4,94
CP15	43,11	0,9186	60,06	0,0184	4,15
CP16	63,29	1,2021	66,96	0,0240	3,85
CP18	44,68	0,9993	116,11	0,0200	7,51
Média	50,35	1,0424	70,25	0,0208	4,51
Desvio Padrão	11,01	0,1927	22,15	0,0039	1,33
Coef. Variação (%)	21,86	18,48	31,53	18,48	29,58

Fonte: Elaboração própria

Tabela 23 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 5,0 mm/min para fibra de 50 mm

50 mm					
5,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP3	78,11	1,3557	84,17	0,0271	4,44
CP5	62,10	1,2056	33,82	0,0241	1,78
CP6	84,58	1,2956	83,01	0,0259	4,07
CP7	87,44	1,6148	134,74	0,0323	5,65
CP8	49,30	1,5507	32,40	0,0310	1,57
CP11	52,55	1,4514	104,28	0,0290	4,69
CP17	95,93	1,1106	140,01	0,0222	7,27
CP19	88,17	1,0481	52,95	0,0210	2,92
Média	74,77	1,3291	83,17	0,0266	4,05
Desvio Padrão	17,72	0,2033	41,86	0,0041	1,93
Coef. Variação (%)	23,70	15,30	50,32	15,30	47,65

Fonte: Elaboração própria

Tabela 24 - Resultados do ensaio de tração com velocidade 10,0 mm/min para fibra de 50 mm

50 mm					
10,0 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação na Ruptura (mm/mm)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP3	55,21	0,9962	75,69	0,0199	4,55
CP4	40,54	0,9228	42,76	0,0185	2,98
CP5	81,42	1,1311	51,29	0,0226	2,93
CP12	39,49	0,8226	64,89	0,0165	4,60
CP15	68,44	1,0044	106,70	0,0201	6,54
CP16	56,23	0,8044	69,53	0,0161	5,01
CP17	51,67	0,9326	87,72	0,0187	5,34
CP18	44,82	0,8711	158,67	0,0174	10,24
CP20	60,87	0,7545	58,37	0,0151	4,53
Média	55,41	0,9155	79,51	0,0183	5,19
Desvio Padrão	13,59	0,1173	35,35	0,0023	2,20
Coef. Variação (%)	24,53	12,81	44,45	12,81	42,29

Fonte: Elaboração própria

Resultados dos ensaios de arrancamento

Tabela 25 - Resultados do ensaio de arrancamento para embebimento de fibra de 25 mm

25 mm			
0,05 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão (MPa)
CP5	0,1643	0,1033	0,0018
CP6	0,1756	0,1550	0,0020
CP7	0,1430	0,2350	0,0016
CP10	0,0991	0,1083	0,0012
Média	0,1455	0,1504	0,0017
Desvio Padrão	0,0338	0,0610	0,0003
Coef. Variação (%)	23,1986	40,5623	18,3622

Fonte: Elaboração própria

Tabela 26 - Resultados do ensaio de arrancamento para embebimento de fibra de 50 mm

50 mm			
0,05 mm/min	Força de Ruptura (N)	Deslocamento na Ruptura (mm)	Tensão (MPa)
CP5	7,3920	0,1735	0,0419
CP6	3,9291	0,1291	0,0256
CP8	7,5926	0,1533	0,0461
CP9	1,3195	0,2150	0,0123
CP11	5,3256	0,3583	0,0347
CP13	3,1158	0,1567	0,0232
CP16	2,2615	1,0450	0,0105
CP17	2,6938	0,0450	0,0155
Média	4,2037	0,2845	0,0262
Desvio Padrão	2,3464	0,3198	0,0135
Coef. Variação (%)	55,8162	112,4264	51,5228

Fonte: Elaboração própria