

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL DE
FIBRAS DE SISAL COM LIGNINAS, E SUA
UTILIZAÇÃO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS**

PLÍNIO BORGES MUNDIM

UBERLÂNDIA, (29/04/2019)



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Plínio Borges Mundim

**ESTUDO DA MODIFICAÇÃO SUPERFICIAL DE
FIBRAS DE SISAL COM LIGNINAS, E SUA
UTILIZAÇÃO EM MATRIZES CIMENTÍCIAS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Pasquini

Co-orientadora: Profa. Dra. Leila A. de C. Motta

Uberlândia, (29/04/2019)

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M965 2019	<p>Mundim, Plinio Borges, 1989- Estudo da modificação superficial de fibras de sisal com ligninas, e sua utilização em matrizes cimentícias [recurso eletrônico] / Plinio Borges Mundim. - 2019.</p> <p>Orientador: Daniel Pasquini. Coorientadora: Leila A. de C. Motta. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Engenharia Civil. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di. 2019.2058 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Engenharia civil. I. Pasquini, Daniel , 1974-, (Orient.). II. Motta, Leila A. de C., 1970-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Engenharia Civil. IV. Título.</p> <p>CDU: 624</p>
--------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ATA DE DEFESA

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Civil				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, PPGEC - 239				
Data:	29 de abril de 2019	Hora de início:	[08:30]	Hora de encerramento:	[12:00]
Matrícula do Discente:	11712ECV008				
Nome do Discente:	Plinio Borges Mundim				
Título do Trabalho:	Estudo da modificação superficial de fibras de sisal com ligninas, e sua utilização em matrizes cimentícias				
Área de concentração:	Estruturas e Construção Civil				
Linha de pesquisa:	Construção Civil				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Novos materiais poliméricos e biocombustíveis derivados de fontes renováveis				

Reuniu-se na Sala de Reuniões Prof. Márcio Antônio Ribeiro da Silva, bloco 1Y, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, assim composta: Professores Doutores: Luís Carlos de Moraes – ICENE/UFTM, Eliane Betânia Carvalho Costa – FECIV/UFU e Daniel Pasquini - PPGEC/UFU orientador do candidato.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dr. Daniel Pasquini, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

[A]provado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Pasquini, Professor(a) do Magistério Superior**, em 30/04/2019, às 10:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUIS CARLOS DE MORAIS, Usuário Externo**, em 30/04/2019, às 11:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eliane Betânia Carvalho Costa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/05/2019, às 10:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1208029** e o código CRC **DA18A344**.

AGRADECIMENTOS

À Deus, a Ele toda honra e toda glória;

À minha esposa Any, pelo amor e companheirismo em todos os momentos;

Aos meus pais Edson e Alessandra, pelo esforço sem medida dado para minha formação tanto na graduação quanto na pós-graduação;

Ao meu orientador Daniel Pasquini, pelo profissionalismo, aprendizado e paciência dados na minha orientação;

À co-orientadora Leila Motta pelo ensino e pela oportunidade dada no Estágio à Docência;

À Faculdade de Engenharia Civil e ao Instituto de Química e a todos envolvidos que ajudaram direta ou indiretamente na pesquisa, em especial ao professor Rondinele Alberto e à doutoranda Mariana Alves Henrique;

À CAPES pelo auxílio financeiro dado à pesquisa.

Mundim, P. B. Estudo da modificação superficial de fibras de sisal com ligninas, e sua utilização em matrizes cimentícias. 120 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar diferentes tratamentos de fibras vegetais de sisal para utilização em compósitos de matriz cimentícia. Os tratamentos consistem em impregnar superficialmente fibras de sisal (S) com lignina organossolve (LO), lignina organossolve + glutaraldeído (LOG), lignina kraft (LK) e lignina kraft + glutaraldeído (LKG), visando redução da porosidade e aumento ou manutenção nas propriedades mecânicas das fibras. Após o tratamento, as fibras apresentaram redução significativa da absorção de água e não obtiveram mudanças significativas nas propriedades mecânicas se comparadas com a fibra natural (SNAT). Por microscopia eletrônica de varredura verificou-se que as fibras SLOG, SLO, SLKG e SLK apresentaram aspecto rugoso, com lignina depositada na superfície das fibras, evidenciando que o tratamento com impregnação a princípio, ocorreu. Por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier pela técnica de reflexão total atenuada verificou-se também a impregnação de lignina nas fibras SLOG, SLO, SLKG e SLK. Por análise termogravimétrica observou-se que o tratamento por impregnação retardou a degradação térmica das fibras tratadas se comparado com as fibras sem tratamento. Para avaliar o desempenho da mistura em cimento, foram confeccionadas Placas Cimentícias (PC) com fibras tratadas (PC-SLOG, PC-SLO, PC-SLKG e PC-SLK) e sem tratamento (PC-SNAT). Com exceção das PC-SNAT, todas as placas não apresentaram estatisticamente diferenças nos índices de absorção e porosidade. Analisando as propriedades mecânicas as PC-SNAT apresentaram acréscimo significativo no módulo de ruptura, módulo de elasticidade e tenacidade dos 28 para os 180 dias, provavelmente devido ao processo de carbonatação da matriz. As PC-SLK apresentaram acréscimo significativo no módulo de elasticidade dos 28 para os 180 dias e as PC-SLO apresentaram acréscimo significativo na tenacidade dos 28 para os 180 dias. Por microscopia eletrônica de varredura feita aos 180 dias observou-se que a seção das fibras imersas nas placas cimentícias não apresentou degradação, indicando que a impregnação de lignina agiu como agente protetor das fibras. Independentemente do

tipo de lignina utilizada na impregnação, concluiu-se que a presença de glutaraldeído é dispensável para o tratamento.

Palavras-chave: Materiais compósitos – Fibras vegetais – Lignina

Mundim, P. B. Study of the superficial modification of sisal fibers with lignins, and their use in cementitious matrices. 120 pp. Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2019.

ABSTRACT

The objective of this work is to evaluate different treatments of sisal vegetable fibers for use in cementitious matrix composites. The treatments consist of impregnating superficially fibers of sisal (S) with lignin organosolv (LO), lignin organosolv + glutaraldehyde (LOG), lignin kraft (LK) and lignin kraft + glutaraldehyde (LKG), aiming to reduce the porosity and increase or maintenance in the mechanical properties of the fibers. After treatment, the fibers presented a significant reduction of the absorption of water and did not obtain significant changes in the mechanical properties when compared with the natural fiber (SNAT). By scanning electron microscopy, SLOG, SLO, SLKG and SLK presented a rough appearance, with lignin deposited on the surface of the fibers, evidencing that the treatment with impregnation at the beginning occurred. By Fourier transform infrared spectroscopy with attenuated total reflection technique also verified the impregnation of lignin in the fibers SLOG, SLO, SLKG and SLK. By thermogravimetric analysis, it observed that the impregnation treatment delayed the thermal degradation of the treated fibers when compared to the untreated fibers. To evaluate the performance in the cement mixture Cement Plates (CP) with fibers treated (CP-SLOG, CP-SLO, CP-SLKG and CP-SLK) and without treatment (CP-SNAT) were made. With the exception of CP-SNAT, all plates did not statistically show differences in absorption and porosity indexes. Analyzing the mechanical properties, the CP-SNAT showed a significant increase in the rupture module, elasticity module and toughness from 28 to 180 days, probably due to the process of carbonation of the matrix. CP-SLK showed a significant increase in the modulus of elasticity from 28 to 180 days and CP-SLO presented a significant increase in the toughness from 28 to 180 days.

By scanning electron microscopy done at 180 days, it observed that the section of the fibers immersed in the cementitious plates showed no degradation, indicating that the impregnation of lignin acted as protective agent of the fibers. Regardless of the type of lignin used in the impregnation, it concluded that the presence of glutaraldehyde is dispensable for treatment.

Keywords: Composites materials – Vegetable fibers - Lignin

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SIGLAS

SNAT - Fibra de Sisal Natural

SLOG - Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Organossolve e Glutaraldeído

SLO - Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Organossolve

SLKG - Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Kraft e Glutaraldeído

SLK - Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Kraft

PC-SNAT - Placa Cimentícia Reforçada com Fibra de Sisal Natural

PC-SLOG - Placa Cimentícia Reforçada com Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Organossolve e Glutaraldeído

PC-SLO - Placa Cimentícia Reforçada com Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Organossolve

PC-SLKG - Placa Cimentícia Reforçada com Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Kraft e Glutaraldeído

PC-SLK - Placa Cimentícia Reforçada com Fibra de Sisal Impregnada com Lignina Kraft

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo	2
1.1.1 Objetivos específicos	2
1.2 Justificativa	2
1.3 Estrutura do trabalho	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 Materiais Compósitos	4
2.1.1 Compósitos de fibrocimento	5
2.1.2 Fibras vegetais	6
2.2 Microestrutura x desempenho e durabilidade dos compósitos	9
2.3 Tratamentos de fibras vegetais visando melhoria em suas propriedades	13
2.4 Ligninas em fibras vegetais	17
2.4.1 Isolamento da lignina	19
2.5 Considerações finais	21
METODOLOGIA APLICADA	22
3.1 Fibras vegetais de sisal	22
3.1.1 Tratamento das fibras por impregnação com lignina	23
3.1.2 Análise microestrutural das fibras por MEV, FTIR-ATR e TGA	26
3.1.3 Ensaio mecânico de tração direta	26
3.1.4 Ensaio físico de absorção	28
3.2 Matriz cimentícia reforçada com fibras	29
3.2.1 Moldagem das placas para corpos-de-prova	29
3.2.2 Análise microestrutural por MEV	31
3.2.3 Ensaios mecânicos de flexão	31
3.2.4 Ensaios físicos absorção de água e porosidade	33
3.3 Considerações finais	34
RESULTADOS & DISCUSSÕES	35
4.1 Fibras vegetais de sisal	35
4.1.1 Análise microestrutural das fibras por MEV, FTIR-ATR e TGA	35
4.1.2 Ensaio mecânico de tração direta	41
4.1.3 Ensaio físico de absorção de água	43

4.2 Matriz cimentícia reforçada com fibras	45
4.2.1 Ensaios mecânicos de flexão	45
4.2.2 Ensaios para obtenção das propriedades físicas.....	49
4.2.3 Análise microestrutural por MEV	53
4.3 Considerações finais.....	65
CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
APÊNDICE	76
APÊNDICE A – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Módulo de Ruptura.....	76
APÊNDICE B – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Módulo de Elasticidade	85
APÊNDICE C – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Tenacidade	94
APÊNDICE D – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Absorção	103
APÊNDICE E – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Porosidade.....	109
APÊNDICE F – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Massa específica aparente	115

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda nas últimas décadas, a construção civil busca a cada dia materiais com propriedades melhoradas e capazes de atender ao setor, mas que também possuam atrativos ambiental e econômicos, principalmente devido à escassez de matéria-prima. Outro fator que vem ganhando espaço e não menos importante que os já citados, é a saúde dos trabalhadores envolvidos na produção dos materiais. Um exemplo claro são os estudos com fibras de origem vegetal em matrizes cimentícias em substituição ao amianto, este, comprovadamente nocivo à saúde, que segundo Terra Filho, Freitas e Nery (2006), quando inalado, pode causar asbestose, mesotelioma e câncer pulmonar.

Embora banido em mais de 58 países a partir de 1983 e haja diversos estudos mostrando sua nocividade (CASTRO, GIANNASI, NOVELLO, 2003; TERRA FILHO, FREITAS, NERY, 2006; MARINO, YOSHIDA, 2015; MARQUES, GOMES, KERN, 2016), apenas no final do ano de 2017 o Superior Tribunal Federal (STF) proibiu definitivamente o uso do amianto, tornando inconstitucional o artigo 2º da Lei Federal 9.055/1995 que permitia o uso controlado do material no Brasil (ABREA, 2018).

Por mais nocivo que seja à saúde, o amianto é uma fibra que apresenta qualidades como flexibilidade, alta resistência à tensão, resistência elétrica, ao calor e à degradação química, baixa condutividade térmica, boa capacidade de isolamento acústico, durabilidade, afinidade com o cimento, estável em diferentes valores de pH, alto módulo de elasticidade, boa dispersão na matriz (STROHMEIER, ET AL., 2010; ARDANUY, CLARAMUNT, TOLÊDO FILHO, 2015; MARQUES, GOMES, KERN, 2016).

Estudos de caracterização mostraram que, do ponto de vista das propriedades mecânicas, as fibras sintéticas apresentam resultados muito melhores que as fibras vegetais, no entanto, do ponto de vista de sustentabilidade e econômico, as fibras vegetais possuem custos de 3 a 13 vezes menores que as fibras sintéticas (MOTTA, AGOPYAN, JOHN, 2007). Daí a importância de mais experimentos utilizando fibras vegetais.

Neste trabalho é investigado o tratamento por impregnação com lignina em fibras de sisal, visando melhorar suas propriedades físicas e mecânicas, com finalidade de reforço em matrizes cimentícias.

1.1 Objetivo

O objetivo da pesquisa é avaliar o tratamento por impregnação de fibras vegetais de sisal para utilização das mesmas em compósitos de matriz cimentícia.

1.1.1 Objetivos específicos

- Modificar as fibras vegetais de sisal por impregnação de lignina e analisar se o tratamento influencia as propriedades físicas e mecânicas das fibras;
- Comparar as propriedades físicas e mecânicas de placas de fibrocimento moldadas com fibras de sisal sem e com tratamento aos 28 dias e por envelhecimento natural aos 180 dias;
- Avaliar a microestrutura das fibras e dos compósitos nas primeiras idades (28 dias) e após o envelhecimento (180 dias).

1.2 Justificativa

O uso das fibras de sisal é motivado por serem renováveis, biodegradáveis, pela disponibilidade destas fibras a baixo custo, muitas vezes como resíduos, possibilitando a produção de compósitos também viáveis economicamente. Outras vantagens, tais como: ductilidade e baixo peso específico podem ser citadas para os compósitos com fibras vegetais (MOTTA, 2005).

Dentre as diversas aplicações da lignina, uma é a sua utilização nas próprias caldeiras das usinas, devido ao seu elevado teor energético (QUINELATO, 2016). Por se tratar de um

dos componentes das fibras vegetais, é interessante o estudo de viabilidade da lignina para aplicação em materiais compósitos, dando outros fins mais nobres.

A durabilidade dos compósitos de fibrocimento com fibras vegetais estaria sinalizando uma solução vantajosa na fabricação de placas cimentícias e coberturas, principalmente de habitações de interesse social com vantagens em relação ao custo, à preservação do meio ambiente e economia de energia. Não apenas para a construção civil, mas também para a própria economia haveria benefícios, pois aumentaria a produção de fibras vegetais no país, alavancando, por exemplo, a agricultura familiar.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho é organizado pelos seguintes capítulos, nos quais são desenvolvidos os seguintes temas, citados aqui de maneira resumida:

- Capítulo 1: apresenta a introdução, com objetivos do estudo e justificativa;
- Capítulo 2: apresenta a revisão bibliográfica sobre materiais compósitos, fibras vegetais, tratamentos em reforço para matriz, lignina;
- Capítulo 3: apresenta o organograma com a descrição dos ensaios realizados bem como materiais e métodos;
- Capítulo 4: apresenta os resultados dos ensaios;
- Capítulo 5: apresenta as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

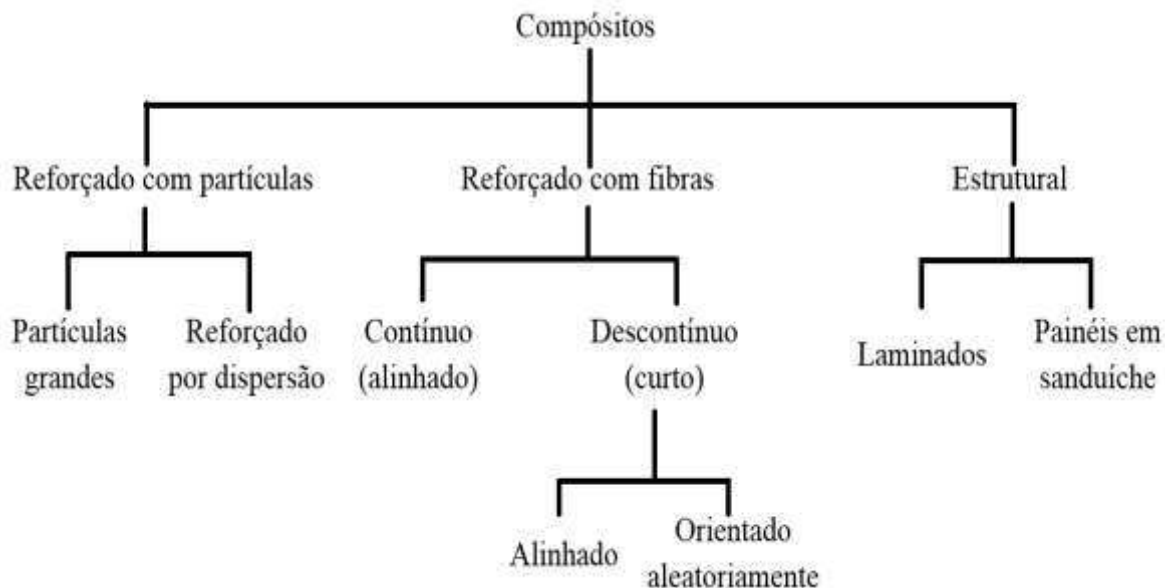
2.1 Materiais Compósitos

De maneira geral, um compósito pode ser considerado como qualquer material multifásico que exibe uma proporção significativa das propriedades de ambas as fases constituintes, tal que é obtida melhor combinação das mesmas. De acordo com esse princípio de ação, por uma combinação judiciosa, são criadas materiais distintos. Um equilíbrio entre propriedades também é feito para muitos materiais compósitos (CALLISTER JR., 2003).

Muitos materiais compósitos são constituídos por apenas duas fases; uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve a outra fase, chamada com frequência de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa (CALLISTER JR., 2003).

Ainda segundo Callister Jr. (2003), a classificação dos materiais compósitos pode ser evidenciada em três divisões principais: os compósitos reforçados com partículas (em que as dimensões das partículas da fase dispersa são praticamente as mesmas em todas as direções), os reforçados com fibras (em que a fase dispersa apresenta a geometria de uma fibra e uma grande relação entre o comprimento e o diâmetro da mesma) e os compósitos estruturais (que são combinações de compósitos e de materiais homogêneos). A Figura 1 ilustra o esquema de classificação dos materiais compósitos.

Figura 1 – Esquema de classificação dos materiais compósitos



Fonte: Traduzido, Callister Jr., 2003, p. 529.

2.1.1 Compósitos de fibrocimento

O fibrocimento é amplamente utilizado no mundo, devido à sua versatilidade, como cobertura, painel de revestimento e recipiente de água (IKAI et al., 2010).

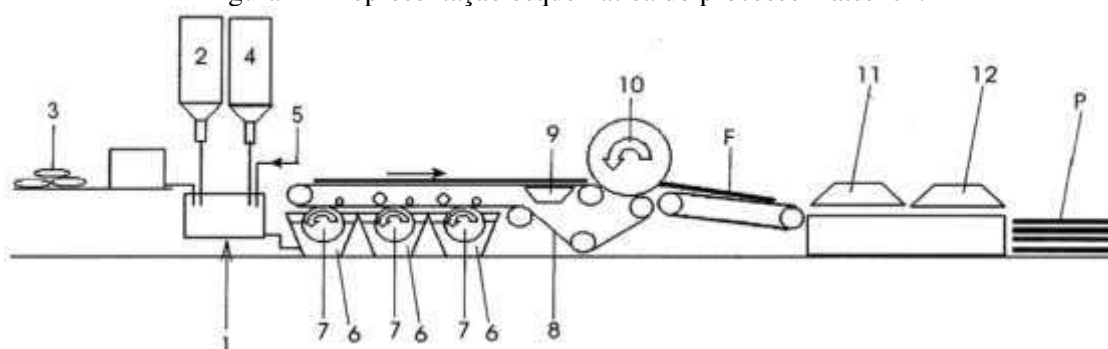
De acordo com Ikai et al. (2010), o processo de fabricação foi desenvolvido no final do século XIX por Ludwing Hatschek, baseado na indústria de papel. Desde então, o processo foi aperfeiçoado para atingir alta produção e melhorar o desempenho sem modificar o princípio básico, filtragem de uma suspensão bem diluída de cimento em um cilindro rotativo.

Ainda segundo Ikai et al. (2010), a partir de 1980 iniciou-se a busca por alternativas para a substituição do amianto por outros materiais que fornecessem bom desempenho, disponibilidade e alta durabilidade em longo prazo em matriz alcalina, dentre as quais se destacaram as fibras sintéticas, tendo como exemplo de aplicação as de álcool polivinílico (PVA), fibra de vidro álcali resistente, PoliAcriloNitrila (PAN) e mais recentemente, as fibras de PoliPropileno (PP).

Tonoli (2009) e Dias, Savastano Junior e John (2010) descrevem o processo Hatschek para produção do fibrocimento, ilustrado na Figura 2, conforme as seguintes etapas: inicialmente, há a preparação da suspensão, em que há mistura da proporção adequada de

materiais sólidos com a água, em uma baixa concentração dos sólidos, cerca de 10 a 15% da massa total (1), cimento (2), fibras celulósicas e/ou sintéticas (3), calcário agrícola moído e outras adições minerais (4) e água (5), estes os materiais mais utilizados pela tecnologia sem amianto. A suspensão é transportada para os tanques (6) com cilindros rotativos (7), onde o material sólido é retido. Em sequência, uma esteira de feltro (8) remove o material do cilindro, formando uma lâmina fresca de fibrocimento. O vácuo (9) é aplicado para remover a água da lâmina antes desta ser transferida para a prensa cilíndrica (ou cilindro de formação da placa) (10) onde a sobreposição das lâminas é realizada. Por fim, a placa de fibrocimento fresca (F) é cortada (11), conformada em moldes ondulados ou em painéis planos (12) e submetida à cura para obtenção do produto final (P).

Figura 2 – Representação esquemática do processo Hatschek.



Fonte: Tonoli (2009); Dias, Savastano Junior e John (2010).

2.1.2 Fibras vegetais

Conforme Jawaid e Abdul Khalil (2011) e Yan, Kasal e Huang (2016), as fibras podem ser de origem natural (fibras animais, minerais e vegetais) ou sintética (fibras orgânicas e inorgânicas).

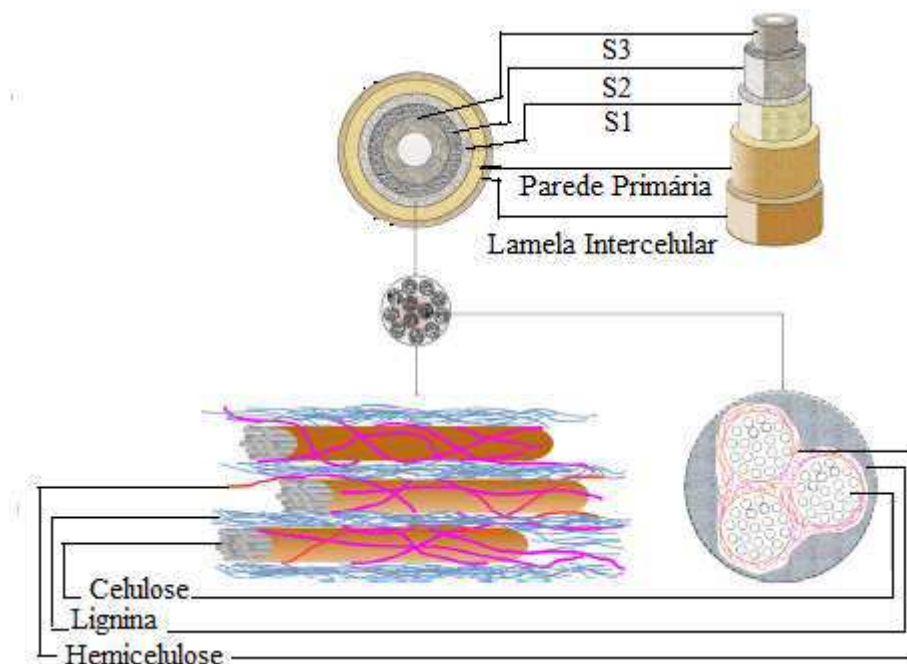
De acordo com Jawaid e Abdul Khalil (2011) e Onuaguluchi e Banthia (2016), as fibras vegetais do tipo lignocelulósicas podem ser classificadas segundo sua origem e composição. Seguem alguns tipos:

- Fibras liberianas: usualmente extraídas do líber das plantas. Como exemplos são a juta, rami, linho, abacá e cânhamo. São fibras de feixe longo e alta resistência à tração, muito utilizadas na fabricação de têxtil, fios, cordas, entre outros;
- Fibra de folha: obtidas a partir de tecidos foliares, como sisal, folha de bananeira, curauá, abacaxi, agave e outras. Possuem resistência elevada e são utilizadas na produção de cordas, tecidos, carpetes e tapetes;
- Fibra de semente: são fibras leves e duras como de algodão, fibra de coco, bucha vegetal e outras. São utilizadas na indústria têxtil, isolamento, estofados;
- Fibras de caule: são fibras extraídas a partir de caules de plantas como cana-de-açúcar, milho, berinjela, girassol e a palha de grãos com cevada, trigo, arroz, entre outros;
- Fibras de grama e outros resíduos: como exemplo são azevém, capim elefante e bambu. Os resíduos são as cascas de amendoim, casca de avelã, palha de milho e outros;
- Fibras de madeira: provenientes das árvores como eucalipto e pinus.

As fibras vegetais são formadas por células individuais que, por sua vez, compõem-se as microfibrilas dispostas em camadas de diferentes espessuras e ângulos de orientação. As células de fibra têm de 10 a 25 μm de diâmetro, dispostas em várias camadas compostas de microfibrilas, estas, por sua vez, são ricas em celulose e estão fortemente ligadas por hemicelulose amorfa (SAVASTANO JUNIOR, 2000).

As células das fibras são constituídas por quatro camadas e se encontram envolvidas pelas lamelas, sendo que a lamela intercelular é composta por lignina, hemiceluloses e pectina. A primeira camada é a parede primária, com estrutura reticulada. A parede secundária, que é constituída por celulose, hemiceluloses e lignina, possui outras três camadas: camada externa S1 que também possui estrutura reticulada; camada intermediária S2, onde as microfibrilas estão orientadas segundo ângulo θ em relação ao eixo longitudinal da célula (em espiral, é a mais espessa e com maior teor de celulose); a camada interna S3, também com microfibrilas em espiral. No interior da célula está o lúmen, com seção elíptica e sua região central pode apresentar a lacuna, cavidade central com fibra (COUTTS, 1992; TONOLI, 2009). A Figura 3 ilustra a representação de uma célula de fibra vegetal.

Figura 3 – Representação da célula de uma fibra vegetal.



Fonte: Traduzido e adaptado, Wey e Meyer (2015).

A composição química das fibras é altamente influenciada pela espécie, condições climáticas e geográficas, variedade das plantas, qualidade do solo e variáveis agrícolas, qualidade no processo de remoção (JAWAID, ABDUL KHALIL, 2011; YAN, KASAL, HUANG, 2016). Elas são compostas de 98 a 99% de matéria orgânica com basicamente três componentes, predominantemente por celulose, hemiceluloses e lignina. O composto restante do material é inorgânico (MOTTA, 2005; PICKERING, ARUAN EFENDY, LE, 2016). A Tabela 1 apresenta a composição química da fibra sisal, de acordo com diferentes literaturas.

As propriedades mecânicas das fibras vegetais dependem das propriedades físicas, tais como diâmetro e comprimento das fibras, densidade, ganho de umidade e ângulo das microfibrilas (JAWAID, ABDUL KHALIL, 2011; YAN, KASAL, HUANG, 2016). As propriedades mecânicas das fibras vegetais são regidas pela geometria celular e pelas propriedades das camadas das células que a formam, as camadas são reguladas pela estrutura da microfibrila e composição dos constituintes químicos (PERSSON, 2000). A Tabela 2 apresenta algumas propriedades físicas e mecânicas da fibra sisal.

Tabela 1 – Composição química da fibra vegetal de sisal.

Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Cinzas (%)	Fonte
78,0	10,0	8,0	-	-	(1)
73,6	-	9,9	-	-	(2)
73,11	13,33	11,0	-	0,33	(3)
43-78	10-13	4-12	0,8-2	-	(4)
67,2	24,7	5,0	-	1,3	(5)
65,8	12,0	9,9	-	-	(6)
68,2	13,7	12,3	1,3	-	(7)
60,0	11,5	8,0	1,2	-	(8)

Fonte: Adaptado, (1) Blefdzki, Reihmane, Gassan, (1996); (2) Savastano Junior, Agopyan, (1997); (3) Arsène et al (2003); (4) Mwaikambo (2006); (5) Motta, Agopyan, John (2007); (6) Jawaid, Abdul Khalil (2011); (7) Wei, Meyer (2015); (8) Yan, Kasal, Huang (2016).

Tabela 2 – Propriedades físicas e mecânicas da fibra vegetal de sisal.

Massa específica (kg/m³)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Fonte
1370	4,30	458,00	15,20	(1)
1450	2,00	640,00	15,00	(2)
1370	4,90-5,40	347,00-378,00	15,20	(3)
1300-1500	2,00-14,00	80,00-840,00	9,00-22,00	(4)
1511	3,68	467,04	13,41	(5)
1330	2,00-3,00	600,00-700,00	38,00	(6)
1330-1500	2,00-7,00	363,00-700,00	9,00-38,00	(7)
1300-1500	2,00-2,50	507,00-855,00	9,40-28,00	(8)

Fonte: Adaptado, (1) Agopyan (1988); (2) Blefdzki, Reihmane, Gassan (1996); (3) Agopyan, Savastano Junior (1997); (4) Mwaikambo (2006); (5) Motta, John, Agopyan (2010); (6) Jawaid, Abdul Khalil (2011); (7) Yan, Chouw, Jayaraman (2014); (8) Pickering, Aruan Efendy, Le (2016).

2.2 Microestrutura x desempenho e durabilidade dos compósitos

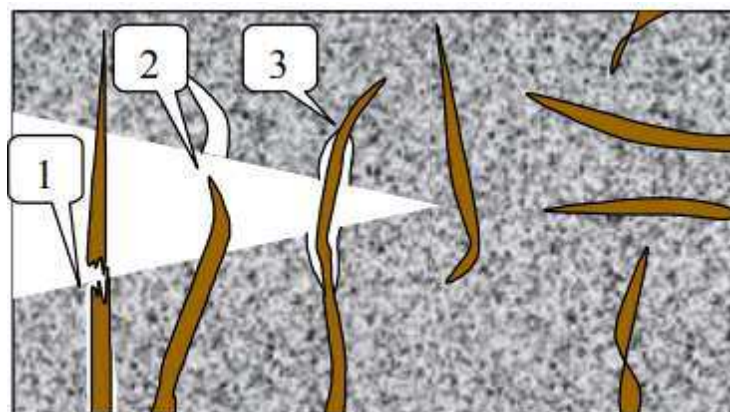
Em matrizes cimentícias, reforçadas com fibras vegetais, o principal fator que influencia a tenacidade, que é a energia total absorvida, é a aderência fibra-matriz (SAVASTANO JUNIOR, 2000). É importante que as fibras apresentem boa aderência na matriz ao longo do tempo, para garantir a durabilidade do compósito (ARDANUY, CLARAMUNT, TOLEDO FILHO, 2015). A durabilidade dos compósitos reforçados com fibras vegetais e o desempenho mecânico estão diretamente relacionados com a interface matriz e fibra, pois ela garante a transmissão das tensões que serão distribuídas para a matriz por meio do reforço (DOS SANTOS MARQUES, 2015).

Savastano Junior (2000), ao avaliar a microestrutura nas propriedades mecânicas de compósitos reforçados com fibras vegetais, concluiu que o mecanismo de arrancamento no

interior da matriz é mais importante que a ruptura da fibra no ganho de tenacidade, ou seja, o principal fator de rompimento de fibras de baixo módulo é devido ao arrancamento e não de sua ruptura.

A Figura 4 ilustra a representação de uma fissura atravessando um compósito reforçado com fibras onde: (1) representa uma fibra fissurada; (2) apresenta uma fibra arrancada, exemplificando um caso onde a fibra escorrega da matriz; (3) a fibra se apresenta íntegra, absorvendo parcialmente a energia a qual o material está submetido.

Figura 4 – Representação esquemática de uma fissura através de um material compósito reforçado com fibras.



Fonte: Caldas & Silva (2002).

Em compósitos à base de cimento, a maior aderência fibra-matriz é conseguida por meio do melhor desempenho da zona de transição, fazendo com que as duas fases (fibra e matriz) trabalhem em conjunto, efetivamente. A melhor adesão se consegue pela redução da porosidade e pela menor concentração de portlandita (cristais de hidróxido de cálcio) nas proximidades da fibra (SAVASTANO JUNIOR, 2000).

Savastano Junior et al. (1994), definem zona de transição a região da pasta de aglomerante próximo à fibra, com espessura entre 10 a 100 μm , e que apresenta características diferenciadas do restante da matriz. Pacheco-Torgal e Jalali (2011) reportam estudos em que a zona de transição apresenta espessura de cerca de 200 μm aos 180 dias.

A zona de transição é formada na interface entre a matriz e as fibras, onde a microestrutura da matriz é diferente, sendo a natureza e o tamanho dependentes do tipo de fibra, da tecnologia de produção e da alteração com o tempo. As características da interface

matriz-fibra influenciam nos mecanismos de deslocamento e arrancamento da fibra (BENTUR, MINDESS, 2007).

O grande entrave dos materiais compósitos com matrizes cimentícias reforçadas com fibras vegetais é a sua fragilização ao longo do tempo, devido ao ataque alcalino do cimento às fibras vegetais, o que reduz, também, a aderência na interface fibra – matriz, diminuindo, assim, a resistência aos esforços solicitantes e, conseqüentemente, sua durabilidade (ARRUDA FILHO, 2015).

Ocorre que, na fabricação dos compósitos, a água da pasta de cimento fresco se acumula ao redor das fibras, o que deixa a matriz mais porosa nessa região da interface. Uma vez inicialmente cheia de água, a zona de transição não desenvolve uma matriz densa como no restante do compósito e apresenta grande quantidade de hidróxido de cálcio depositado nos poros (BENTUR, MUNDESS, 2007). A água alcalina presente nos poros dissolve a lignina e as hemiceluloses na lamela média. As fibras tornam-se vulneráveis e perdem a capacidade de reforço (TOLÊDO FILHO et al., 2003).

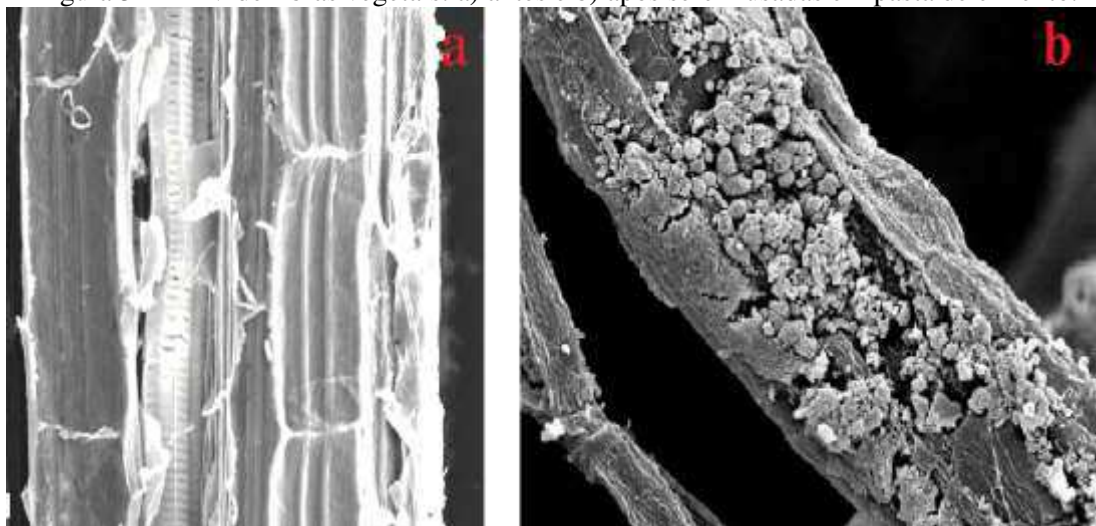
Um dos principais desafios para o emprego de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais no mercado é a durabilidade do material. Devido ao processo de envelhecimento na presença de umidade, sofrem redução da resistência e da tenacidade. Este processo está associado à combinação do enfraquecimento das fibras por ataque alcalino, mineralização das fibras devido à migração de produtos de hidratação para os lúmens e vazios das células vegetais, além da variação dimensional das fibras devido à alta absorção de umidade. Esses mecanismos fazem com que o material reduza a resistência pós-pico (ARDANUY et al, 2011).

As fibras vegetais utilizadas como reforço nos compósitos estão sujeitas à mudança de volume devido ao inchamento em contato com a fase líquida. Essa variação dimensional ocorre devido aos polímeros das paredes das células que contém hidroxila e outros grupos que possuem oxigênio que atraem a umidade por ligações de hidrogênio. A absorção ocorre principalmente pelas hemiceluloses, mas também pela celulose e lignina (DAS et al., 2000).

Ardanuy et al. (2011) estudaram o comportamento das fibras na matriz alcalina em várias idades e concluíram que ao ocorrer a hidratação do cimento, as fibras vegetais mineralizaram, ocorrendo perda principalmente de parte de hemiceluloses. A mineralização ocorre devido à precipitação de partículas de hidróxido de cálcio na superfície e/ou no lúmen

das fibras. A Figura 5 apresenta imagens de MEV em fibras naturais antes e após o reforço em matrizes à base de cimento.

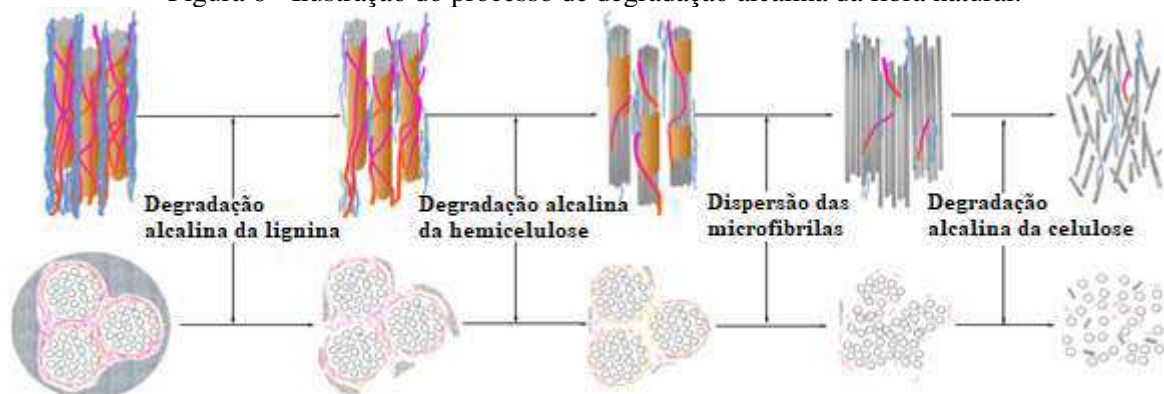
Figura 5 – MEV de fibras vegetais: a) antes e b) após serem usadas em pasta de cimento.



Fonte: Adaptado, a) Mwaikambo (2006); b) Ardanuy, Claramunt, Tolêdo Filho (2015).

O processo de degradação alcalina ocorre em quatro etapas: na primeira, há a degradação da lignina e parte das hemiceluloses, o que leva à exposição da holocelulose na solução de poros e fase sólida da matriz; na segunda, degradação principalmente das hemiceluloses, o que provoca a diminuição na integridade e estabilidade da parede celular da fibra; na terceira, já com a degradação da lignina e hemiceluloses, há dispersão das microfibrilas na solução de poros da matriz, que por sua vez acelera a degradação da celulose; na quarta e última etapa, ocorre falha das microfibrilas de celulose, causada por hidrólise alcalina de regiões amorfas, levando à degradação completa da fibra natural exposta (WEI, MEYER, 2015). A Figura 6 ilustra o processo de degradação alcalina da fibra natural.

Figura 6 - Ilustração do processo de degradação alcalina da fibra natural.



Fonte: Adaptado, traduzido, Wei e Meyer (2015).

2.3 Tratamentos de fibras vegetais visando melhoria em suas propriedades

O desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais pode ser melhorado através de duas possibilidades: na primeira, a modificação da matriz, que não é o objetivo desse estudo; na segunda, a modificação do reforço por meio de tratamentos físicos e/ou químicos.

As propriedades das fibras podem ser melhoradas através de tratamentos superficiais e modificações dos compostos constituintes propriamente ditos. Modificações das superfícies alteram propriedades como aderência e absorção de umidade e, modificações dos constituintes alteram propriedades de equilíbrio, tais como estabilidade dimensional com a variação da umidade (MOTTA, 2005).

Para melhorar o desempenho mecânico e durabilidade, evitando a degradação do compósito, é necessário modificar o caráter hidrofílico das fibras e melhorar a adesão com a matriz por meio de tratamento da superfície (ARDANUY, CLARAMUNT, TOLEDO FILHO, 2015).

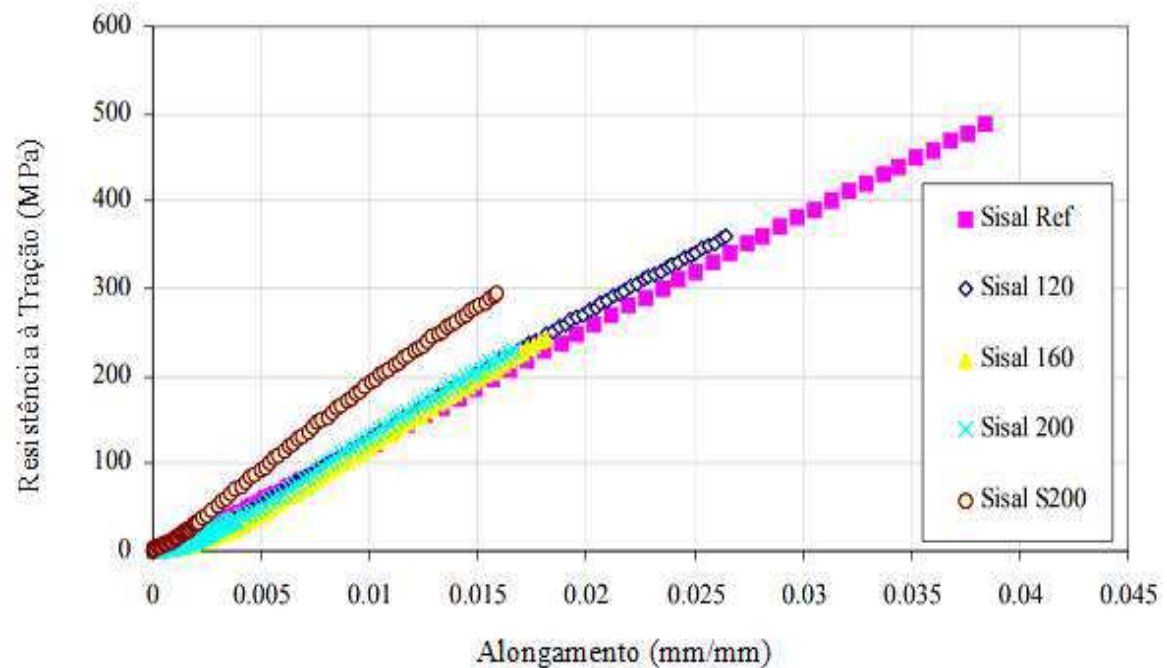
Os tratamentos físicos modificam as propriedades estruturais e superficiais das fibras sem alterar a composição química e podem influenciar na adesão com a matriz. Dentre os tratamentos físicos destacam-se corona, plasma frio, raios ultravioletas, tratamentos térmicos com radiação de elétrons, tratamento termomecânico, hornificação (FARUK et al., 2012).

Os tratamentos químicos consistem em empregar alguma substância química que irá reagir com as fibras vegetais, para aumentar a adesão interfacial entre fibra e matriz e diminuir a hidrofiliabilidade (ALBINANTE, PACHECO, VISCONTE, 2013). A maioria dos métodos apresentam melhoria nas propriedades mecânicas das fibras e melhor adesão entre fibra e matriz. Os tratamentos químicos mais relatados são tratamento alcalino, acetilação, silano, acrilização, isocianatos, permanganato, impregnação (LI, TABIL, PANIGRAHI, 2007).

Motta, John e Agopyan (2010) realizaram tratamento termomecânico em fibras de sisal para utilização em matriz cimentícia. Nos ensaios de tração direta, houve redução na tensão de tração das fibras prensadas a 120°C, 160°C, 200°C e saturada prensada a 200°C, conforme apresentado na Figura 7. No entanto, nas fibras que foram saturadas para posterior prensagem a 200°C, houve um acréscimo de 38% no módulo de elasticidade se comparado com a fibra referência.

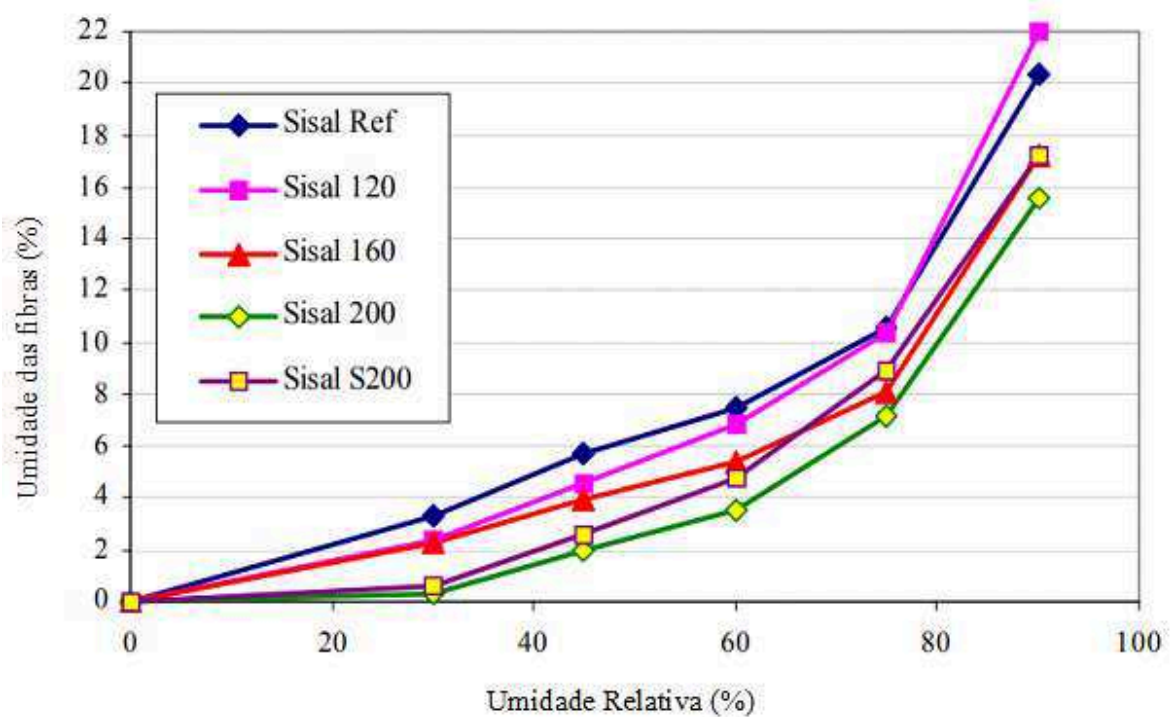
Para o ensaio de absorção realizado por Motta, John e Agopyan (2010), houve redução na absorção na condição de umidade relativa a 90% para as fibras prensadas a 160°C, 200°C e saturada prensada a 200°C, se comparado com a fibra referência, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 7 – Esboço típico do diagrama de tensão/deformação das fibras de sisal.



Fonte: Traduzido, Motta, John e Agopyan (2010).

Figura 8 – Isotermas de absorção de umidade das fibras de sisal.

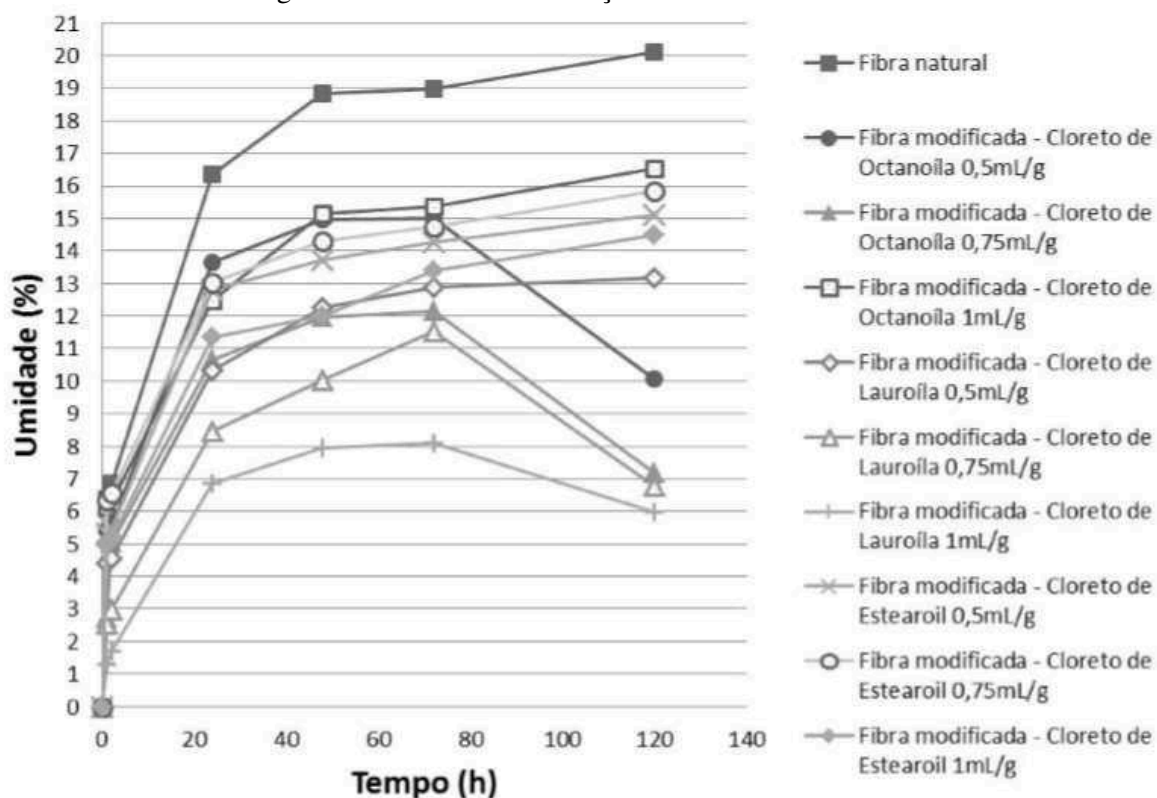


Fonte: Traduzido, Motta, John e Agopyan (2010).

Souza et al. (2017), realizaram modificação química superficial de fibras de bucha vegetal visando sua utilização em matriz cimentícia. As reações de esterificação foram realizadas com os agentes modificadores cloreto de octanoíla, cloreto de lauroíla e cloreto

de estearoil, usando tolueno como solvente e piridina como catalisador. Observou-se que as fibras modificadas com cloreto de lauroíla na concentração de 1 ml/g e de 0,75 ml/g apresentaram os menores valores de absorção, com redução de 70% e 67% respectivamente em relação à fibra sem tratamento. As fibras esterificadas com cloreto de octanoíla a 0,75 ml/g também apresentaram menor absorção de umidade, com redução de 64%. A Figura 9 apresenta as isotermas de absorção de umidade das fibras modificadas e natural.

Figura 9 – Isotermas de absorção de umidade das fibras



Fonte: Souza et al. (2017).

Ainda Souza et al. (2017), notaram que houve redução das propriedades mecânicas com o tratamento químico, em que o cloreto de lauroíla foi o mais agressivo, com redução de 80% na resistência à tração das fibras modificadas. As fibras modificadas com cloreto de octanoíla e estearoil apresentaram resistência à tração, em média, 50% menor, comparado à fibra sem tratamento. O módulo de elasticidade das fibras tratadas também sofreu redução, exceto para o tratamento com cloreto de octanoíla, em que, para a modificação com 0,5 ml/g, não houve alteração, e com 0,75 ml/g o módulo de elasticidade teve aumento de 67%, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades do ensaio de tração direta das fibras (desvio padrão entre parênteses).

	Resistência à tração (MPa)	Deformação (mm/mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
Fibra sem tratamento (3 mm)	99,2 (32,25)	0,177 (0,03)	1,00 (0,27)
Fibra modificada – cloreto de octanoíla 0,5 ml/g	51,4 (13,85)	0,060 (0,01)	1,05 (0,26)
Fibra modificada – cloreto de octanoíla 0,75 ml/g	58,3 (8,96)	0,046 (0,01)	1,67 (0,40)
Fibra modificada – cloreto de lauroíla 0,5 ml/g	18,5 (6,62)	0,059 (0,01)	0,48 (0,06)
Fibra modificada – cloreto de lauroíla 0,75 ml/g	17,4 (5,12)	0,077 (0,03)	0,36 (0,10)
Fibra modificada – cloreto de lauroíla 1 ml/g	20,2 (3,67)	0,066 (0,01)	0,41 (0,08)
Fibra modificada – cloreto de estearoil 0,5 ml/g	44,9 (7,58)	0,114 (0,03)	0,52 (0,12)
Fibra modificada – cloreto de estearoil 0,75 ml/g	30,3 (5,39)	0,083 (0,01)	0,52 (0,08)
Fibra modificada – cloreto de estearoil 1 ml/g	54,9 (7,02)	0,167 (0,04)	0,48 (0,10)

Fonte: Adaptado, Souza et al. (2017).

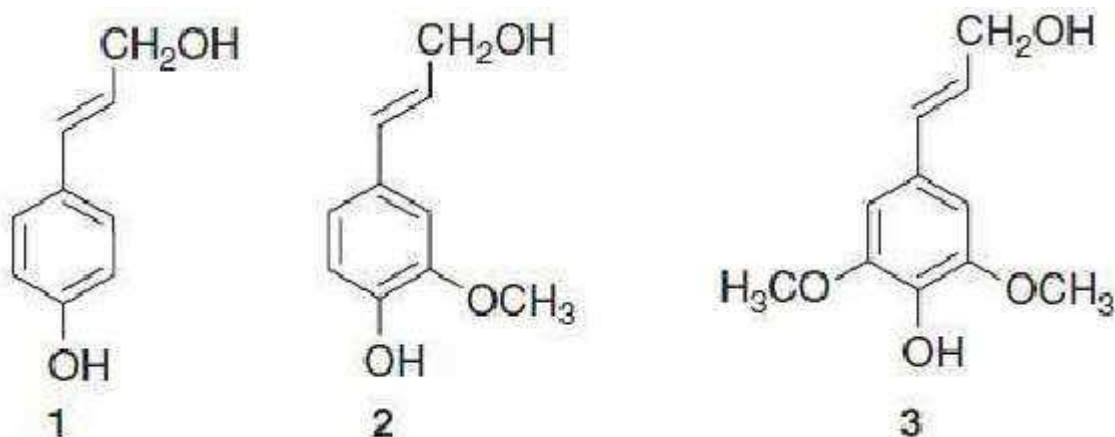
2.4 Ligninas em fibras vegetais

A lignina é uma substância amorfa com estrutura complexa que une as fibras celulósicas, formando a parede celular. Fornece resistência à compressão às fibras, pois enrijece a parede celular e protege contra danos físicos e químicos. Também são moléculas formados por unidades aromáticas de fenilpropano e apresentam estrutura macromolecular (PASSOS, 2005).

Sua estrutura tridimensional explica a rigidez e a resistência à compressão, gerando uma estrutura resistente ao impacto, agindo como agente permanente de ligação entre as células. (SANTOS, 2008).

Saliba et al. (2001) definem lignina como um polímero derivado de unidades fenilpropanóides denominadas C6C3 ou, simplesmente, unidades C9, repetidas de forma irregular, que têm sua origem na polimerização desidrogenativa do álcool coniferílico. A lignina é composta por três monolignóis principais, o álcool p-coumarílico, álcool coniferílico e o álcool sinapílico (QUINELATO, 2016), cujas estruturas estão representadas na Figura 10.

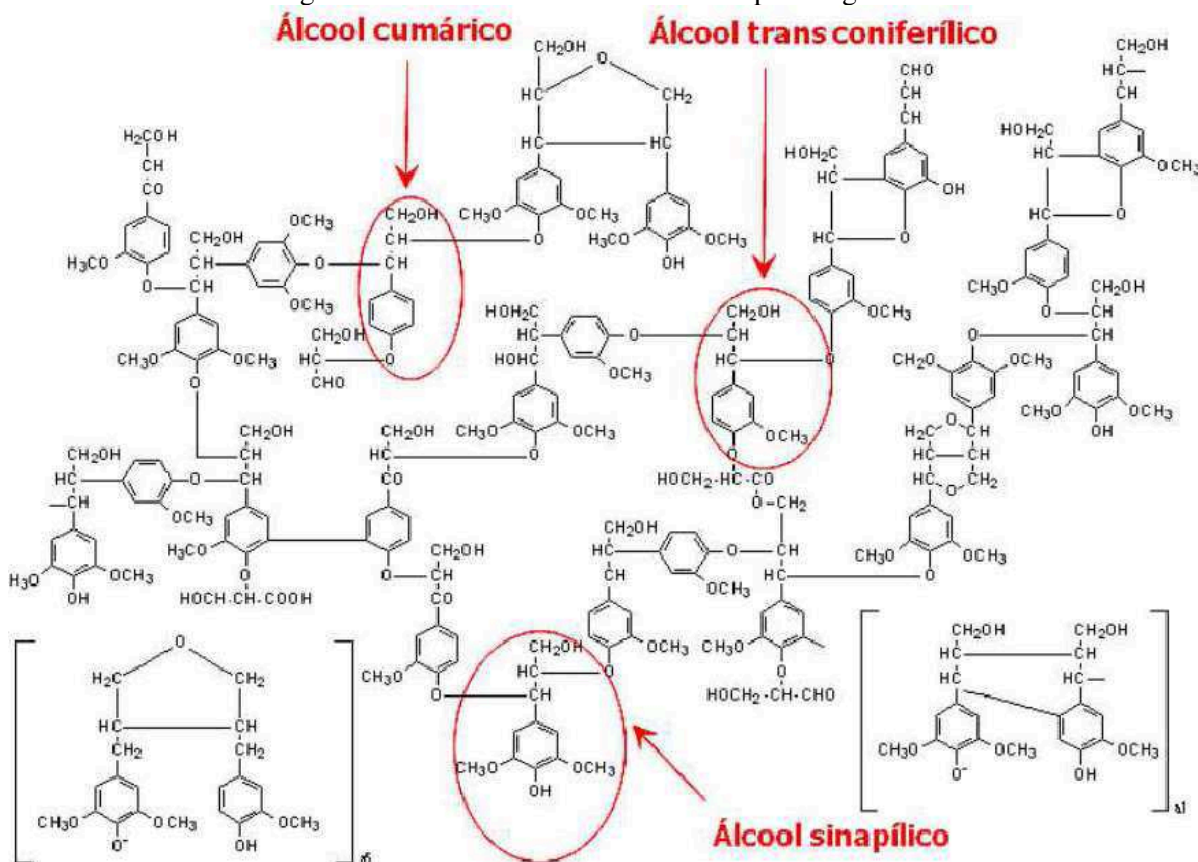
Figura 10 – Tipos de monolignóis mais comuns encontrados como precursores da lignina: (1) álcool p-coumarílico, (2) álcool coniferílico e (3) álcool sinapílico.



Fonte: Adaptado, Gellerstedt e Henriksson (2008).

A lignina é composta pela ligação de vários destes monolignóis, formando um polímero bastante complexo (BOERJAN, RALPH, BAUCHER, 2003). A Figura 11 ilustra o exemplo de uma determinada lignina e suas ligações.

Figura 11 – Estrutura molecular de um tipo de lignina.



Fonte: Aguiar (2010).

As ligações destas unidades são de dois tipos: ligação éter através do oxigênio do grupo hidroxila do anel fenólico e ligações diretas C-C de condensação, sendo que as ligações do tipo éter são as que predominam (β -O-4 e α -O-4) (BOERJAN, RALPH, BAUCHER, 2003).

2.4.1 Isolamento da lignina

O isolamento da lignina pode ser dificultado principalmente por causa das reações de condensação e oxidação que normalmente ocorrem durante o processo (PILO-VELOSO, NASCIMENTO, MORAIS, 1993). Em decorrência dessas reações, pode-se afirmar que todos os processos de extração da lignina sofrem alguma modificação estrutural que afeta suas propriedades físicas (PASQUINI et al, 2002). Saliba, Rodriguez e Barreto (1998) verificaram que a lignina de madeira moída e isolada com solventes orgânicos é ideal para estudos de caracterização, pois sofre poucas modificações.

Os processos para obtenção da lignina segundo Fengel e Wegener (1984) podem ser por hidrólise e isolamento, este último, com três métodos básicos, lignina como resíduo, como extrativo ou como derivado.

A lignina de hidrólise é obtida durante a hidrólise da madeira a uma temperatura de 180°C a 190°C, sob pressão de 12 a 14 atm, e com solução de H₂SO₄ de 0,5 a 1,0%. Devido às condições de extração, ocorre uma transformação da matéria-prima vegetal, na qual os polissacarídeos são convertidos a monossacarídeos (pentoses e hexoses), restando um produto insolúvel (rendimento de 25 a 40%) denominado Lignina Técnica Bruta (LTB).

O isolamento de lignina envolve o preparo de amostras livres de extrativos, tendo três processos básicos isolar a lignina:

- Como resíduo – é o método de Klason, no qual pela hidrólise ácida, os polissacarídeos são removidos e a lignina é liberada como resíduo;
- Como derivado - neste método, o vegetal, ao ser tratado com determinados reagentes, forma produtos solúveis que serão separados:

- Processo organossolve - Envolve reação com um álcool (metanol, isobutanol, ciclo hexanol ou álcool benzílico) e ácido acético. Os álcoois combinam com a lignina na presença de ácidos minerais formando a lignina alcoólica, solúvel, com rendimento de 30%;
 - Processo do ácido tioglicólico - Este ácido reage com a lignina na presença de HCl diluído formando o ácido ligno-tioglicólico. O componente principal da lignina que participa desta reação é o álcool benzílico (reação de substituição nucleofílica);
 - Derivado da indústria de celulose - Da indústria de papel são obtidos dois tipos de lignina como subprodutos, a lignina sulfítica e a Kraft (sulfática). A lignina sulfítica é obtida pelo tratamento da madeira com hidróxido de sódio e sulfito de sódio; a sulfática é produzida pela reação da madeira com sulfeto de sódio em meio básico.
- Como extrativo - a lignina é obtida pela extração com solventes orgânicos a partir do vegetal finamente moído. Como mencionado anteriormente, a lignina obtida por este método assemelha-se mais com a protolignina:
 - Lignina nativa (LN), ou de Brauns (LB) - No procedimento original, a madeira do vegetal era finamente moída e a extração inicial era feita com éter, seguindo-se uma extração com água fria e, após, com etanol 95%. Neste último extrato, a lignina era precipitada pela adição de H₂O. A purificação final consistia na dissolução do precipitado em dioxano e na reprecipitação por adição de éter etílico. O rendimento dessa lignina é muito baixo, representando de 2 a 4% da lignina total presente na madeira;
 - Lignina liberada enzimaticamente - Em partículas do vegetal com dimensões de 60 mesh, faz-se a extração com éter e água. Posteriormente, o material pré-extraído é submetido a uma cultura de determinados tipos de fungos por um período de 13 a 15 meses. Os fungos atacam somente os polissacarídeos, propiciando uma hidrólise enzimática e liberando a lignina intacta. A lignina é,

então, extraída do meio com etanol 95% e purificada, como no caso da lignina nativa, tendo-se um rendimento de 20% do teor da lignina total da madeira.

- Lignina de madeira moída (LMM) - Esta é uma das mais estudadas para a análise estrutural, pois a lignina não sofre grandes transformações químicas, representando, assim, a composição média da lignina do vegetal. Sua obtenção é feita a partir do vegetal livre de extratos finamente triturado em moinho de bolas por dois ou três dias. Faz-se, então, a extração desse pó com mistura dioxano-água (9:1) ou acetona: água (9:1), que resulta em solução contendo a LMM. Após remoção do solvente, o extrato é purificado pela solubilização em ácido acético e precipitado por adição de água. Essa lignina pode ainda ser purificada por solubilização em NaOH 0,1 N e por precipitação por adição de HCl 0,3 N. Por este método, é possível extrair até cerca de 50% da lignina total do vegetal.

2.5 Considerações finais

Até o presente, não há relatos de estudos aplicando-se lignina impregnada em fibras vegetais para uso como reforço em compósitos de fibrocimento. Trata-se de um tratamento inédito e que busca dar um destino mais nobre à lignina extraída das fibras vegetais, principalmente pela indústria do papel, e sobretudo de proteção das fibras ao ataque alcalino sofrido dentro da matriz cimentícia.

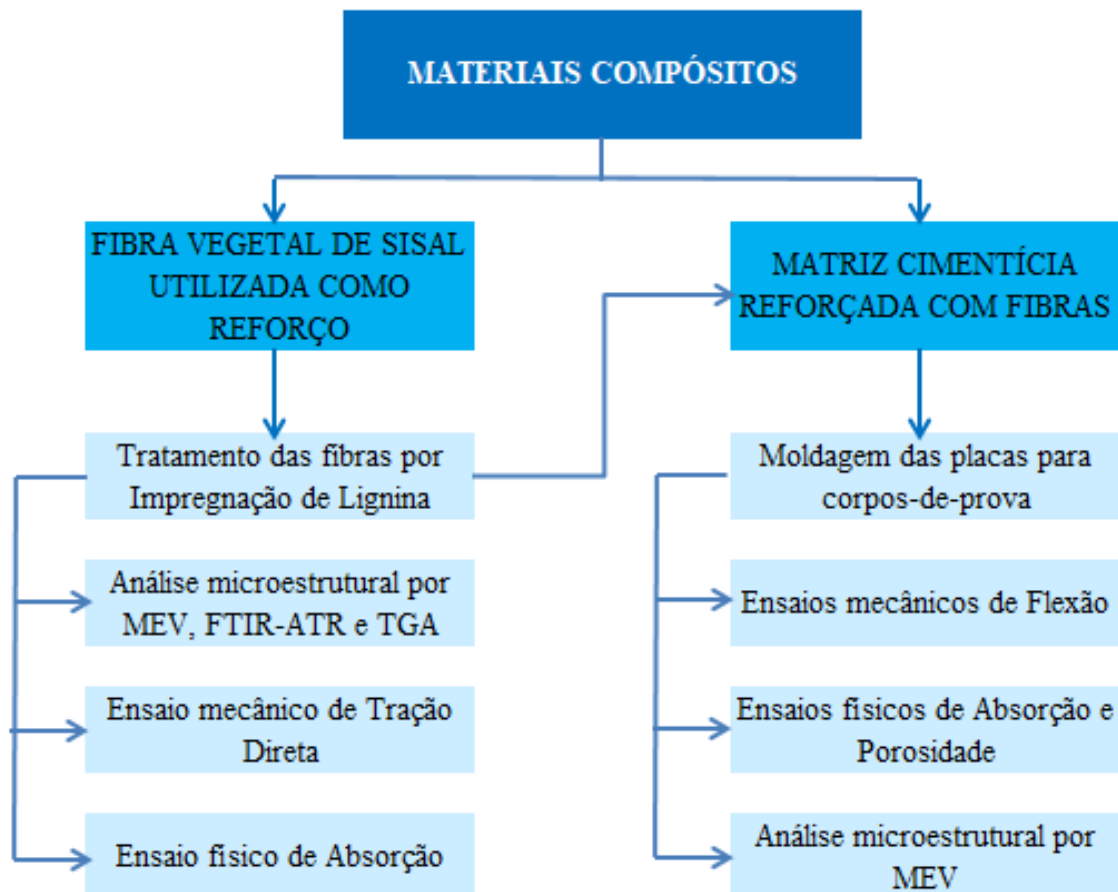
A proposta desse uso se dá pelo fato da lignina exercer uma função protetora e de estruturação dos feixes fibrosos vegetais, conforme apresentado por Pettersen (1984). No entanto, sabe-se que no momento em que é decomposta pela ação do elevado pH da água do poro da pasta de cimento, a lignina deixa a fibra desprotegida, o que é prejudicial ao compósito, pois acaba reduzindo a aderência do conjunto fibra-matriz, fazendo com que a fibra passe de um reforço apenas para um enchimento (AGOPYAN, 1991; TOLÊDO FILHO, 1997; CALDAS & SILVA, 2002).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA APLICADA

Este capítulo apresenta a metodologia aplicada aos experimentos, descrevendo os materiais utilizados, métodos de tratamento e ensaios realizados para as fibras e compósitos. A Figura 12 apresenta um resumo do planejamento experimental aplicado neste trabalho.

Figura 12 – Organograma do planejamento experimental.



Fonte: o autor.

3.1 Fibras vegetais de sisal

3.1.1 Tratamento das fibras por impregnação com lignina

Foram propostas quatro situações de tratamento de fibras para comparação com a fibra natural. Em duas utilizou-se a lignina do tipo organossolve etanol/água de bagaço de cana, e em duas a lignina do tipo kraft de eucalipto, sendo que em 01 tratamento com lignina organossolve e em 01 com lignina kraft foi adicionado glutaraldeído.

O processo de impregnação, cujo resumo encontra-se na Tabela 4, foi realizado da seguinte maneira:

- Primeiro, o preparo da solução de ácido clorídrico (HCl) concentrado ~1,0 M, em que são adicionados 100 mililitros de HCl para cada litro de água destilada;
- Segundo, o preparo da solução de hidróxido de sódio (NaOH) ~0,1 M, em que são adicionados 4 gramas de NaOH para cada litro de água destilada;
- Terceiro, a pesagem da lignina;
- Quarto, a pesagem das fibras;
- Quinto, por meio de um agitador mecânico, fez-se o preparo da solução de NaOH com lignina em um béquer posicionado em cima da placa de aquecimento, sendo que em duas situações houve a adição de glutaraldeído e em outras duas não;
- Sexto, a adição de fibra vegetal à solução de NaOH com lignina, com e sem glutaraldeído;
- Sétimo, espera-se a estabilização da temperatura de todo o conjunto descrito anteriormente;
- Oitavo, com a temperatura estável, adiciona-se gradualmente solução de HCl 1,0M, até a precipitação da lignina na fibra;
- Após o término do ensaio, que ocorreu em 90 minutos, fez-se a filtração para remoção do excesso de líquidos e secagem das fibras em estufa à $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

As fibras foram cortadas com comprimento de 30 mm, conforme trabalho proposto por Motta, John e Agopyan (2010), sendo assim, o reforço da matriz é classificado como descontínuo (curto) e orientado aleatoriamente. O objetivo do uso do glutaraldeído no

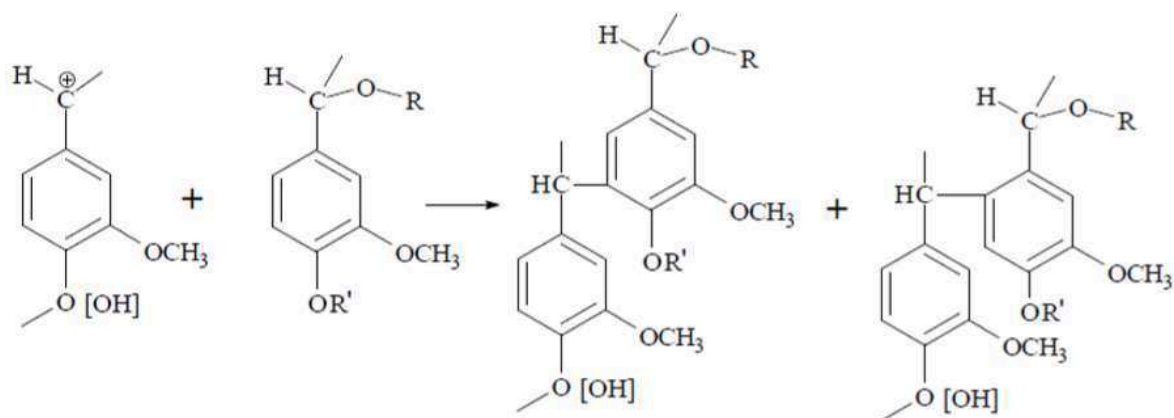
tratamento é promover a possível reticulação da lignina na superfície das fibras. Já o uso da solução de HCl 1,0M é para que haja a condensação da lignina, cujas reações em meio ácido podem ser ilustradas pela figura 13. A Figura 14 ilustra o tratamento por impregnação em andamento.

Tabela 4 – Resumo das condições de ensaio para impregnação de lignina em fibras de sisal.

CONDIÇÕES DE ENSAIO	SLOG	SLO	SLKG	SLK
Tipo de lignina	Organossolve	Organossolve	Kraft	Kraft
Solução 0,1 M NaOH (ml)	1500	1500	1500	1500
Lignina (g)	20	20	20	20
Fibra Sisal (g)	40	40	40	40
Glutaraldeído 50% (ml)	200	-	200	-
Tempo de aquecimento do conjunto (min)	60	60	60	60
Temperatura conjunto após tempo de aquecimento (°C)	65	68	64	67
Adição de solução 1,0 M de HCl no tempo t = 60 min (ml)	25	25	25	25
pH solução (t = 60 min)	7	12	8	12
Adição de solução 1,0 M de HCl no tempo t = 65 min (ml)	25	25	25	25
pH solução (t = 65 min)	5	8	5	9
Adição de solução 1,0 M de HCl no tempo t = 70 min (ml)	25	25	25	25
pH solução (t = 70 min)	4	5	4	6
Adição de solução 1,0 M de HCl no tempo t = 75 min (ml)	25	25	25	25
pH solução (t = 75 min)	4	4	4	5
Adição de solução 1,0 M de HCl no tempo t = 80 min (ml)	25	25	25	25
pH solução (t = 80 min)	3	3	3	4
Adição de solução 1,0 M de HCl no tempo t = 85 min (ml)	25	25	25	25
pH solução (t = 85 min)	2	2	2	2
Temperatura (°C) do conjunto no final do ensaio (t = 90 min)	68	74	67	71

Fonte: o autor.

Figura 13 – Reações de condensação de ligninas em meio ácido.



Fonte: Novo (2012).

Figura 14 – Tratamento por impregnação em fibras.



Fonte: o autor.

3.1.2 Análise microestrutural das fibras por MEV, FTIR-ATR e TGA

Visando verificar se a impregnação surtiu o efeito esperado nas fibras tratadas, estas foram analisadas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) no microscópio modelo Vega3, da marca TESCAN, localizado no Laboratório de Multiusuários do Instituto de Química da UFU (IQ/UFU). Para tanto, utilizou ouro a uma voltagem de 5 kV para metalizar as fibras, garantindo sua condutividade elétrica e térmica. As amostras foram cortadas nas dimensões de 1 cm e armazenadas em estufa, à temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, por 24 h, para que não houvesse degradação da amostra e para retirar a umidade que dificulta a aplicação do vácuo necessário à análise.

Por meio da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier pela técnica de reflexão total atenuada (FTIR-ATR) foram analisadas as características estruturais em diversos pontos da superfície das fibras após o tratamento. Os espectros vibracionais foram obtidos na região do infravermelho médio que compreende os comprimentos de onda de 2,5 a 25 μm (números de onda entre 4000 e 400 cm^{-1}). O aparelho utilizado nesta análise foi o espectrofotômetro FT-IR Frontier Single Range - MIR, da Perkin Elmer, com 16 acumulações e velocidade de varredura de 0,2 cm^{-1} . O espectrofotômetro utilizado pertence ao Grupo de Materiais Inorgânicos do Triângulo (GMIT), localizado no laboratório de fotoquímica e ciência dos materiais (LAFOT-CM) do Instituto de Química da UFU.

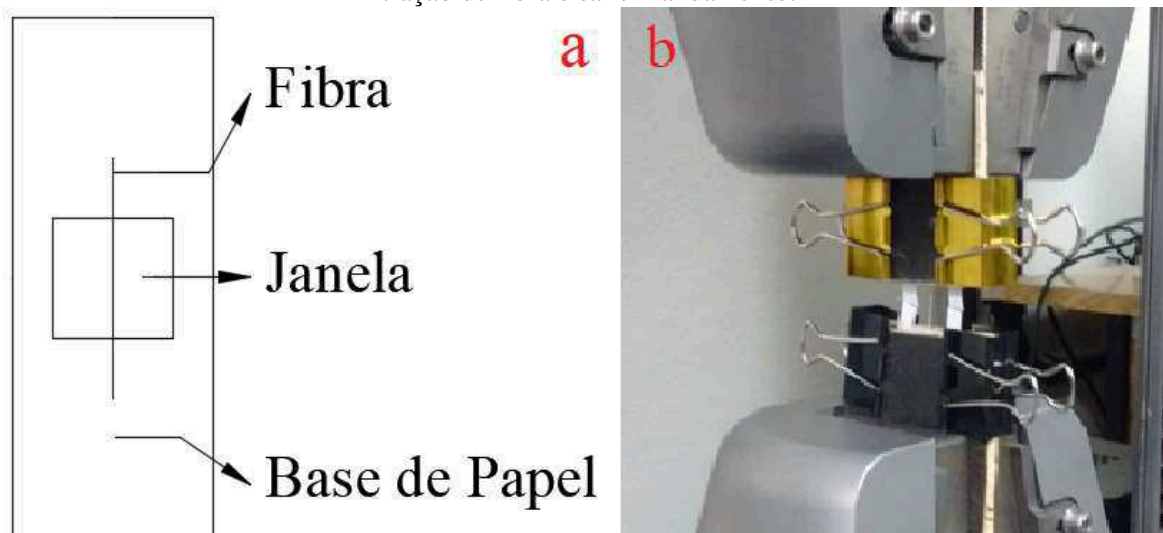
Com a thermogravimetric analysis (TGA), ou seja, análise termogravimétrica, observou-se a variação de massa das amostras de fibras tratadas, realizada a uma razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C}.\text{min}^{-1}$, com um fluxo de gás inerte (N_2) 30 $\text{ml}.\text{min}^{-1}$, com um intervalo de temperatura de 28°C a 600°C em um equipamento Shimadzu DTG-60H. As amostras com massa entre 5 e 7 mg foram colocadas em um porta amostra de alumina. Também foram feitas análises para amostras das ligninas organossolve e kraft.

Todos os resultados de análise microestrutural das fibras tratadas foram utilizados para comparação com as fibras naturais.

3.1.3 Ensaio mecânico de tração direta

Por meio do ensaio de tração direta baseado no método adotado por Motta, John e Agopyan (2010), foram obtidas as propriedades mecânicas de resistência à tração, deformação e módulo de elasticidade, utilizando máquina de ensaios Instron 5982, célula de carga 5kN. As fibras foram coladas com cola de madeira numa base de papel conforme ilustrado na Figura 15a, cuja janela possui dimensões de 15 mm x 15 mm. Esta base foi posicionada nas garras da máquina de ensaio com uso de dispositivos de madeira com lixas nas superfícies para garantir melhor aderência e depois teve suas laterais cortadas, para que o ensaio de tração seja apenas nas fibras, conforme Figura 15b. Foram ensaiadas 30 amostras para cada tratamento, inclusive fibras naturais.

Figura 15 – a) Ilustração de preparo do corpo-de-prova para ensaio de tração direta; b) Ensaio de tração de fibra sisal em andamento.

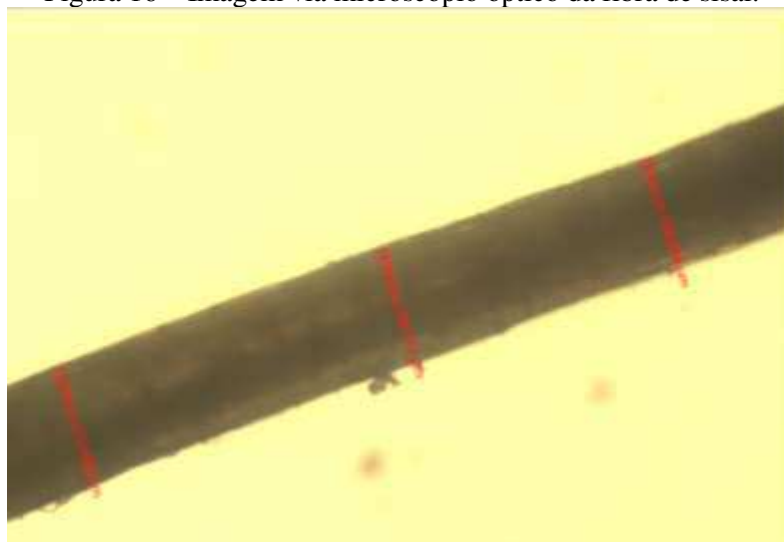


Fonte: o autor.

Os resultados foram obtidos pelo programa computacional da máquina Instron 5982, sendo necessários como dados de entrada o comprimento inicial que foi de 15 mm e o diâmetro médio das fibras (média de 3 medidas por amostra), obtido por microscópio ótico marca Olympus CX40 e câmera de alta resolução Zeiss ICc5, conforme ilustrado na Figura 16.

A deformação das fibras foi determinada pela relação entre seu alongamento e o comprimento inicial. A tensão de tração, pela relação da força aplicada e a área da seção transversal inicial da fibra. E o módulo de elasticidade foi determinado pela relação entre a tensão e a deformação no trecho elástico da curva tensão/deformação.

Figura 16 – Imagem via microscópio óptico da fibra de sisal.



Fonte: o autor.

3.1.4 Ensaio físico de absorção

Foi realizada uma avaliação comparativa quanto à absorção de umidade entre os diferentes tratamentos aplicados às fibras de sisal, conforme Norma ASTM E104-02 (2012). Três amostras de cada tratamento com massa de aproximadamente 1,0 g foram colocadas em um dessecador com solução saturada de Sulfato de Zinco (ZnSO_4) para criar uma atmosfera com alta umidade (99%), conforme ilustrado na Figura 17. O ensaio foi realizado em ambiente com temperatura controlada igual a 21°C. As medidas de massa foram realizadas em balança analítica com resolução de 0,00001 g, e a absorção foi determinada conforme Equação 1.

$$A_f = \left(\frac{m_{f,t} - m_{f,0}}{m_{f,0}} \right) 100\% \quad (1)$$

Sendo: A_f = absorção da fibra; $m_{f,t}$ = massa da fibra medida no instante t, em gramas; $m_{f,0}$ = massa inicial da fibra, em gramas.

Figura 17 – Ensaio de absorção de umidade de fibras de sisal.



Fonte: o autor.

3.2 Matriz cimentícia reforçada com fibras

3.2.1 Moldagem das placas para corpos-de-prova

A preparação dos compósitos foi feita simulando processo Hatschek, conforme Savastano Junior (2000). Foram moldadas placas com dimensões de 20 cm x 20 cm x 0,4 cm, sendo adicionados 2% de polpa celulósica em relação ao volume da mistura, valor mínimo para reter o material cimentício durante a sucção da água, além de 3% de fibras vegetais de sisal em volume. A Tabela 5 apresenta a quantidade de materiais utilizados para produção de cada placa cimentícia.

Tabela 5 – Proporção dos componentes por placa cimentícia.

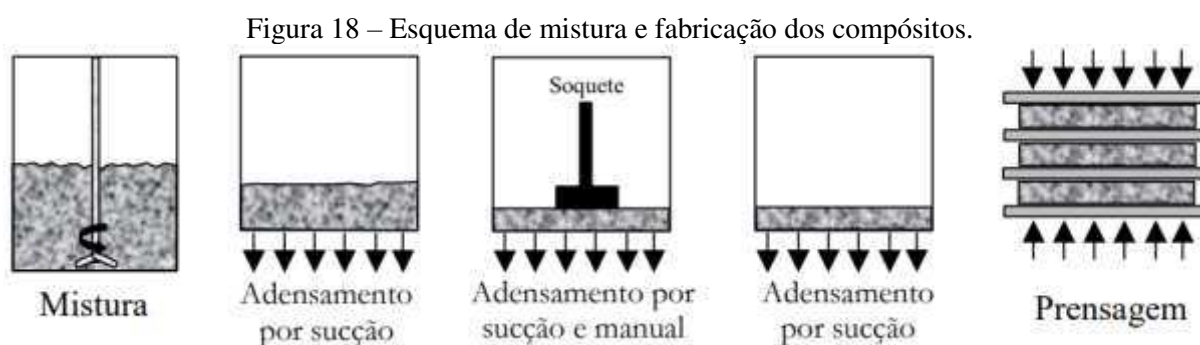
Componentes	Cimento CP II	Celulose	Fibras	Água
Massa (g)	228,00	4,80	7,20	360,00

Fonte: o autor.

A moldagem foi realizada em um dispositivo com base perfurada 20 cm x 20 cm, cuja mangueira da bomba à vácuo é acoplada em sua base para realizar a sucção de água. Para evitar a passagem dos sólidos durante esse processo foi utilizado papel filtro na base do

dispositivo. O processo de moldagem, ilustrado pela Figura 18, foi realizado pelas seguintes etapas:

- Em um misturador mecânico, marca Pavitest, modelo C3010 e rpm de 4/s, dispersou-se a fibra de celulose juntamente com a água por 5 minutos, em velocidade baixa;
- Foram adicionados cimento e fibras e misturou-se por mais 5 minutos;
- A mistura foi adicionada no dispositivo de moldagem e a sucção foi acionada para que o excesso de água fosse retirado e a mistura foi compactada com soquete de ferro;
- Após desligar a bomba à vácuo, a placa foi retirada do dispositivo e realizou-se a prensagem de 4 placas cimentícias de compósitos, separadas por placas metálicas 20 cm x 20 cm em prensa manual com tensão de 3,2 MPa, conforme apresentado por Motta (2005). A prensagem foi aplicada para reduzir os vazios da pasta e as placas ficaram na prensa de um dia para outro, cerca de 12 horas.



Fonte: Motta (2005).

A cura das placas se deu em câmara úmida com umidade relativa de 75% e temperatura de 23°C durante 28 dias. Após esse período, as placas foram cortadas em corpos-de-prova menores, com dimensões 4 cm x 20 cm x 0,4 cm, conforme ilustrado na Figura 19a. Algumas amostras foram ensaiadas aos 28 dias e outras foram submetidas ao envelhecimento natural até 180 dias na estação de meteorologia da Universidade Federal de Uberlândia, dispostos em um suporte com declividade de 30%, ilustrado na Figura 19b.

Figura 19 – a) Corpos-de-prova utilizados nos ensaios; b) Suporte com corpos-de-prova expostos ao envelhecimento natural.



Fonte: o autor.

Tal disposição segue orientações de Savastano Junior (2000), para que os corpos-de-prova fiquem à exposição das intempéries durante o envelhecimento natural. Tanto para os ensaios aos 28 quanto aos 180 dias foram utilizados 6 corpos-de-prova em cada modificação de fibra, inclusive com as fibras não tratadas.

3.2.2 Análise microestrutural por MEV

Assim como as fibras, os compósitos também foram analisados por MEV visando avaliar a microestrutura, interface matriz-fibra e a ocorrência de mineralização das fibras. As análises por MEV foram realizadas nos compósitos após os ensaios de flexão, ou seja, aos 28 e 180 dias. Para tanto, utilizou ouro a uma voltagem de 5 kV para metalizar as fibras, garantindo sua condutividade elétrica e térmica. As amostras foram cortadas nas dimensões de 1 cm e armazenadas em estufa, à temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, por 24 h, para que não houvesse degradação da amostra e para retirar a umidade que dificulta a aplicação do vácuo necessário à análise.

3.2.3 Ensaios mecânicos de flexão

Seguindo o procedimento de Motta (2005), os corpos-de-prova foram submetidos aos ensaios de flexão em 4 pontos. Utilizou-se a máquina Instron 5892 e célula de carga 5 kN, conforme ilustrado na Figura 20. A distância entre os apoios inferiores foi de 150 mm, velocidade de aplicação da carga foi de 2,0 mm/min e flecha adotada foi o deslocamento do cutelo de carga da máquina durante o ensaio. O parâmetro para finalização do ensaio foi o limite de flecha de 5 mm.

Do ensaio de flexão foram determinados os Módulo de Ruptura (MOR) conforme Equação 2 e o Módulo de Flexão ou Elasticidade (E) conforme Equação 3, dos compósitos. A tenacidade de cada corpo-de-prova foi obtida pela energia de fratura em kJ/m², que foi determinada pela integração da área sob a curva Força x Deformação até o ponto limite do ensaio (flecha de 5 mm), dividida pela área da seção transversal das amostras. Os resultados foram obtidos pelo programa computacional da máquina Instron 5982, sendo necessários como dados de entrada a largura e espessura média das amostras, estas, obtidas pelo paquímetro digital Mitutoyo com precisão de 0,01 mm.

Figura 20 – Ensaio de flexão em 4 pontos.



Fonte: o autor.

$$\text{MOR} = P_{\text{máx}}.L / b.e^2 \quad (2)$$

$$E = 23.L^3.P / 1296.I.\delta \quad (3)$$

Sendo: $P_{\text{máx}}$ = força máxima durante o ensaio, em Newtons (N); L = distância entre os apoios, em milímetros (mm); b = largura do corpo-de-prova, em milímetros (mm); e = espessura do corpo-de-prova, em milímetros (mm); I = momento de inércia da seção transversal (mm^4); P/δ = coeficiente angular da reta obtida pela curva $P \times \delta$ no trecho elástico (N/mm); MOR = Módulo de Ruptura, em MegaPascals (MPa); E = módulo de elasticidade, em MegaPascals (MPa).

3.2.4 Ensaios físicos absorção de água e porosidade

A absorção e a porosidade dos compósitos foram determinadas conforme a ASTM C948-81 (2009), pelas Equações 4 e 5, respectivamente. Para determinação das massas das amostras, os corpos de prova foram imersos em água até estabilidade de massa. Em uma balança hidrostática foi realizada a determinação da massa imersa (m_i). Para massa saturada superfície seca (m_{sss}) retirou-se a amostra da água, removeu-se a umidade superficial e determinou-se a massa em uma balança digital. Para determinação da massa seca (m_s), os corpos de prova foram secos em estufa com temperatura entre 100°C e 110°C durante período mínimo de 24 horas até estabilidade de massa, que após remoção da estufa, foram resfriados em um dessecador até temperatura ambiente. Com os dados de massa imersa, massa saturada superfície seca e massa seca, obteve-se também a massa específica aparente das amostras pela Equação 6.

$$Ab_{\text{cp}} = \{(m_{\text{sss}} - m_s) / m_s\} \times 100\% \quad (4)$$

$$\Pi = \{(m_{\text{sss}} - m_s) / (m_s - m_i)\} \times 100\% \quad (5)$$

$$\rho = \{m_s / (m_{\text{sss}} - m_i)\} \quad (6)$$

Sendo: Ab_{cp} = absorção dos compósitos (%); Π = porosidade dos compósitos (%); ρ = massa específica aparente dos compósitos (kg/dm^3).

3.3 Considerações finais

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste Tukey, com nível de confiança de 95% ($p < 0,05$), a fim de verificar as diferenças significativas entre aos valores médios encontrados das propriedades mecânicas dos compósitos. Foram utilizados os softwares Excel e Past.

CAPÍTULO 4

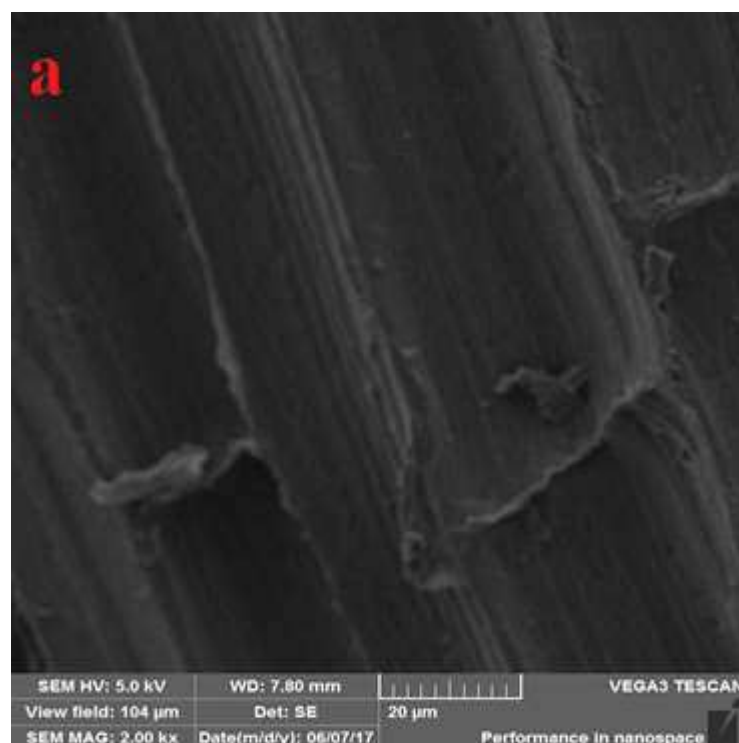
RESULTADOS & DISCUSSÕES

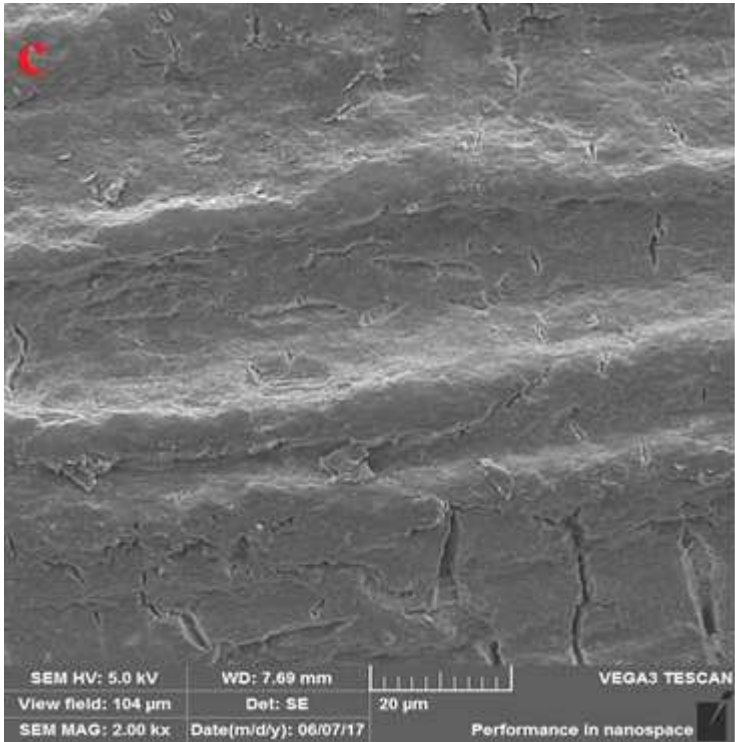
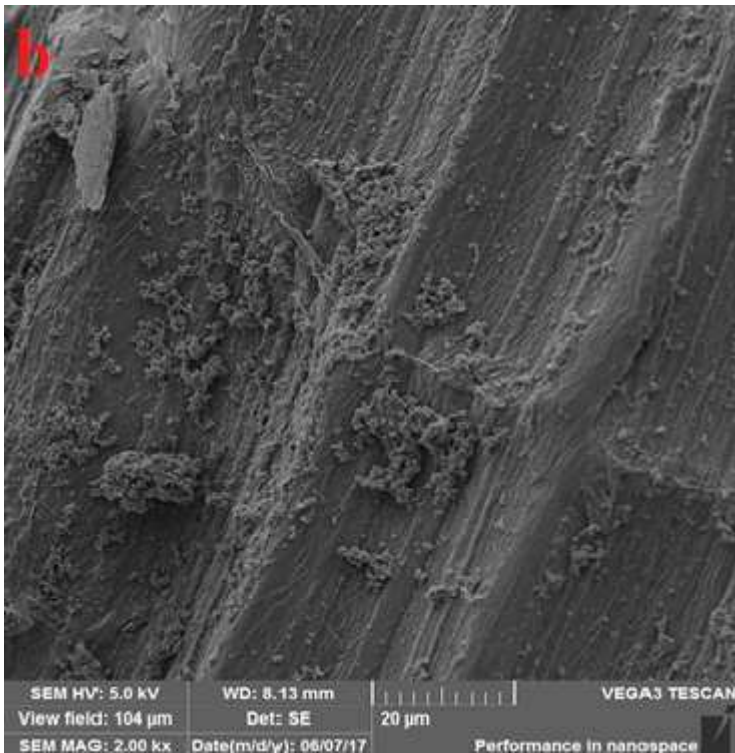
4.1 Fibras vegetais de sisal

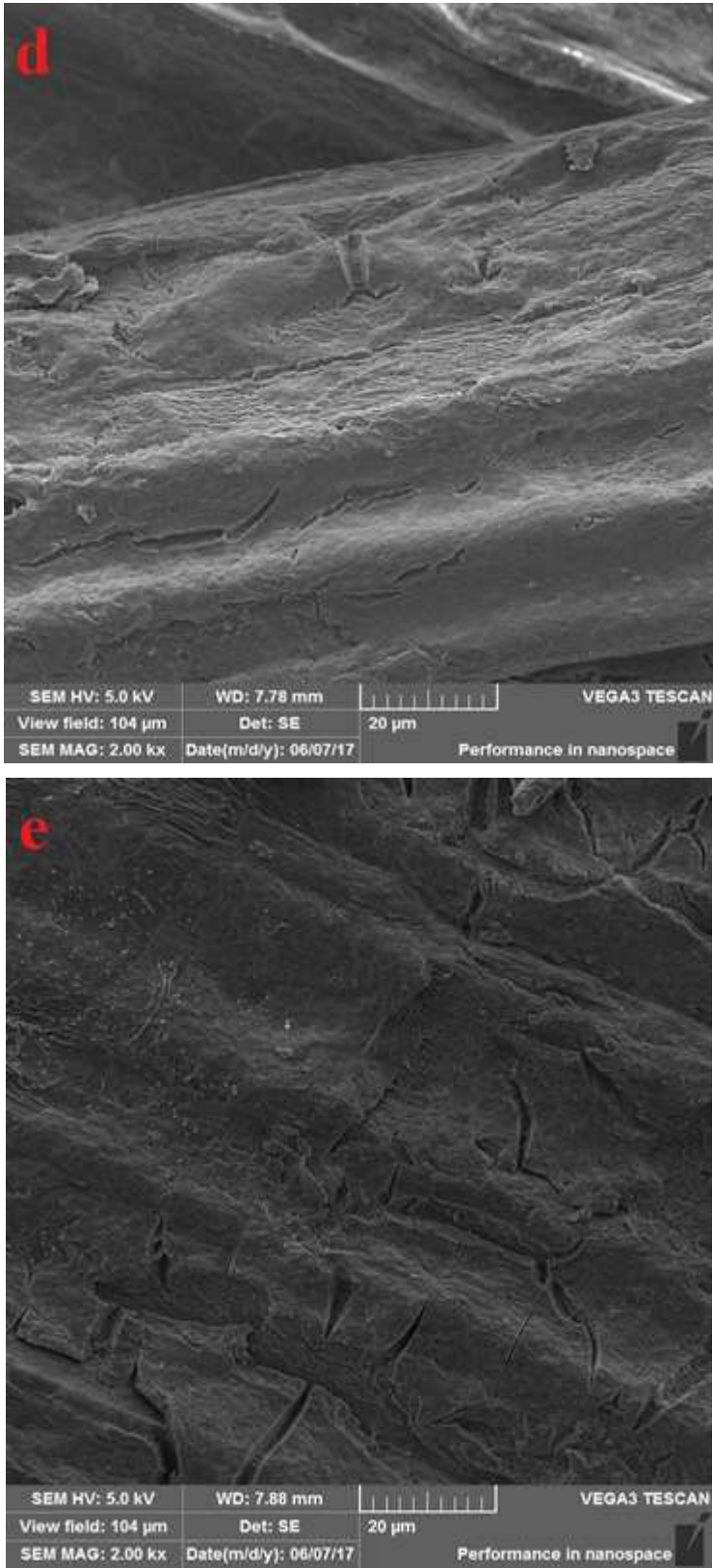
4.1.1 Análise microestrutural das fibras por MEV, FTIR-ATR e TGA

A primeira análise feita nas fibras foi por Microscopia Eletrônica de Varredura, conforme ilustrado na Figura 21, com imagens das superfícies das fibras naturais e tratadas.

Figura 21: MEV, sendo: a) SNAT; b) SLOG; c) SLO; d) SLKG; e) SLK.





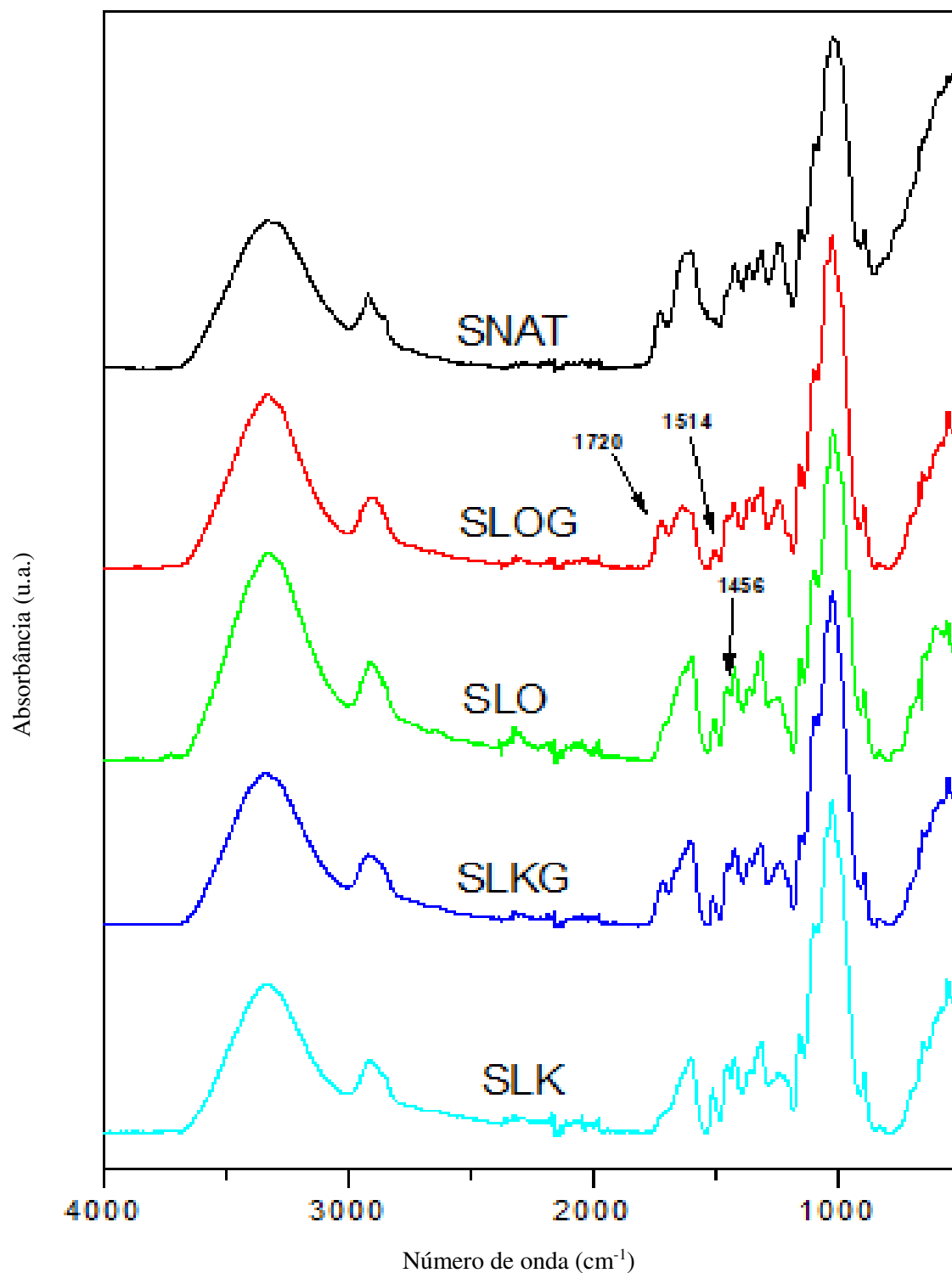


Fonte: o autor.

As SNAT não apresentaram recobrimento de lignina em sua superfície, nitidamente não foi observado deposição de material nas células individuais que compõem as fibras de sisal natural (Figura 21a). Já nas imagens por MEV das SLOG, SLO, SLKG e SLK foi possível observar o recobrimento das células que compõem as fibras vegetais, que apresentaram tanto aspecto rugoso (Figura 21b), ou aspecto liso e homogêneo (Figuras 21c, 21d e 21e). As fissuras apresentadas nas SLO, SLKG e SLK podem ser resultado da secagem das amostras em estufa. Por MEV observou-se lignina depositada na superfície das fibras, evidenciando que o tratamento com impregnação a princípio ocorreu. Sabe-se que a rugosidade da superfície é um dos fatores que pode beneficiar a aderência reforço/matriz. Também foi observado que a integridade das fibras foi mantida após o tratamento.

Após a Microscopia Eletrônica de Varredura, foram analisados os espectros de FTIR-ATR das fibras de sisal antes e após os tratamentos, conforme apresentado na Figura 22. Verificou-se que os espectros de todas as amostras apresentam perfil de materiais lignocelulósicos, apresentando picos referentes à celulose, hemiceluloses e lignina, que são os principais componentes que constituem a fibra de sisal. Alguns exemplos são os picos em torno de $3300\text{--}3900\text{ cm}^{-1}$ referente ao estiramento OH, dos picos em torno de $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ associados às ligações C-H alifáticas, o pico em torno de $1675\text{--}1759\text{ cm}^{-1}$ associado às ligações C=O dos grupos carbonila e acetil das ligninas e hemiceluloses, os picos em torno de $1000\text{--}1250\text{ cm}^{-1}$ que podem ser associadas às ligações C-O, que correspondem a ligações éteres presentes nas estruturas de ligninas e hemiceluloses, e o pico de 1514 cm^{-1} que é indicativo da presença de lignina e pode ser atribuída à vibração C=C dos anéis aromáticos de ligninas.

Figura 22 – FTIR-ATR das fibras de sisal.



Fonte: o autor.

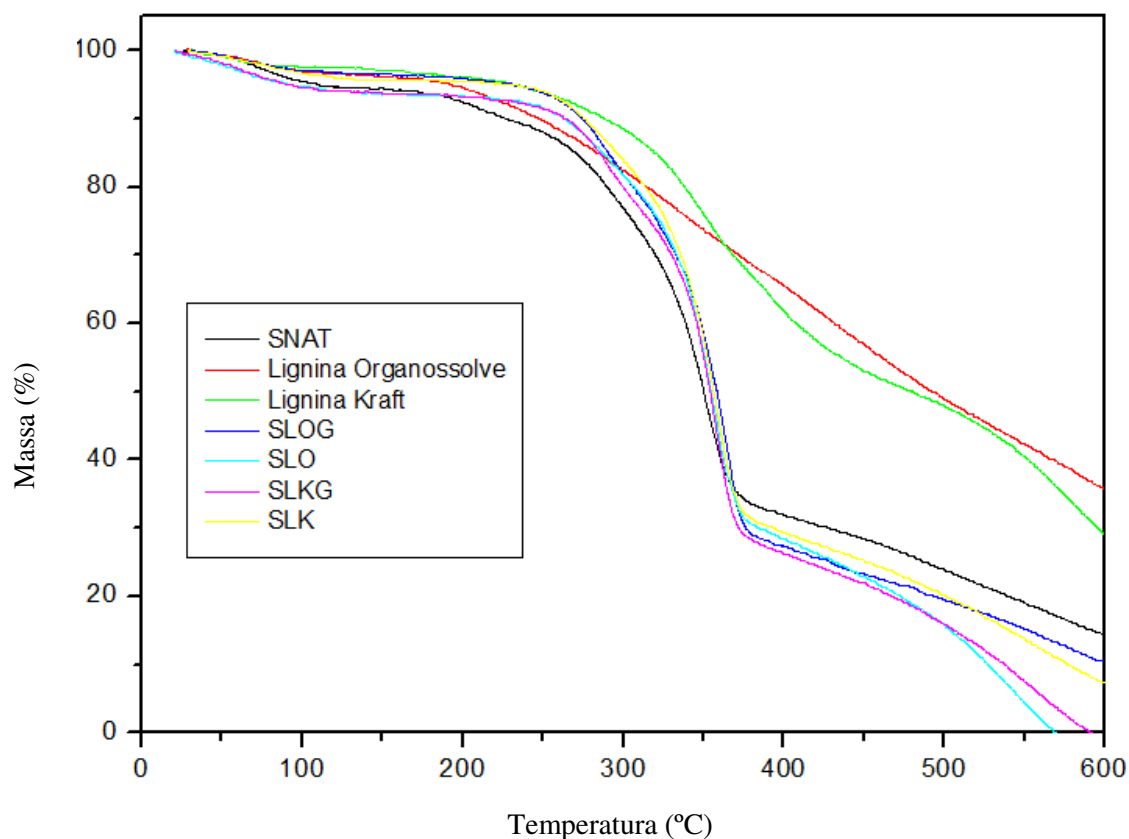
A incorporação das ligninas na superfície das fibras pode ser evidenciado pelo aparecimento mais evidente dos picos em 1514 cm^{-1} que é atribuído à ligação C=C de anéis aromáticos, e também do pico em torno de 1456 cm^{-1} que é referente à deformação assimétrica de C-H alifáticos. Tanto grupos aromáticos e alifáticos estão presentes na

lignina, e a adição das mesmas na superfície das fibras potencializa o aparecimento destes sinais, confirmando a presença destas na superfície das fibras. Este resultado corrobora com os resultados de MEV.

Pode-se verificar que o pico em torno de 1720 cm^{-1} presente na fibra natural só aparecem nas amostras SLO e SLK na forma de um ombro de baixa intensidade. Isto se deve ao fato de que os grupos C=O são mais presentes nas hemiceluloses que nas ligninas, e com a incorporação das ligninas na superfície das fibras este sinal é reduzido. Por outro lado, verifica-se que este pico volta a aparecer nas amostras SLOG e SLKG, cujas amostras foram produzidas com presença de glutaraldeído, e este sinal está relacionado a presença de resíduos de glutaraldeído não reagidos e que ficaram incorporados na superfície das fibras juntamente com as ligninas.

Por fim, foram feitas análises termogravimétricas das fibras com e sem tratamento e das ligninas utilizadas na impregnação, ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – TGA das fibras de sisal com e sem tratamento e ligninas utilizadas na impregnação.



Fonte: o autor.

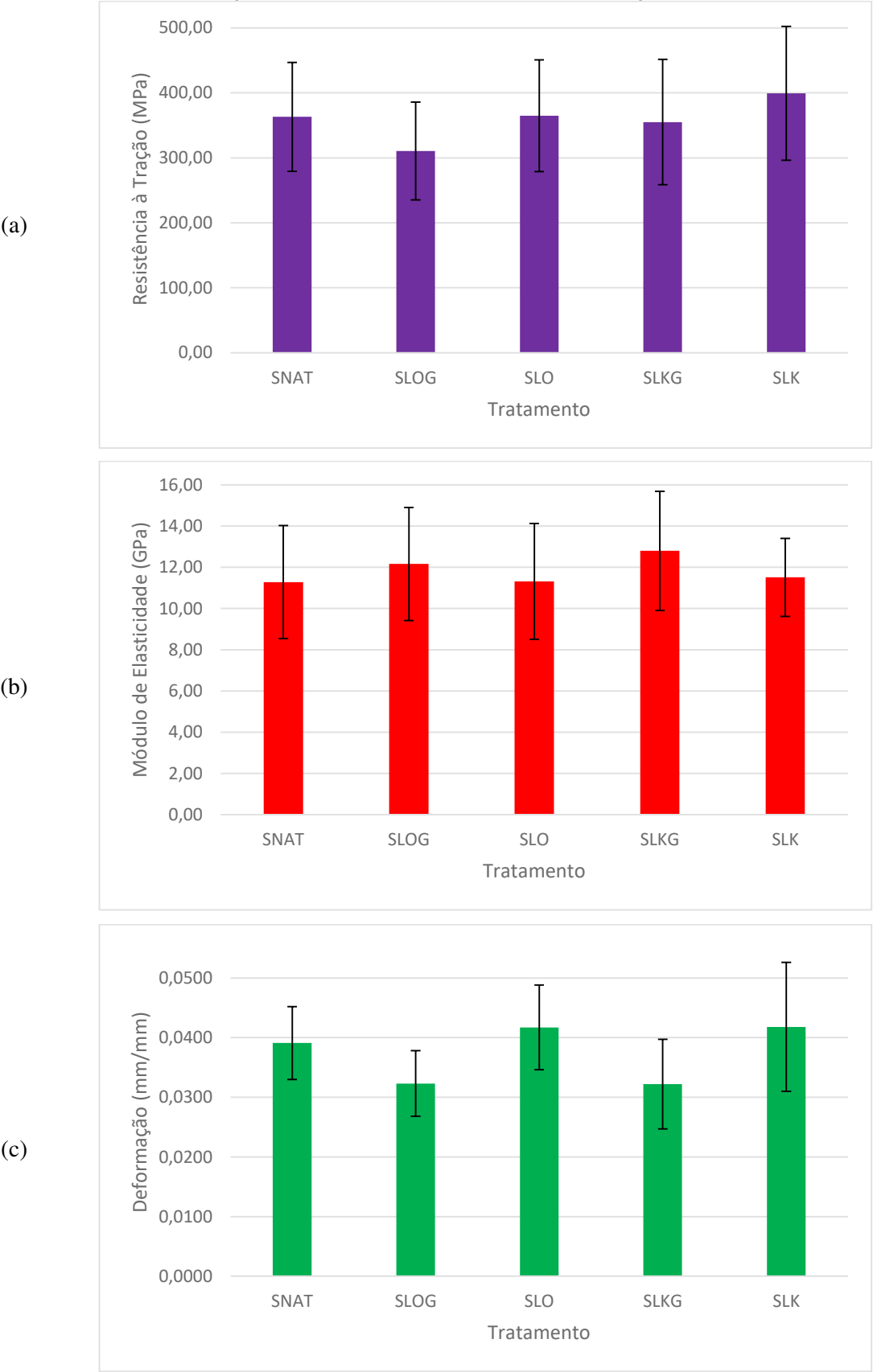
Em relação às curvas TG das ligninas, foi observado que a lignina do tipo kraft tem sua degradação acelerada há uma temperatura aproximada de 230°C, enquanto que a organossolve etanol/água, há uma temperatura de cerca de 180°C. No entanto, a taxa de degradação térmica da lignina organossolve etanol/água é menor que a da kraft, decresce praticamente linearmente.

Observou-se que para até 100°C as amostras apresentaram perda de massa de até 5,3% referente à umidade das fibras. Ao analisar as curvas TG das fibras, foi observado um evento de degradação principal em torno de 180°C a 380°C. Neste evento verifica-se que a temperatura inicial de degradação da SNAT é menor que a das fibras tratadas, que apresentam praticamente o mesmo comportamento. Para a SNAT a temperatura inicial de degradação foi cerca de 180°C, enquanto que para as SLOG, SLO, SLKG e SLK foi em torno de 230°C, ou seja, o tratamento por impregnação retardou a degradação térmica das fibras, que provavelmente é devido à inserção de lignina (que possui maior estabilidade térmica) na superfície das fibras, corroborando com os resultados do MEV e FTIR-ATR, que mostram presença de lignina.

4.1.2 Ensaio mecânico de tração direta

Com o ensaio de tração direta foi possível analisar as propriedades de deformação, resistência à tração e módulo de elasticidade das fibras com e sem tratamento. A Figura 24 e a Tabela 6 apresentam o resumo dos resultados obtidos.

Figura 24 – Gráficos das propriedades obtidas pelo ensaio de tração das fibras, sendo: a) resistência à tração; b) módulo de elasticidade; c) deformação.



Fonte: o autor.

Observou-se que as SLOG apresentaram redução na resistência à tração de 14,49% e na deformação 17,39%, se comparadas com as SNAT. O mesmo aconteceu com as SLKG, que tiveram a resistência à tração reduzida em 2,34% e redução de 17,67% na deformação, se comparado com as SNAT. Uma causa provável pode ter sido uma possível degradação das fibras durante o tratamento na presença de glutaraldeído, que resulta em reação de reticulação com os componentes das fibras. No entanto, as SLOG e SLKG foram as que apresentaram maior ganho no módulo de elasticidade, se comparado com as SNAT, sendo o acréscimo de 7,80% e 13,48%, respectivamente. As SLO e SLK apresentaram respectivamente, ganho na resistência à tração de 0,46% e 9,96%, ganho de deformação de 0,35% e 2,04% e ganho no módulo de elasticidade de 6,65% e 6,91%, se comparadas com as SNAT.

Mesmo com os resultados apresentados, percebe-se que não houve variação significativa nos valores das fibras tratadas em relação às fibras sem tratamento. No entanto, vale ressaltar o aspecto positivo, no sentido do tratamento não ter sido prejudicial às propriedades mecânicas das fibras, algo que é comum nos tratamentos químicos em fibras vegetais.

Tabela 6 – Resumo das propriedades obtidas pelo ensaio de tração direta: valores médios e desvio padrão entre parênteses.

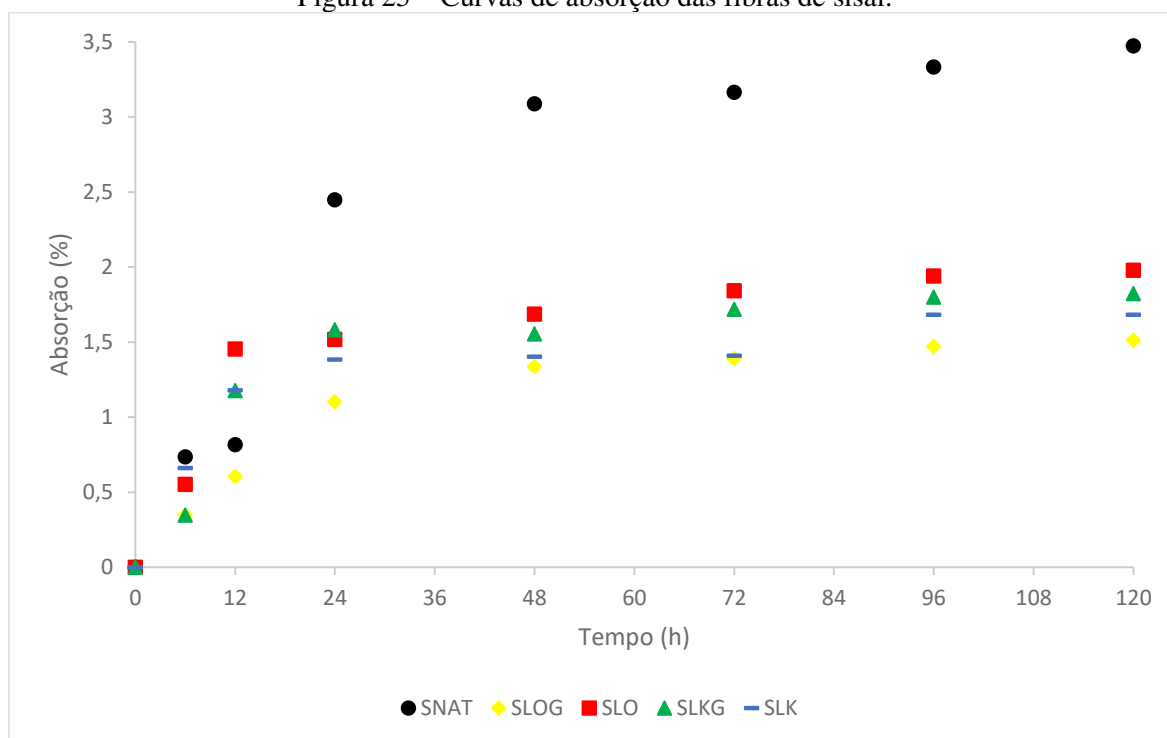
PROPRIEDADES	SNAT	SLOG	SLO	SLKG	SLK
Resistência à tração (MPa)	363,23 (±83,79)	310,58 (±75,2)	364,91 (±85,86)	355,09 (±96,37)	399,40 (±103,05)
Módulo de elasticidade (GPa)	11,28 (±2,74)	12,16 (±2,74)	11,32 (±2,81)	12,80 (±2,89)	11,51 (±1,89)
Deformação (mm/mm)	0,0391 (±0,0061)	0,0323 (±0,0055)	0,0417 (±0,0071)	0,0322 (±0,0075)	0,0418 (±0,0108)

Fonte: o autor.

4.1.3 Ensaio físico de absorção de água

A Figura 25 apresenta os dados obtidos no ensaio de absorção. Todas as fibras tratadas apresentaram redução na absorção final, se comparadas com as SNAT, indicando que o caráter hidrofílico das fibras foi potencializado para caráter hidrofóbico.

Figura 25 – Curvas de absorção das fibras de sisal.



Fonte: o autor.

Uma menor absorção nas fibras poderá reduzir a migração dos produtos da hidratação para o interior das fibras, diminuir a variação dimensional e melhorar a interação matriz e fibras (SOUZA et al, 2017). A Tabela 7 apresenta os resultados de absorção de cada fibra, bem como o percentual de redução que cada tratamento proporcionou, se comparado com as SNAT. Foi observada variação estatística dos valores nas amostras das SNAT se comparadas com todas as fibras tratadas, ou seja, o tratamento por impregnação nas fibras foi significativo, independentemente do tipo de lignina utilizada e da presença ou não de glutaraldeído.

Tabela 7 – Absorção das fibras e comparativo de redução da absorção.

PARÂMETROS	SNAT	SLOG	SLO	SLKG	SLK
Absorção das fibras	3,47%	1,51%	1,98%	1,82%	1,68%
Redução da absorção	-	56,42%	43,00%	47,49%	51,54%

Fonte: o autor.

Se for analisado apenas o tratamento por impregnação nas fibras, conclui-se que as melhores opções são as SLO e SLK, pelo fato de não envolver glutaraldeído no processo.

4.2 Matriz cimentícia reforçada com fibras

4.2.1 Ensaios mecânicos de flexão

Foram feitos ensaios de flexão, a fim de analisar se o tratamento feito nas fibras surtiu efeito favorável nos compósitos. Os corpos-de-prova não foram todos ensaiados na mesma data, mas foram retirados da câmara úmida 24 horas antes do ensaio e armazenados na sala de ensaios. Na Tabela 8 estão apresentados as condições de ensaio que cada compósito foi realizado.

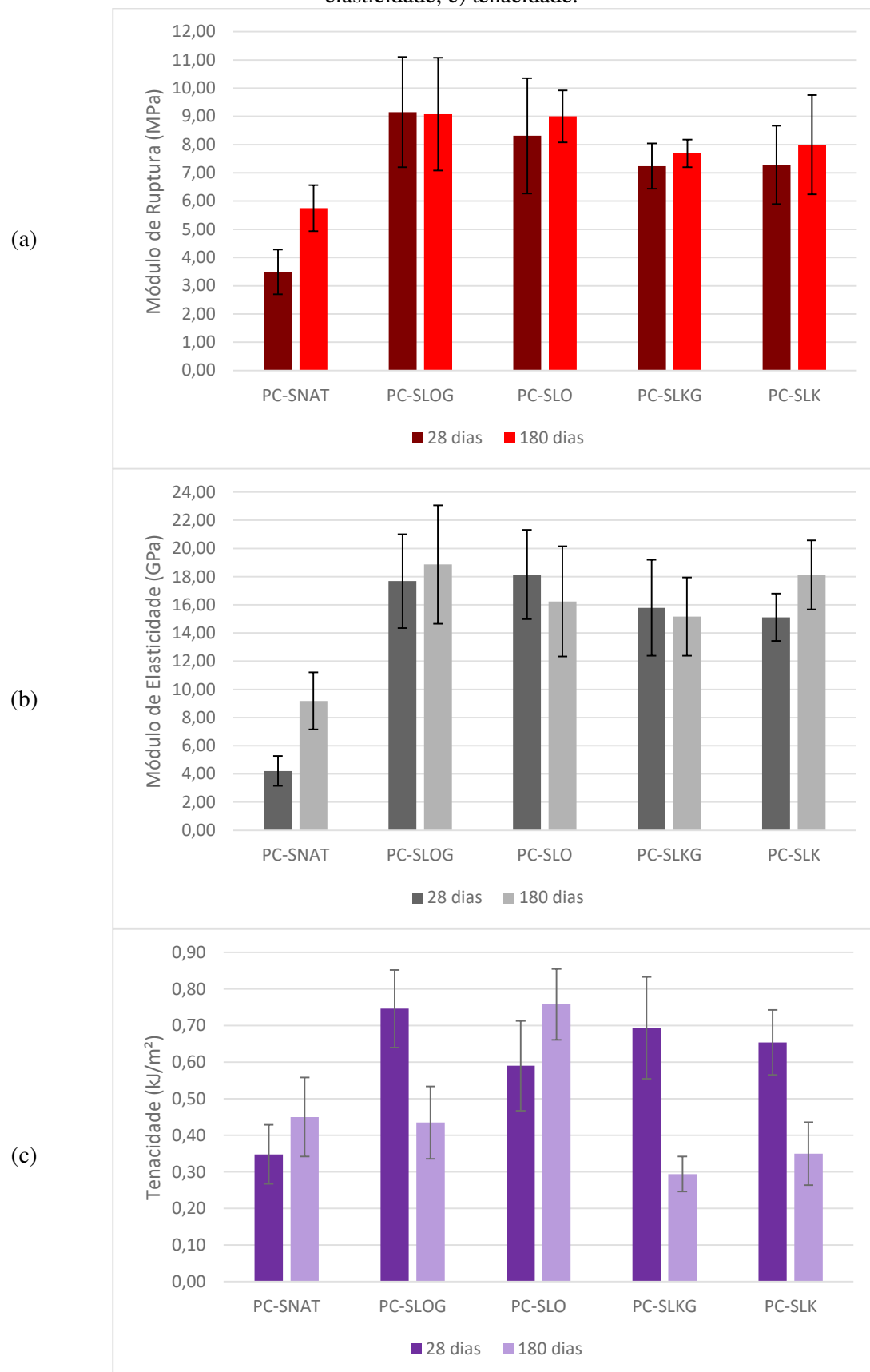
Tabela 8 – Condições de ensaios para os compósitos.

PARÂMETROS	28 DIAS				
	PC-SNAT	PC-SLOG	PC-SLO	PC-SLKG	PC-SLK
Umidade da amostra	10,55%	11,74%	15,52%	12,09%	16,30%
Umidade relativa do ar	58%	58%	58%	60%	53%
Temperatura ambiente	26,3°C	26,3°C	26,3°C	25,4°C	29,6°C
PARÂMETROS	180 DIAS				
	PC-SNAT	PC-SLOG	PC-SLO	PC-SLKG	PC-SLK
Umidade da amostra	2,65%	5,55%	5,31%	8,00%	4,00%
Umidade relativa do ar	32%	32%	32%	43%	27%
Temperatura ambiente	27,4°C	27,4°C	27,4°C	24,5°C	26,5°C

Fonte: o autor.

A Figura 26 e a Tabela 9 apresentam o resumo das propriedades obtidas nos ensaios de flexão para os compósitos reforçados com fibras vegetais com e sem tratamento.

Figura 26 – Propriedades mecânicas dos compósitos, sendo: a) módulo de ruptura; b) módulo de elasticidade; c) tenacidade.



Fonte: o autor.

Tabela 9 – Propriedades mecânicas dos compósitos ensaiados: valores médios e desvio padrão entre parênteses.

COMPÓSITOS	Módulo de Ruptura (MPa)		Módulo de Elasticidade (GPa)		Tenacidade (kJ/m ²)	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SNAT	3,49 (±0,7943)	5,75 (±0,8131)	4,21 (±1,0560)	9,18 (±2,0258)	0,35 (±0,0810)	0,45 (±0,1080)
PC-SLOG	9,15 (±1,9525)	9,08 (±1,9970)	17,68 (±3,3317)	20,64 (±2,7552)	0,75 (±0,1060)	0,44 (±0,0990)
PC-SLO	8,31 (±2,0389)	9,00 (±0,9167)	18,15 (±3,1709)	16,64 (±4,3989)	0,59 (±0,1230)	0,76 (±0,0970)
PC-SLKG	7,24 (±0,7989)	7,69 (±0,4879)	15,79 (±3,4069)	15,16 (±2,7742)	0,69 (±0,1390)	0,29 (±0,0480)
PC-SLK	7,28 (±1,3890)	8,00 (±1,7584)	15,11 (±1,6806)	18,13 (±2,4481)	0,65 (±0,0890)	0,35 (±0,0860)

Fonte: o autor.

Analisando o módulo de ruptura aos 28 dias, observou-se estatisticamente diferenças significativas entre os valores das PC-SNAT se comparados com todos os valores dos outros tratamentos, e analisando os tratamentos empregados não foram analisadas estatisticamente diferenças significativas entre si. Aos 180 dias, também foram observadas estatisticamente diferenças significativas entre os valores das PC-SNAT se comparadas com os demais tratamentos, e analisando os tratamentos utilizados, observou-se diferenças significativas entre as PC-SLOG e PC-SLKG e entre as PC-SLO e PC-SLKG.

Com os dados do módulo de elasticidade aos 28 dias, observou-se estatisticamente diferenças significativas entre os valores das PC-SNAT se comparados com todos os valores dos outros tratamentos. Aos 180 dias, também foram observadas estatisticamente diferenças significativas entre os valores das PC-SNAT se comparadas com os demais tratamentos, e analisando os tratamentos utilizados, observou-se diferenças significativas entre as PC-SLOG e PC-SLO, entre as PC-SLOG e PC-SLKG, entre as PC-SLOG e PC-SLK e entre as PC-SLKG e PC-SLK.

Ao fazer a análise da tenacidade aos 28 dias, observou-se estatisticamente diferenças significativas entre os valores das PC-SNAT se comparados com todos os valores dos outros tratamentos, e analisando os tratamentos utilizados, observou-se diferenças significativas entre as PC-SLOG e PC-SLO. Aos 180 dias, não foram analisadas estatisticamente

diferenças significativas apenas entre as PC-SNAT e PC-SLOG e entre as PC-SLKG e PC-SLK.

Uma causa provável para o aumento considerável nas propriedades mecânicas das PC-SNAT dos 28 para os 180 dias é o fenômeno de carbonatação. Caldas & Silva (2002) afirma que em compósitos reforçados com fibras vegetais, a carbonatação da matriz é potencializada devido à sua alta porosidade, que facilita a penetração do CO_2 permitindo, dependendo do cimento, formação de carbonato de cálcio no interior do material. Seu efeito, em compósitos a base de cimento Portland, pode ser descrito como benéfico ao material. O consumo de álcalis, presentes nos poros do material, conduz a uma diminuição da alcalinidade do meio, fornecendo, por consequência, um ambiente menos agressivo a fibra. Ainda segundo Caldas & Silva (2002), a carbonatação pode conduzir a uma maior densificação do material, aumentando a massa específica, que está associado a maiores valores de resistência mecânica e do módulo de elasticidade.

Observou-se uma diferença entre os desempenhos das amostras analisando a tenacidade das mesmas. Alguns corpos de prova apresentaram comportamento pós-pico, as fibras foram capazes de resistir à tensão de ruptura transferida pela matriz e a manteve até a finalização do ensaio, garantindo a alta tenacidade. Enquanto outras amostras tiveram comportamento frágil, com queda acentuada da tensão após ruptura da matriz e redução da resistência pós-pico (PIRES, 2017).

Com os resultados das propriedades mecânicas e as ponderações feitas acima conclui-se que o melhor tratamento é o com fibras imersas nas PC-SLO, pois o enrijecimento da matriz, mostrado pelo aumento do módulo de elasticidade, poderia causar uma queda na tenacidade pela melhor aderência das fibras à matriz e pela eventual degradação das fibras com o envelhecimento, no entanto, o compósito ainda apresentou aumento da tenacidade, mostrando claramente o bom desempenho das fibras no compósito mesmo após 180 dias de envelhecimento natural.. A Tabela 10 apresenta o resumo das análises estatísticas entre os tratamentos, a Tabela 11 o resumo da análise estatística apenas de cada tratamento. Os resultados das análises estatísticas encontram-se anexos no apêndice.

Tabela 10 – Análise estatística entre os tratamentos, sendo: a) Módulo de Ruptura; b) Módulo de Elasticidade; c) Tenacidade.

a	PC-SNAT		PC-SLOG		PC-SLO		PC-SLKG	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SLOG	≠	≠	-	-	-	-	-	-
PC-SLO	≠	≠	=	=	-	-	-	-
PC-SLKG	≠	≠	=	≠	=	≠	-	-
PC-SLK	≠	≠	=	=	=	=	=	=

b	PC-SNAT		PC-SLOG		PC-SLO		PC-SLKG	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SLOG	≠	≠	-	-	-	-	-	-
PC-SLO	≠	≠	=	≠	-	-	-	-
PC-SLKG	≠	≠	=	≠	=	=	-	-
PC-SLK	≠	≠	=	≠	=	=	=	≠

c	PC-SNAT		PC-SLOG		PC-SLO		PC-SLKG	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SLOG	≠	=	-	-	-	-	-	-
PC-SLO	≠	≠	≠	≠	-	-	-	-
PC-SLKG	≠	≠	=	≠	=	≠	-	-
PC-SLK	≠	≠	=	≠	=	≠	=	=

Fonte: o autor.

Tabela 11 - Análise estatística das propriedades mecânicas de cada tratamento.

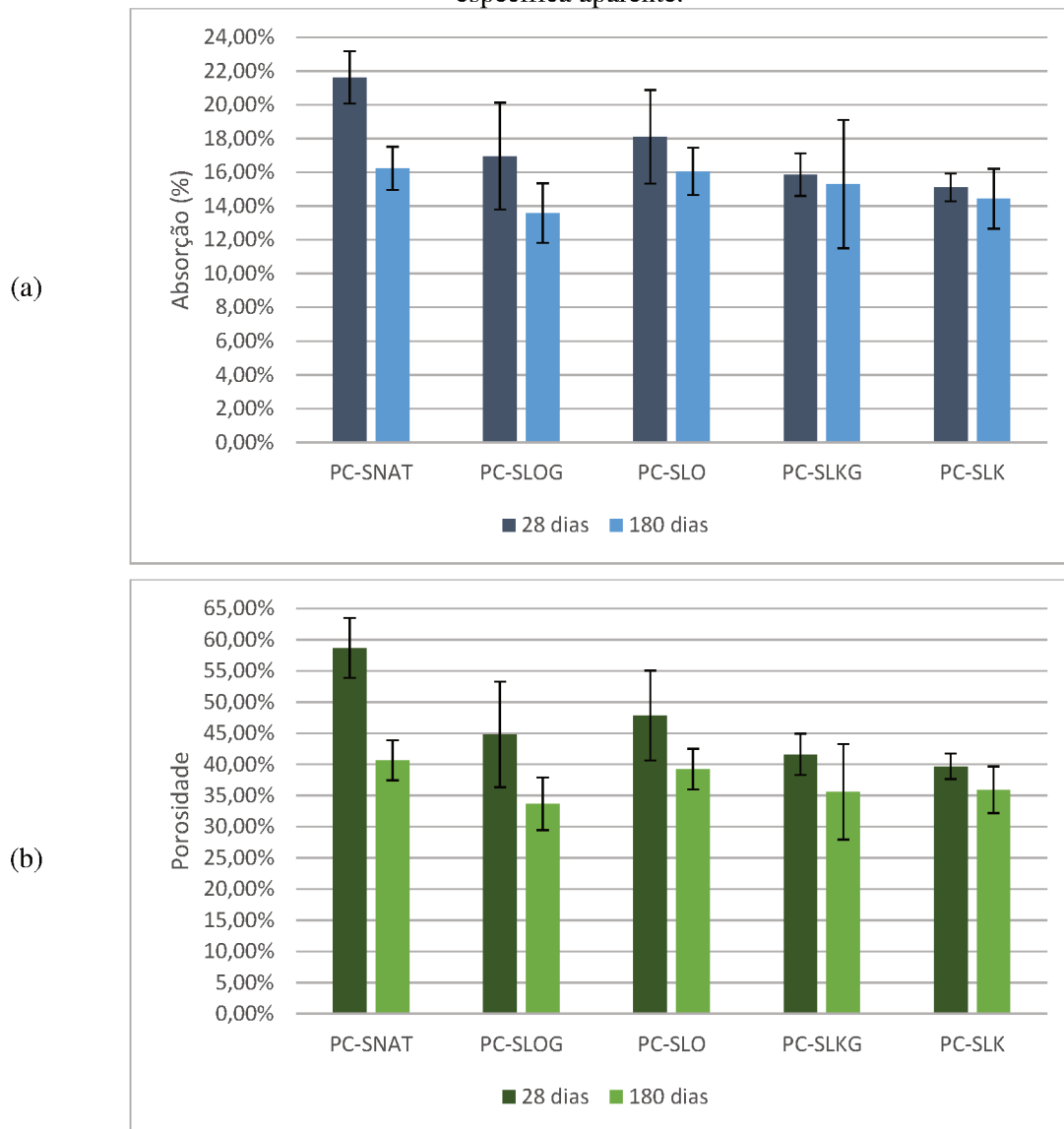
COMPÓSITOS	Módulo de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Tenacidade (kJ/m ²)
	28 para 180 dias	28 para 180 dias	28 para 180 dias
PC-SNAT	Diferente entre si	Diferente entre si	Diferente entre si
PC-SLOG	Igual entre si	Igual entre si	Diferente entre si
PC-SLO	Igual entre si	Igual entre si	Diferente entre si
PC-SLKG	Igual entre si	Igual entre si	Diferente entre si
PC-SLK	Igual entre si	Diferente entre si	Diferente entre si

Fonte: o autor.

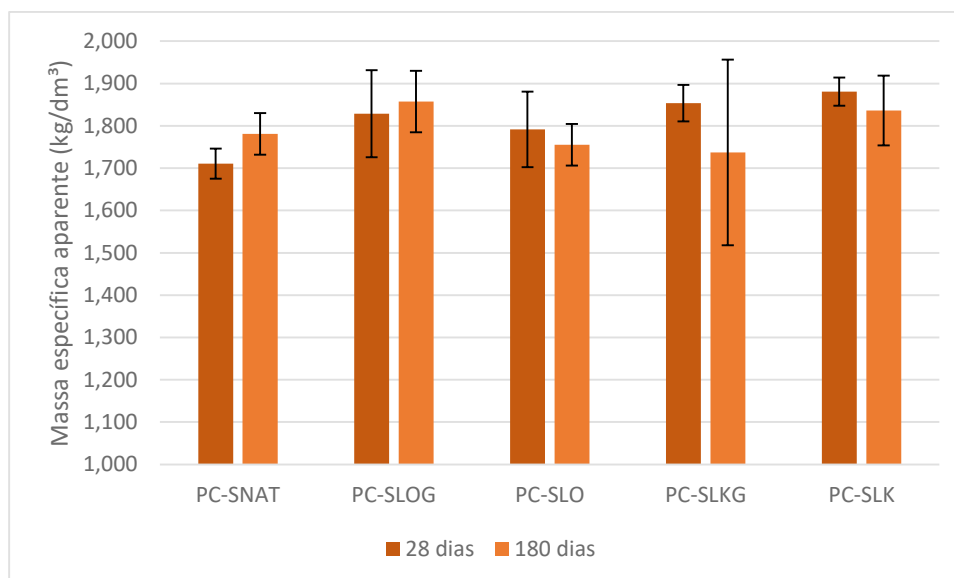
4.2.2 Ensaio para obtenção das propriedades físicas

Além de dados de absorção e porosidade, obteve-se resultados de massa específica aparente para os compósitos ensaiados, tanto para 28 quanto para 180 dias. A Figura 27 e a Tabela 12 apresentam os valores médios e desvio padrão dos resultados das propriedades físicas dos compósitos.

Figura 27 – Propriedades físicas dos compósitos, sendo: a) absorção; b) porosidade; c) massa específica aparente.



(c)



Fonte: o autor.

Com relação aos índices de absorção, as PC-SNAT apresentaram a maior porcentagem aos 28 dias se comparadas com as demais placas, o que pode estar relacionado com a porosidade das fibras sem tratamento utilizadas como reforço, justificando as baixas propriedades mecânicas obtidas nessa idade. Aos 180 dias houve redução da absorção em todas amostras se comparadas com as dos 28 dias.

Analisando estatisticamente a absorção aos 28 dias, observou-se diferenças significativas entre as PC-SNAT e as PC-SLKG e entre as PC-SNAT e as PC-SLK. Aos 180 dias, as amostras não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

De maneira análoga, observou-se que a porosidade das PC-SNAT foi maior do que as placas que foram reforçadas com fibras tratadas aos 28 dias. Aos 180 dias houve também redução da porosidade para todas as amostras, se comprada aos 28 dias.

Com a análise estatística da porosidade aos 28 dias, observou-se diferenças significativas entre as PC-SNAT e as PC-SLOG, entre as PC-SNAT e as PC-SLKG e entre as PC-SNAT e as PC-SLK. Aos 180 dias, as amostras não apresentaram diferenças significativas entre si.

Analisando a massa específicas aparente das placas cimentícias aos 28 dias, observou-se diferenças significativas entre as PC-SNAT e as PC-SLKG e entre as PC-SNAT e PC-SLK. Aos 180 dias, as amostras não apresentaram diferenças significativas entre si.

Tabela 12:– Propriedades físicas dos compósitos ensaiados: valores médios e desvio padrão entre parênteses.

COMPÓSITOS	Absorção (%)		Porosidade (%)		Massa específica aparente (kg/dm ³)	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SNAT	21,62% (±1,55%)	16,24% (±1,28%)	58,70% (±4,81%)	40,67% (±3,2%)	1,711 (±0,0353)	1,781 (±0,0494)
PC-SLOG	16,96% (±3,17%)	13,58% (±1,76%)	44,81% (±8,46%)	33,68% (±4,21%)	1,829 (±0,1027)	1,857 (±0,0725)
PC-SLO	18,10% (±2,78%)	16,06% (±1,4%)	47,84% (±7,19%)	39,22% (±3,26%)	1,792 (±0,0896)	1,755 (±0,0492)
PC-SLKG	15,86% (±1,26%)	15,31% (±3,8%)	41,61% (±3,31%)	35,59% (±7,65%)	1,853 (±0,0432)	1,737 (±0,2193)
PC-SLK	15,11% (±0,82%)	14,43% (±1,77%)	39,69% (±2,03%)	35,93% (±3,74%)	1,881 (±0,0334)	1,836 (±0,0827)

Fonte: o autor.

Sabe-se que os índices de absorção, porosidade e massa específica aparente estão relacionados diretamente entre si. Quanto menor a absorção, menor a porosidade e maior a massa específica aparente de um corpo e vice-versa. Analisando os resultados das propriedades físicas, conclui-se que as PC-SLKG e PC-SLK foram as que apresentaram os melhores resultados. A Tabela 13 apresenta o resumo das análises estatísticas entre os tratamentos, a Tabela 14 o resumo da análise estatística apenas de cada tratamento. Os resultados das análises estatísticas encontram-se anexos no apêndice.

Tabela 13 – Análise estatística entre os tratamentos, sendo: a) Absorção; b) Porosidade; c) Massa específica aparente.

a	PC-SNAT		PC-SLOG		PC-SLO		PC-SLKG	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SLOG	=	=	-	-	-	-	-	-
PC-SLO	=	=	=	=	-	-	-	-
PC-SLKG	≠	=	=	=	=	=	-	-
PC-SLK	≠	=	=	=	=	=	=	=

b	PC-SNAT		PC-SLOG		PC-SLO		PC-SLKG	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SLOG	≠	=	-	-	-	-	-	-
PC-SLO	=	=	=	=	-	-	-	-
PC-SLKG	≠	=	=	=	=	=	-	-
PC-SLK	≠	=	=	=	=	=	=	=

c	PC-SNAT		PC-SLOG		PC-SLO		PC-SLKG	
	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias	28 dias	180 dias
PC-SLOG	=	=	-	-	-	-	-	-
PC-SLO	=	=	=	=	-	-	-	-
PC-SLKG	≠	=	=	=	=	=	-	-
PC-SLK	≠	=	=	=	=	=	=	=

Fonte: o autor.

Tabela 14 - Análise estatística das propriedades físicas de cada tratamento.

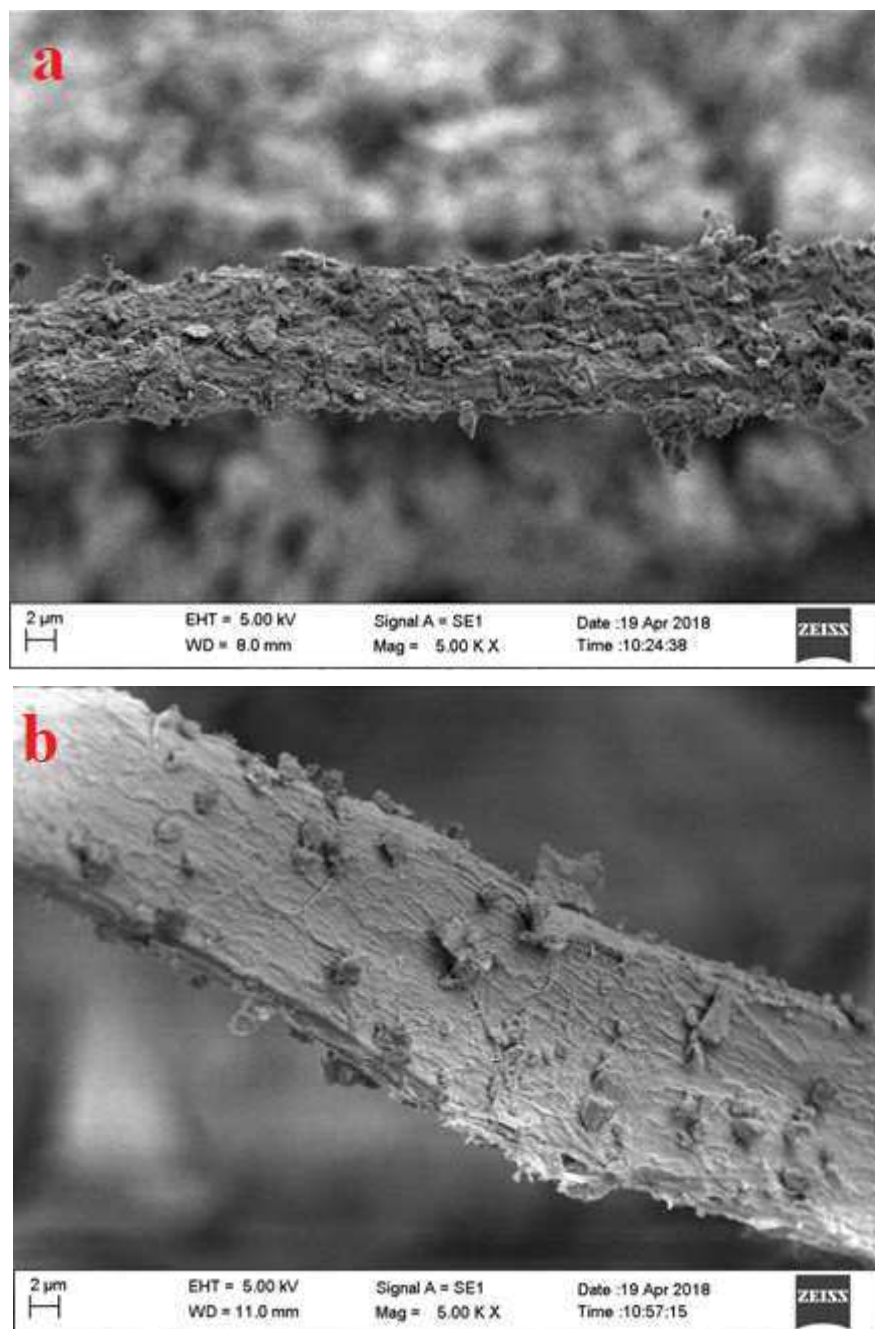
COMPÓSITOS	Absorção (%)	Porosidade (%)	Massa específica aparente (kg/dm ³)
	28 para 180 dias	28 para 180 dias	28 para 180 dias
PC-SNAT	Diferente entre si	Diferente entre si	Igual entre si
PC-SLOG	Igual entre si	Igual entre si	Igual entre si
PC-SLO	Igual entre si	Igual entre si	Igual entre si
PC-SLKG	Igual entre si	Igual entre si	Igual entre si
PC-SLK	Igual entre si	Igual entre si	Igual entre si

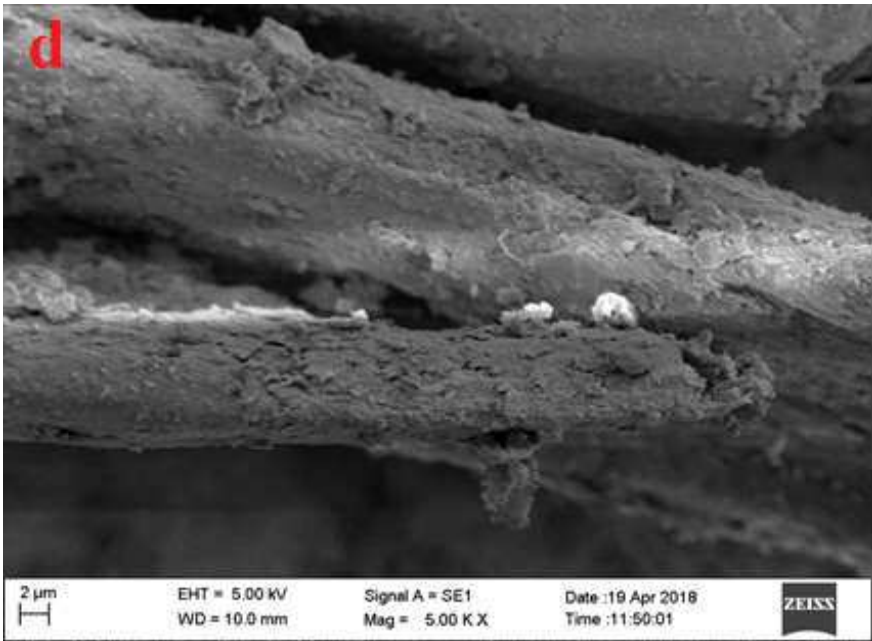
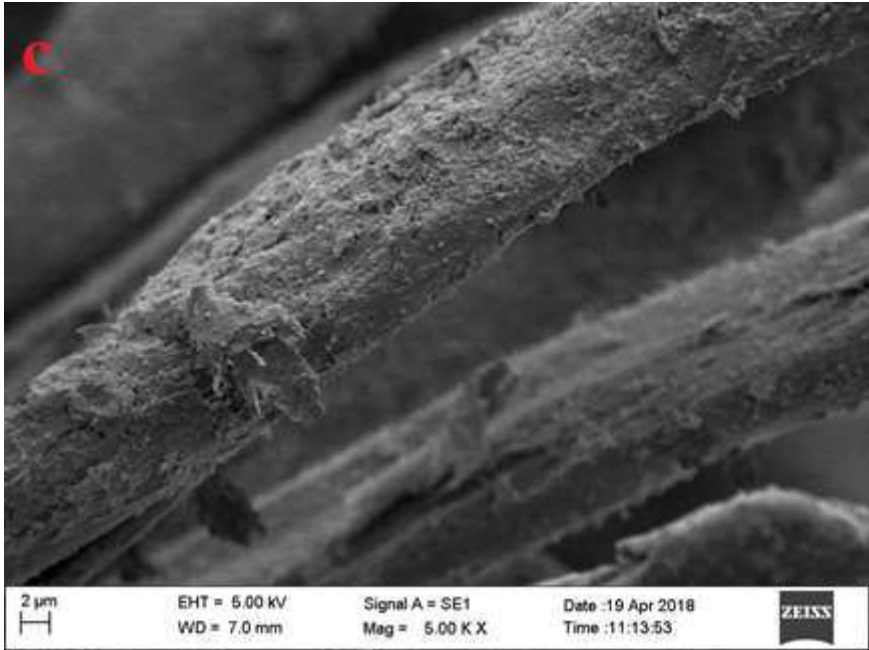
Fonte: o autor.

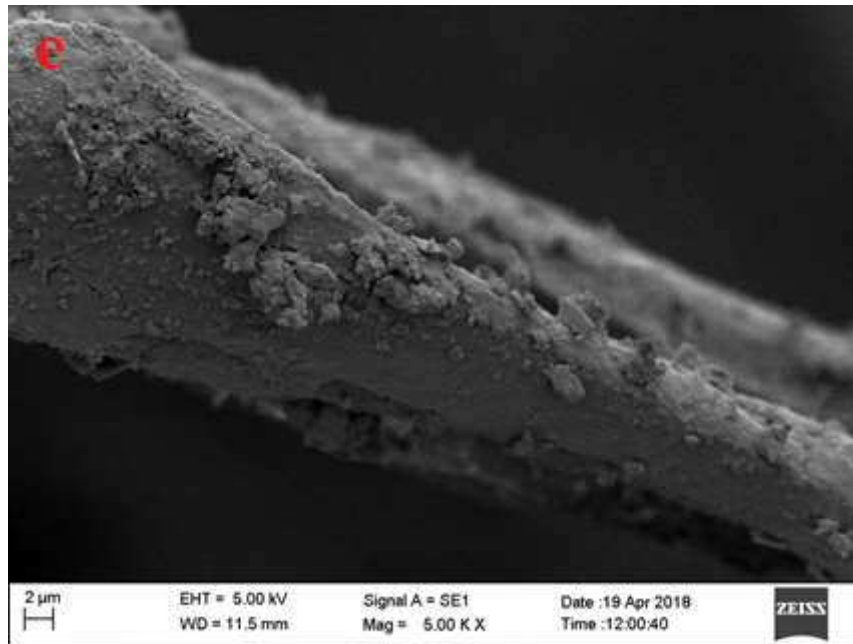
4.2.3 Análise microestrutural por MEV

Aos 28 dias foram capturadas imagens por MEV apenas da superfície das fibras utilizadas nas placas, conforme ilustrado na Figura 28. Percebe-se que ocorreu uma deposição maior de produtos de hidratação do cimento nas fibras das PC-SNAT, o que pode ser atribuído à maior absorção e porosidade das fibras sem tratamento. Além disso, foi possível observar que não houve degradação das fibras com tratamento, permanecendo praticamente intactas após período de cura de 28 dias.

Figura 28 - MEV das fibras dos compósitos aos 28 dias, sendo: a) PC-SNAT; b) PC-SLOG; c) PC-SLO; d) PC-SLKG; e) PC-SLK.



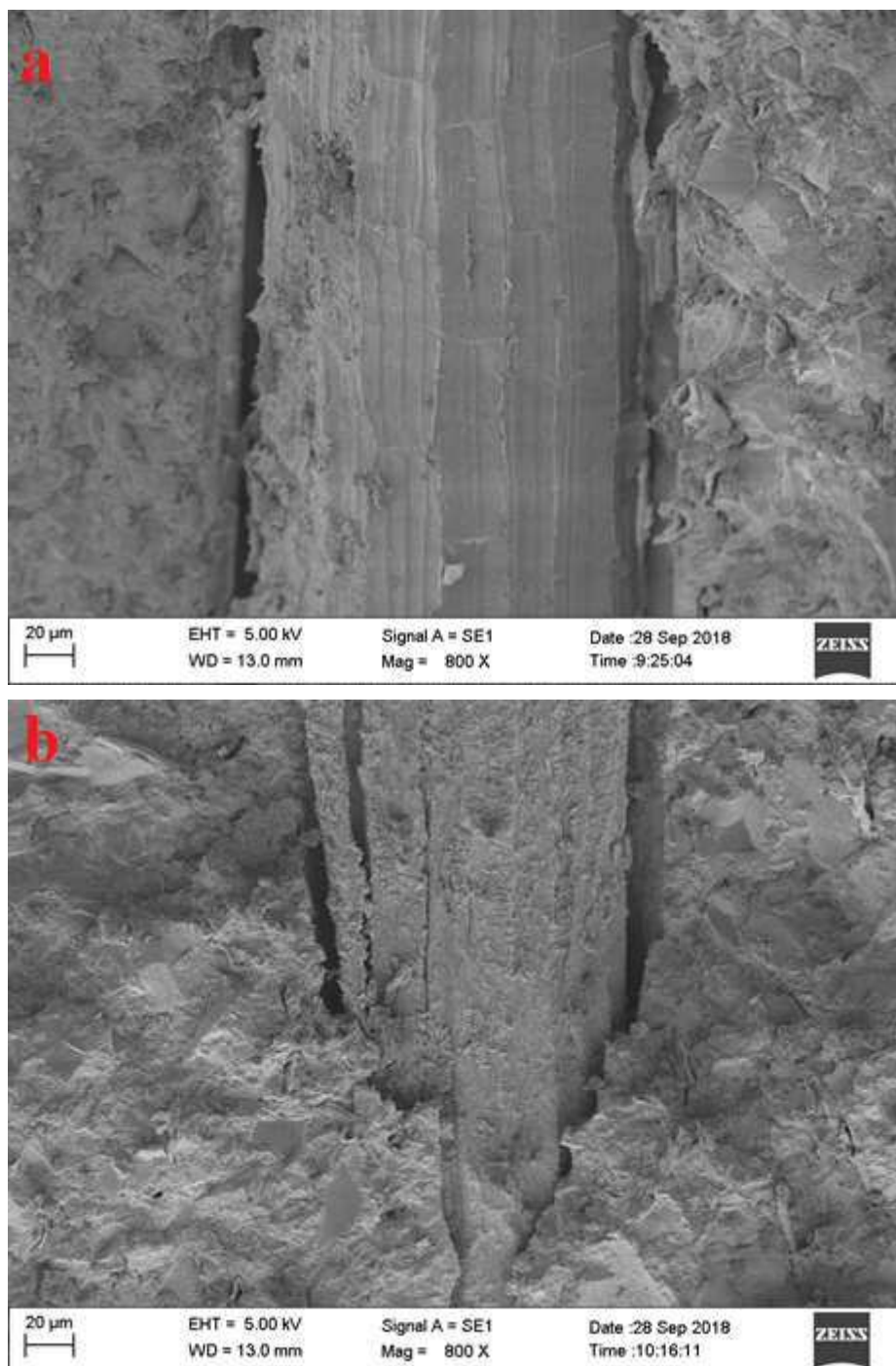


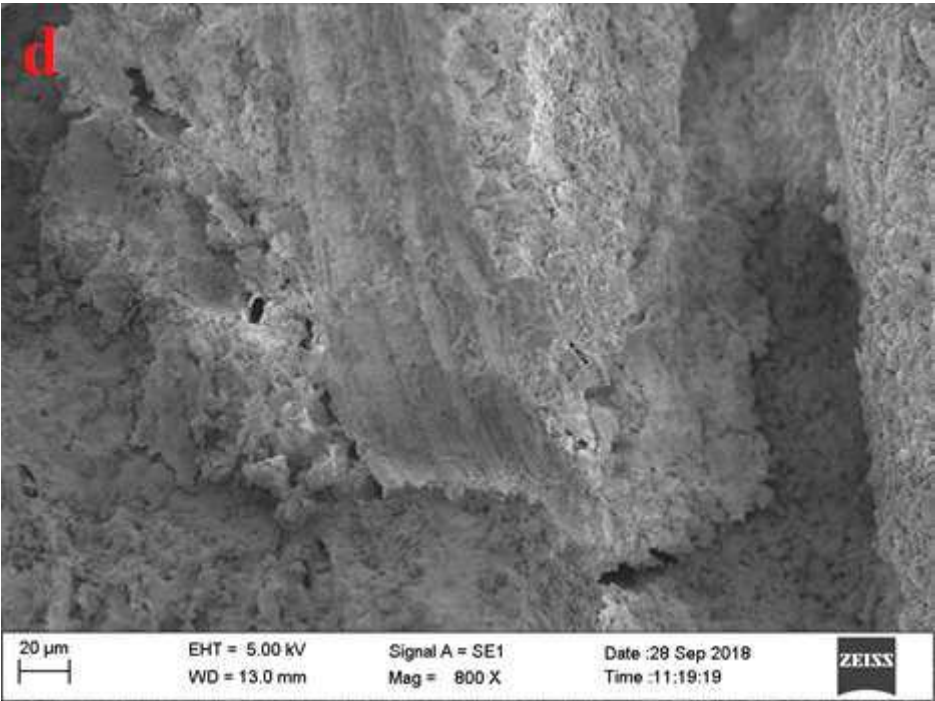
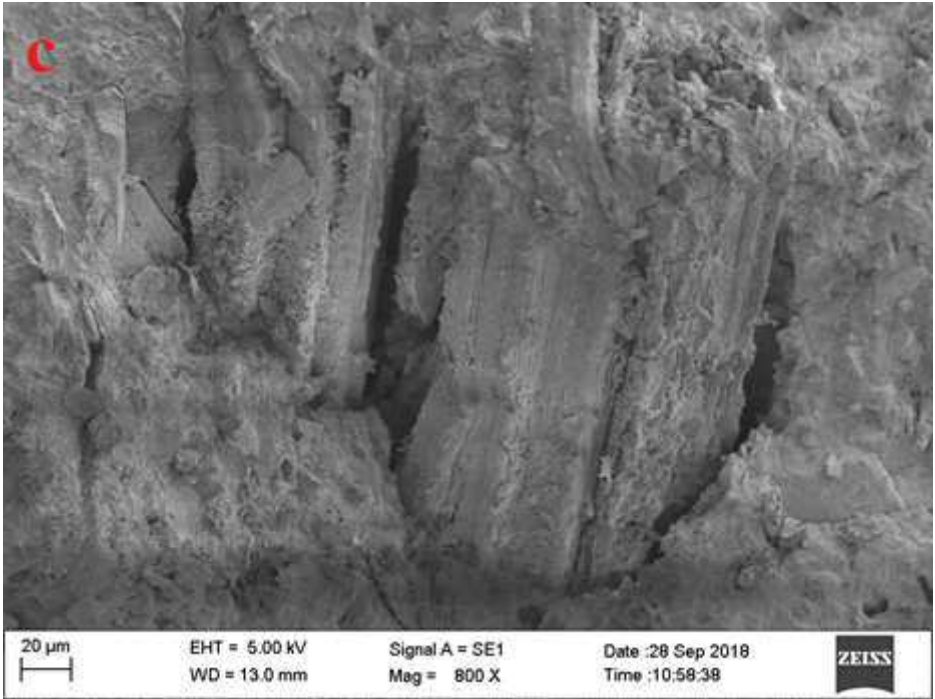


Fonte: o autor.

Aos 180 dias foram capturadas imagens por MEV das placas cimentícias. Notou-se certo deslocamento entre a matriz e a fibra na zona de transição, conforme ilustrado na Figura 29. Tais deslocamentos formam vazios na interface, provavelmente causados pelas variações dimensionais das fibras (AGOPYAN, 1991; SAVASTANO JUNIOR, 2000; CALDAS & SILVA, 2002). Os espaços na zona de transição servem como depósitos de produtos e umidade e podem favorecer a degradação precoce da fibra (DOS SANTOS MARQUES, 2015).

Figura 29 - MEV das fibras dos compósitos aos 180 dias, sendo: a) PC-SNAT; b) PC-SLOG; c) PC-SLO; d) PC-SLKG; e) PC-SLK.



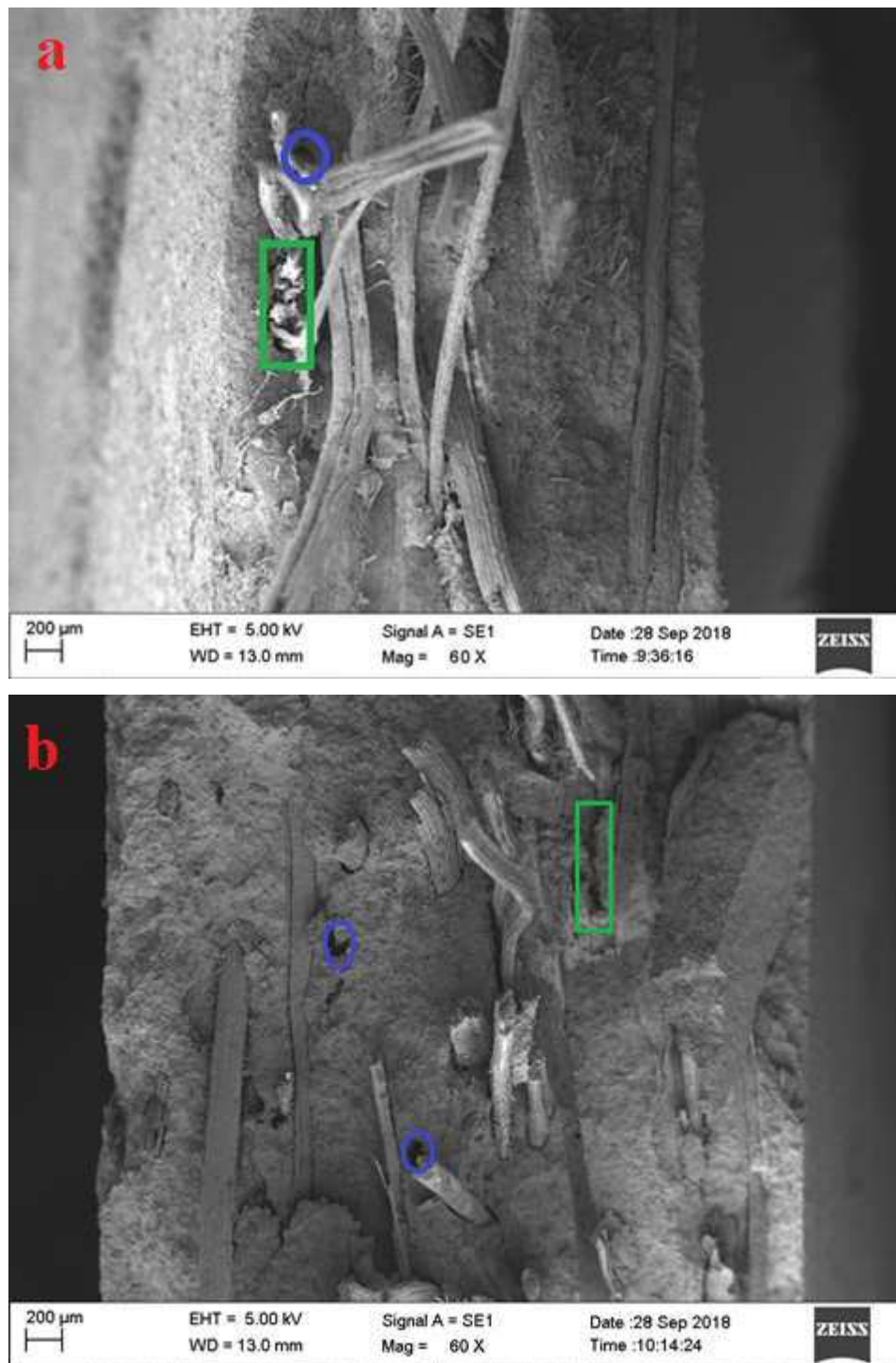


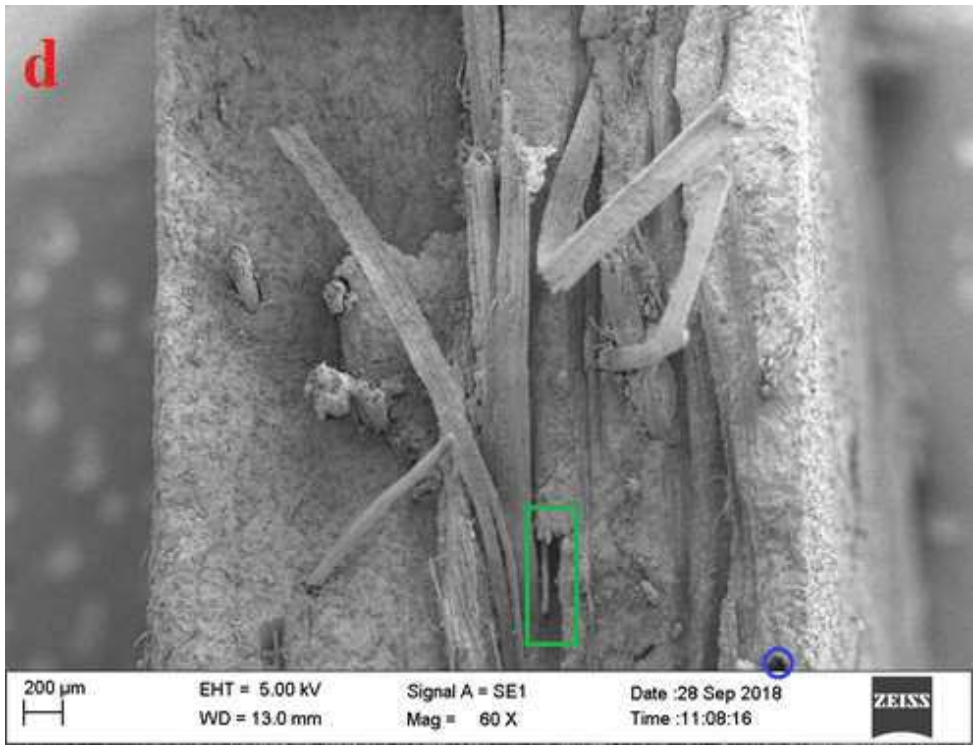


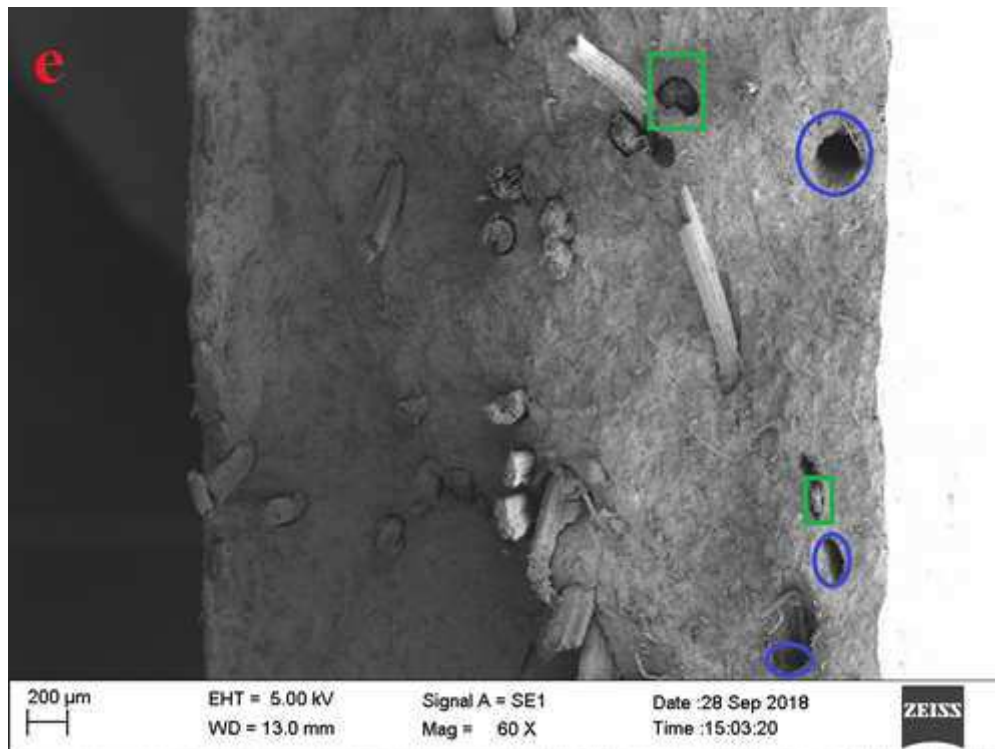
Fonte: o autor.

Pela Figura 30, observou-se também a presença de regiões em que as fibras foram arrancadas (indicadas pelos círculos azuis), bem como fibras rompidas. Enquanto o arrancamento das fibras contribui para o aumento da tenacidade, a melhor aderência entre fibra e matriz causa ruptura da fibra e consequentemente aumento da resistência do compósito (SAVASTANO JUNIOR, 2000; CALDAS & SILVA, 2002). As regiões indicadas por retângulos verdes mostram ruptura das fibras próximas à superfície dos compósitos.

Figura 30 - MEV das fibras dos compósitos aos 180 dias, sendo: a) PC-SNAT; b) PC-SLOG; c) PC-SLO; d) PC-SLKG; e) PC-SLK.



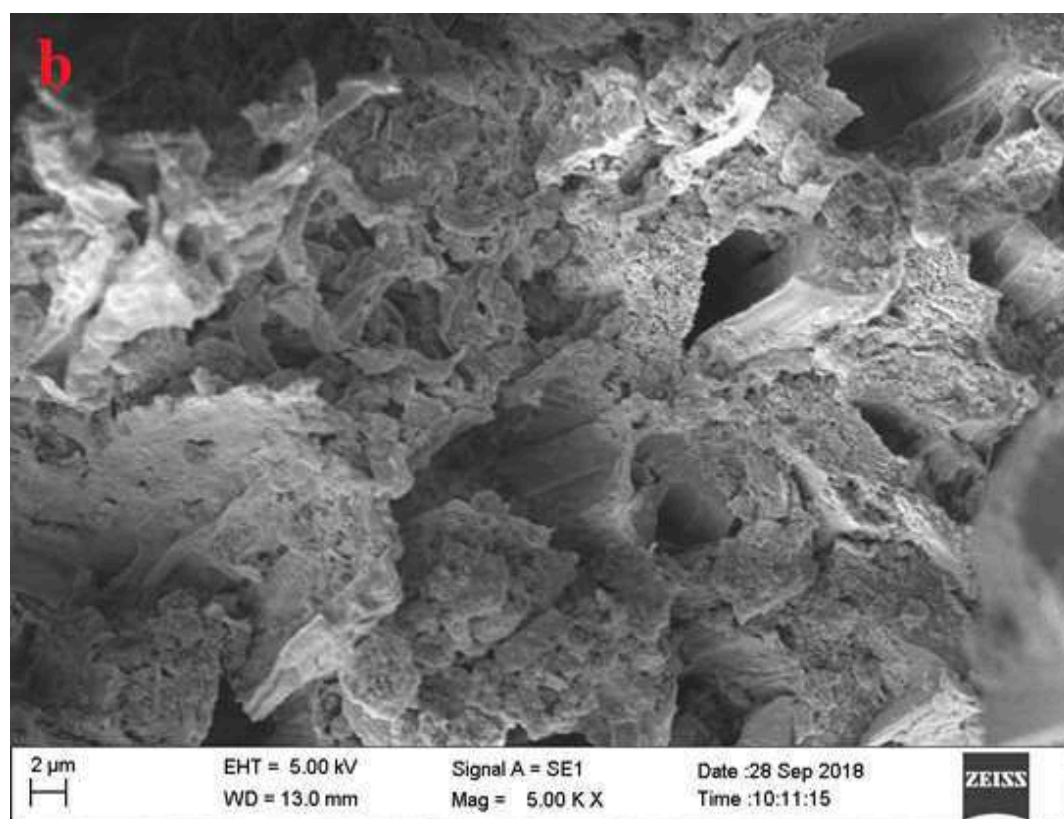
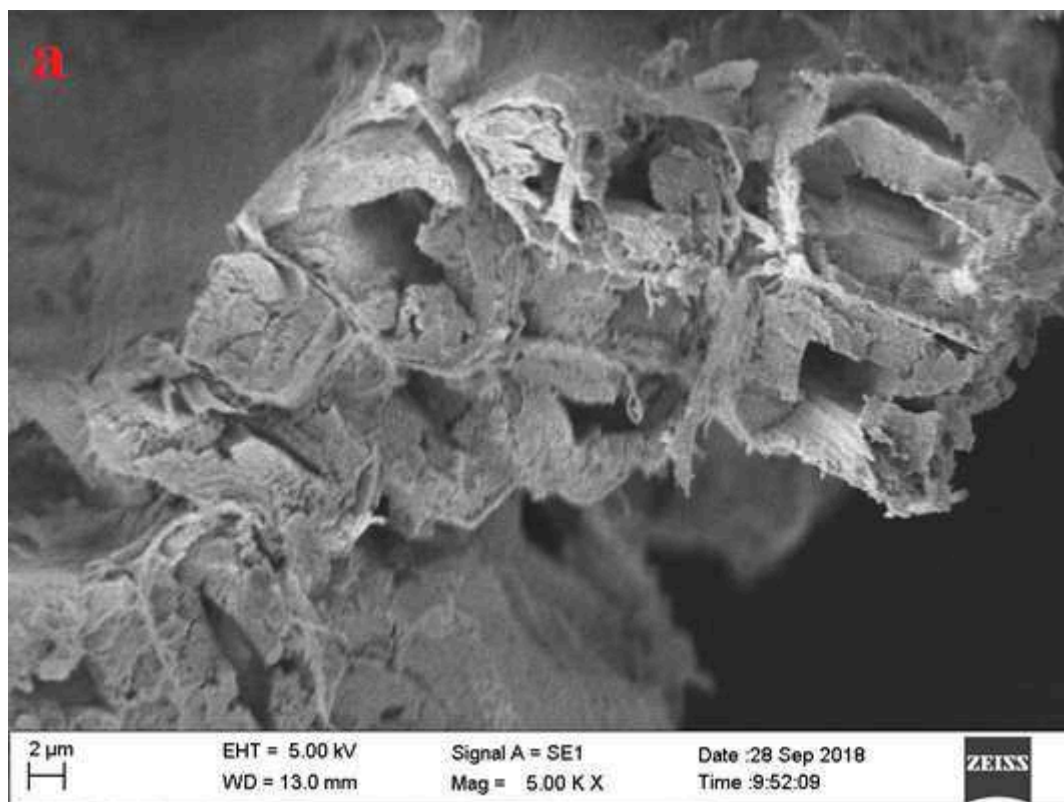


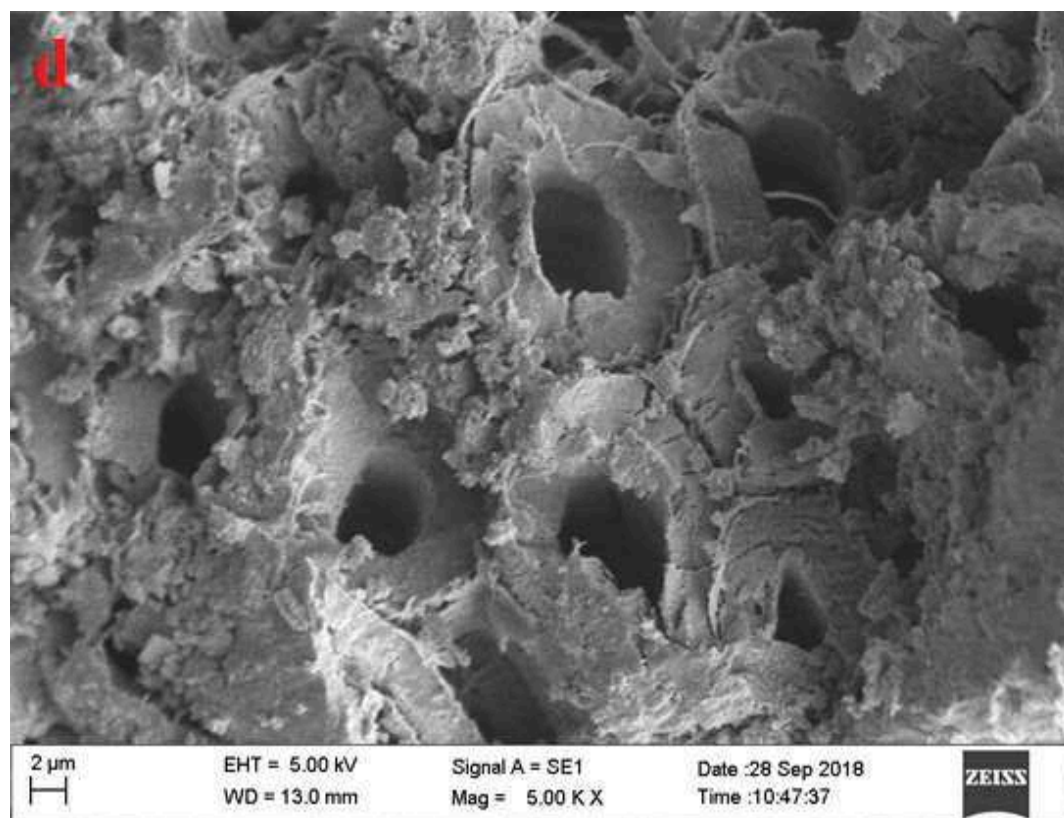
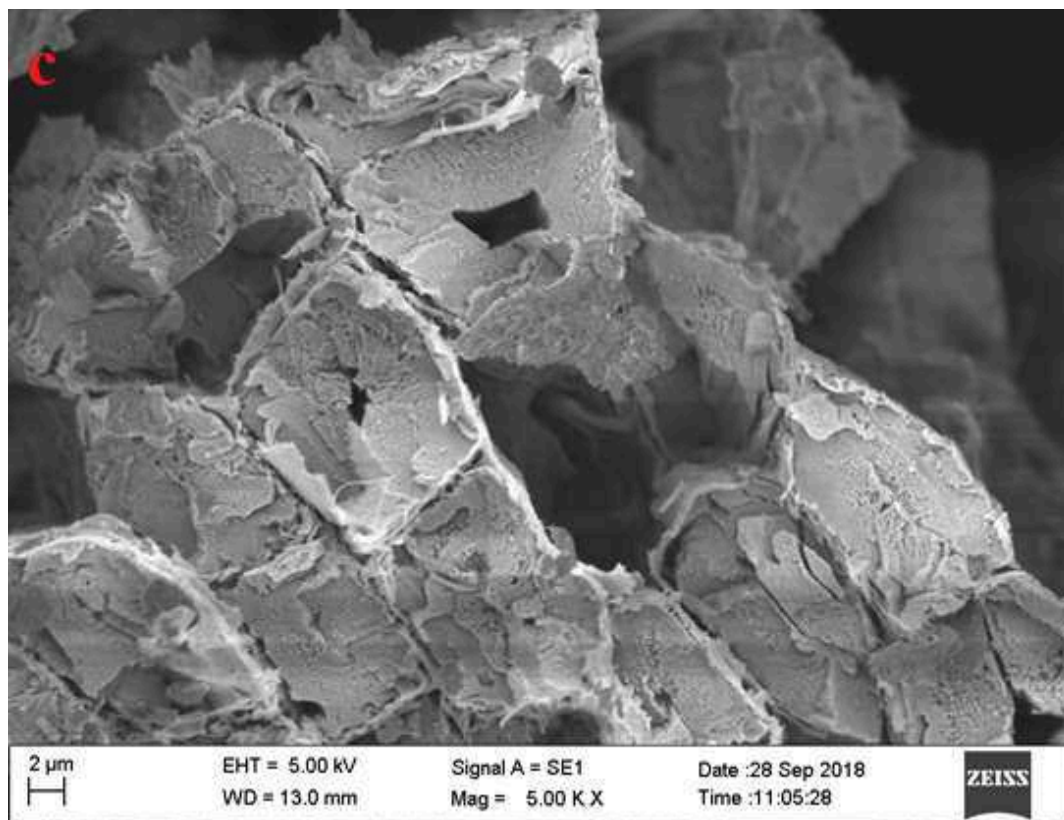


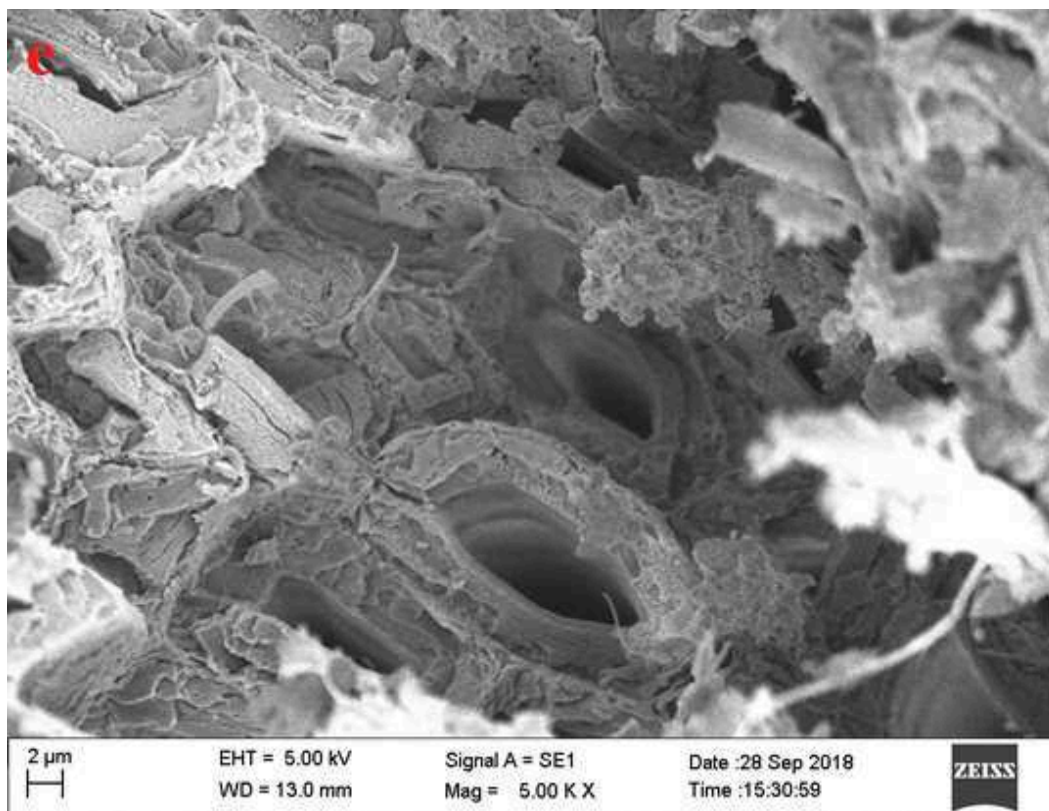
Fonte: o autor.

A seção transversal das fibras nas matrizes apresenta-se achatada devido ao ensaio de flexão e também ao corte de amostras para ensaios físicos. Mas pode ser observado, conforme Figura 31, que os produtos oriundos da hidratação da pasta se acumularam na superfície da fibra, uma vez que a estrutura interna das fibras não se encontra degradada mesmo imersas em matriz cimentícia por 180 dias, o que indica que o tratamento por impregnação com lignina está protegendo as fibras.

Figura 31 - MEV das fibras dos compósitos aos 180 dias, sendo: a) PC-SNAT; b) PC-SLOG; c) PC-SLO; d) PC-SLKG; e) PC-SLK.







Fonte: o autor.

4.3 Considerações finais

A proposta deste trabalho foi a modificação superficial de fibras de sisal, por impregnação com ligninas e posteriormente seu uso como reforço em matrizes cimentícias.

A priori, foram analisados os dados dos ensaios das propriedades mecânicas e físicas das fibras com e sem modificação, cujos resultados foram bem significativos, uma vez que a impregnação não prejudicou as propriedades mecânicas e diminuiu significativamente os índices de absorção de umidade das fibras tratadas em relação às não tratadas, evidenciando a eficácia do tratamento

Por conseguinte, foram feitas as análises dos compósitos de fibrocimento, sendo que as propriedades mecânicas das placas com fibras tratadas foram superiores às das com fibras sem tratamento, além de índices físicos mais satisfatórios.

Conclui-se que o trabalho atingiu seu objetivo e que o mesmo será de grande valia, como muitos outros, que buscam soluções para o uso de fibras vegetais como uma alternativa viável de reforço em materiais cimentícios.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Com relação ao tratamento por impregnação de lignina nas fibras vegetais de sisal, conclui-se que:

- Por MEV, foi observado que ocorreu impregnação nas fibras tratadas, uma vez que as SNAT não apresentaram recobrimento de lignina em sua superfície, enquanto que as SLOG, SLO, SLKG e SLK apresentaram recobrimento de lignina, tendo sua superfície com aspecto rugoso ou liso;
- O FTIR-ATR também evidenciou que houve a incorporação de lignina, devido aos picos de grupos aromáticos em 1514 cm^{-1} e grupos alifáticos em 1456 cm^{-1} , presentes na lignina;
- O TGA indicou que com o tratamento houve um aumento da temperatura inicial de degradação das fibras, atribuída à inserção das ligninas. Enquanto nas fibras SNAT a degradação acelerada começa em torno de 165°C , nas fibras SLOG, SLO, SLKG e SLK essa temperatura salta para 230°C ;
- Em relação às propriedades mecânicas, estatisticamente, não houve diferenças significativas das SNAT para as SLOG, SLO, SLKG e SLK, o que é um aspecto muito positivo pelo fato de grande parte dos tratamentos químicos piorarem as propriedades mecânicas das fibras;

- Com os dados obtidos das propriedades físicas de absorção de água das fibras, houve diferenças significativas das SNAT para as SLOG, SLO, SLKG e SLK, com redução do índice de absorção para todas as amostras, variando de 43% à 56%;
- Independentemente do tipo de lignina utilizada para impregnação das fibras, a presença de glutaraldeído é dispensável no processo;
- Diante dos resultados obtidos e das discussões, os tratamentos que apresentaram serem mais indicados são os com SLO e SLK.

Com relação às matrizes cimentícias reforçadas com as SNAT, SLOG, SLO, SLKG e SLK conclui-se que:

- No módulo de ruptura, observou-se que com exceção das PC-SNAT que obtiveram variação significativamente estatística dos 28 dias para os 180 dias, as demais placas não obtiveram variações significativas, mas, destacam-se as PC-SLO e as PC-SLK, apresentaram acréscimo no módulo de ruptura de 8,30% e 9,89%, respectivamente;
- Com o módulo de elasticidade, destacaram-se as PC-SNAT e as PC-SLK, que apresentaram variações estatísticas significantes dos 28 dias para os 180 dias;
- Analisando a tenacidade dos corpos-de-prova, destacaram-se as PC-SNAT e as PC-SLO, que obtiveram variações estatísticas significativas com aumento na propriedade mecânica analisada, enquanto as demais obtiveram variações significativas, porém com decréscimo na tenacidade;
- Com os dados obtidos de absorção, com exceção das PC-SNAT, não houve estatisticamente variação significativa dos tratamentos dos 28 dias para os 180 dias;
- Ao analisar os dados de porosidade, com exceção das PC-SNAT, não houve estatisticamente variação significativa dos tratamentos dos 28 dias para os 180 dias;

- Em relação à massa específica aparente, não houve estatisticamente variação significativa dos tratamentos dos 28 dias para os 180 dias;
- Com os dados das propriedades mecânicas e físicas dos corpos-de-prova, conclui-se que as PC-SLO apresentaram o melhor desempenho.

Quanto a recomendações para futuros trabalhos:

- Fazer impregnação com lignina em fibras longas;
- Utilizar mais de um tipo de fibra no tratamento por impregnação;
- Moldagem de placas cimentícias e ensaios conforme normas vigentes para verificação da possibilidade do uso comercial dos compósitos cimentícios com fibras vegetais tratadas por impregnação com lignina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOPYAN, V. Vegetable fibre reinforced building materials – developments in Brazil and other Latin American countries. In: Swamy, R. N., ed. Natural fibre reinforced cement and concrete, 1988.

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

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H. Uso de materiais alternativos à base de fibras vegetais na construção civil: experiência brasileira. In: Seminário Ibero-americano de materiales fibrorreforzados, 3, 1997, Cali. **Memorias**, Universidad del Valle, Cali, 1997, p. 23-40.

AGUIAR, C. M. **Hidrólise enzimática de resíduos lignocelulósicos utilizando celulasas produzidas pelo fungo *Aspergillus niger***. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, 2010.

ALBINANTE, S.R.; PACHECO, E.B.A.V.; VISCONTE, L.L.Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para misturas com poliolefinas. **Química Nova**, v. 36, n.1, p. 114-122, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000100021>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – **ASTM C948-81**. Dry and wet bulk density, water absorption and apparent porosity of thin sections of glass-fiber-reinforced concrete, 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – **ASTM E104-02**. Standard practice for maintaining constant relative humidity by means of aqueous solutions, 2012.

ARRUDA FILHO, A.; B. **Placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal**. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 109 p., Bahia, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESPECIALISTAS DO AMIANTO – ABREA. **Banimento do amianto representa um marco importante na qualidade de vida do trabalhador no Brasil**. São Paulo, jan. 2018. Disponível em: <http://www.abrea.com.br/not%C3%ADcias/publica%C3%A7%C3%B5es/193-banimento-do-amianto-representa-um-marco-importante-na-qualidade-de-vida-do-trabalhador-no-brasil.html>. Acesso em: 21 jul. 2018.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; GARCÍA-HORTAL, J. A.; BARRA, M. Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers. **Cellulose**, v. 18, p. 281-289, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10570-011-9493-3>

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 115-128, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035>

ARSÈNE, M-A.; SAVASTANO JR., H.; ALLAMEH, S. M.; GHAVAMI, K.; SOBOYEJO, W. O. Cementitious Composites reinforced with vegetable fibres. In: Proceedings of the first international conference on non-conventional materials and technologies in the eco-construction and infrastructure, 2003, Joao Pessoa Brazil. **IAC-NOCMAT**, 2003.

BENTUR, A; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. 2º ed, Grã-Bretanha: Taylor & Francis, 2007.

BLEFDZKI, A. K.; REIHMANE, S.; GASSAN, J. Properties and modification methods for vegetable fibers for natural fiber composites. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 59, p. 1329-1336, 1996. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19960222\)59:8<1329::AID-APP17>3.3.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19960222)59:8<1329::AID-APP17>3.3.CO;2-5)

BOERJAN, W.; RALPH, J.; BAUCHER, M. Lignin Biosynthesis. **Annual Review of Plant Biology**, v. 54, p. 519-546, 2003. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.54.031902.134938>

CALDAS & SILVA, A. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CALLISTER JR, W. D. **Materials Science and Engineering – An Introduction**. 6 ed. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

CASTRO, H.; GIANNASI, F.; NOVELLO, C. A luta pelo banimento do amianto nas Américas: uma questão de saúde pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 8, n. 4, p. 903-911, 2003. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232003000400013>

COUTTS, R. S. P. From forest to factory to fabrication. In: International Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete, 4, 1992, Sheffield. **Rilem Proceedings**. London, 1992, p. 31-47.

DAS, S.; SAHA, A.K.; CHOUDHURY, P.K.; ROWELL, R.M. Effect of Steam Pretreatment of Jute Fiber on Dimensional Stability of Jute Composite. **Journal of Applied Polymer Science**, v.76, p. 1652-1661, 2000. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(20000613\)76:11<1652::AID-APP6>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(20000613)76:11<1652::AID-APP6>3.0.CO;2-X)

DIAS, C. M. R.; SAVASTANO JUNIOR, H.; JOHN, V. M. Exploring the potencial of functionally graded materials concept for the Development of fiber cement. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 2, p. 140-146, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.01.017>

DOS SANTOS MARQUES, M. G. **Estudo das propriedades físicas e mecânicas e da durabilidade de compósitos cimentícios reforçados com fibra amazônica**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

FARUK, O.; BLEDZKI, A.K.; FINK, H-P.; SAIN, M. Biocomposites Reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, p. 1552–1596, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>

FENGEL, D., WEGENER, G. **Wood, chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Waster & Grugter, 1984. <https://doi.org/10.1515/9783110839654>

GELLERSTEDT, G.; HENRIKSSON, G. Lignins: Major sources, structure and properties. In: BELGACEM, M. N.; GANDINI, A. (Eds.). **Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources**. Amsterdam, Elsevier, p. 201–224, 2008. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-045316-3.00009-0>

IKAI, S; REICHERT, J. R.; RODRIGUES, A. V.; ZAMPIERI, V. A. Asbestos-free technology with new high toughness polypropylene (PP) fibers in air-cured Hatschek process. **Construction and Building Materials**, v. 24, p. 171-180, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.019>

JAWAID, M; ABDUL KHALIL, H.P.S. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: a review. **Carbohydrate Polymers**, v.86, p. 1-18, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.04.043>

LI, X.; TABIL, L.G., PANIGRAHI, S. Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber reinforced composites: a review. **Journal of polymers and the environment**, v. 15, p. 25-33, 2007. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>

MARINO, A. M.; YOSHIDA, C. Y. M. Questionamentos decorrentes da utilização do amianto a partir da ADI 2.646-9/SP. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 12, n. 23, p. 141-168, 2015. <https://doi.org/10.18623/rvd.v12i23.445>

MARQUES, V. M.; GOMES, L. P.; KERN, A. P. Avaliação ambiental de ciclo de vida de telhas de fibrocimento com fibras de amianto ou com fibras de polipropileno. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 187-201, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100068>

MOTTA, L. A. C. **Melhoria do desempenho de fibras de coco e sisal para reforço de matrizes cimentícias através do tratamento termomecânico e impregnação de resinas**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MOTTA, L. A. C.; AGOPYAN, V.; JOHN, V., M. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil**. (Boletim Técnico da Escola politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil; BT/PCC/450) Universidade de São Paulo, 23 p., São Paulo, 2007.

MOTTA, L. A. C.; JOHN, V., M.; AGOPYAN, V. Thermo-mechanical treatment to improve properties of sisal fibres composites. **Materials Science Forum**, v. 636-637, p. 253-259, 2010. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.636-637.253>

MWAIKAMBO, L. Y. Review of the history, properties and application of plant fibres. **African Journal of Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 120-133, 2006.

NOVO, L. P. **Determinação da relação dos parâmetros de solubilidade de Hansen de solventes orgânicos com a deslignificação organossolve de bagaço de cana-de-açúcar.** Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

OLIVEIRA, W.J.; VIEIRA, J.G.; PONCIANO, C.A.; MOTTA, L.A.C. Influence of hornification of luffa cylindrica fibres in the reinforcement of cementitious composites. **10th International Conference on Composite Science and Technology**, ICCST/10, 2015. ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review. **Cement and Concrete Composites**, v. 68, p. 96-108, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. **Construction and Building Materials**, v. 25, p. 575-581, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.024>

PASQUINI, D.; BALOGH, D. T.; ANTUNES, P. A.; CONSTANTINO, C. J. L.; CURVELO, A. A. S.; AROCA, R. F.; OLIVEIRA, O. N. Surface morphology and molecular organization of lignins in Langmuir-Blodgett films. **Langmuir**, v. 18, p. 6593-6596, 2002. <https://doi.org/10.1021/la025729v>

PASSOS, P.R.A. **Destinação sustentável de cascas de coco (*Cocos nucife*) verde: obtenção de telhas e chapas de partículas.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PERSSON, K. **Micromechanical modelling of wood and fibre properties.** Doctoral thesis – Lund University, Lund, 2000.

PETTERSEN, R. C. **The chemical composition of wood.** The chemistry of solid wood. Ed. Roger M, 1984. <https://doi.org/10.1021/ba-1984-0207.ch002>

PICKERING, K. L.; ARUAN EFENDY, M. G.; LE, T. M. A review of recent development in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites: Part A**, v. 83, p. 98-112, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.038>

PILÓ-VELOSO, D.; NASCIMENTO, E. A.; MORAIS, S. S. L. Isolamento e análise estrutural de ligninas, **Química Nova**, v. 16, p. 435-448, 1993.

PIRES, C. **Tratamento termomecânico de fibras de bucha vegetal para aplicação em matriz cimentícia.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

QUINELATO, C. **Métodos de Extração de Lignina do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Noroeste do Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto, 2016.

SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; BARRETO, S. L. T. Isolation and infrared spectroscopic characterization of lignin from boter corn and soybean agricultural residues. **Arq Bras Med Vet Zootec**, v. 50, n. 6, p. 727-730, 1998.

SALIBA, E. O. S.; RODRIGUEZ, N. M.; MORAIS, S. A. L.; PILO-VELOSO, D. Ligninas – métodos de obtenção e caracterização química. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p. 917-928, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000500031>

SANTOS, I.D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília. Brasília, 2008.

SAVASTANO JUNIOR, H.; DANTAS, F. A. S.; AGOPYAN, V. Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas. IPT/Pini, 56 p., São Paulo, 1994.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese (livre-docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2000.

SOUZA, J. D. G. T. de; MOTTA, L. A. de C.; PASQUINI, D.; VIEIRA, J. G.; PIRES, C. Modificação química superficial de fibras de bucha vegetal visando à compatibilização e aplicação como reforço em matriz cimentícia. *Ambiente Construído*, v. 17, n. 2, p. 269-283, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000200157>

STROHMEIER, B. R.; HUNTINGTON, J. C.; SANCHEZ, M. S.; ALLISON, K. e LEE, R. J. What is asbestos and why is it important? Challenges of defining and characterizing asbestos. **International Geology Review**, vol. 52, p. 801-872, 2010. <https://doi.org/10.1080/00206811003679836>

TERRA FILHO, M.; FREITAS, J.B.P.; NERY, L.E. Doenças asbesto-relacionadas. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 32, p. 48-53, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132006000800009>

TOLÊDO FILHO, R. D. **Materiais compósitos reforçados com fibras naturais: caracterização experimental**. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

TOLÊDO FILHO, R. D.; GHAVAMI, K.; ENGLAND, G. L.; SCRIVENER, K. Development of vegetable fibre-mortar composites of improved durability. **Cement & Concrete Composites**, v. 25, p. 185-196, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(02\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(02)00018-5)

TONOLI, G. H. D. **Fibras curtas de eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 73, p. 1-16, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.02.019>

YAN, L.; CHOUW, N.; JAYARAMAN, K. Flax fibre and its composites - a review. **Composites Part B**, v 56, p. 296-317, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.014>

YAN, L.; KASAL, B.; HUANG, L. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. **Composites Part B**, v 92, p. 94-132, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.02.002>

APÊNDICE

APÊNDICE A – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Módulo de Ruptura

ANOVA		Módulo de Ruptura - 28 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	112,65382	4	28,16346	14,24079	3,46912E-06	2,75871
Dentro dos grupos	49,4415167	25	1,977661			
Total	162,095337	29				

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	3,48666667	9,15166667
Variância	0,37858667	3,81209667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-6,77849245	
P(T<=t) uni-caudal	0,00025196	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,00050393	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	3,48666667	8,30833333
Variância	0,37858667	4,15701667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-5,545686	
P(T<=t) uni-caudal	0,00072595	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,00145189	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	3,48666667	7,23833333
Variância	0,37858667	0,38297667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-10,5304482	
P(T<=t) uni-caudal	4,9391E-07	
t crítico uni-caudal	1,81246112	
P(T<=t) bi-caudal	9,8782E-07	
t crítico bi-caudal	2,22813885	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	3,48666667	7,27666667
Variância	0,37858667	1,15762667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-7,49012508	
P(T<=t) uni-caudal	3,4964E-05	
t crítico uni-caudal	1,85954804	
P(T<=t) bi-caudal	6,9929E-05	
t crítico bi-caudal	2,30600414	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	9,15166667	8,30833333
Variância	3,81209667	4,15701667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	0,73176206	
P(T<=t) uni-caudal	0,24055537	
t crítico uni-caudal	1,81246112	
P(T<=t) bi-caudal	0,48111073	
t crítico bi-caudal	2,22813885	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	9,15166667	7,23833333
Variância	3,81209667	0,38297667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	2,28821319	
P(T<=t) uni-caudal	0,03104802	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,06209605	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	9,15166667	7,27666667
Variância	3,81209667	1,15762667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	2,06020668	
P(T<=t) uni-caudal	0,03666823	
t crítico uni-caudal	1,85954804	
P(T<=t) bi-caudal	0,07333645	
t crítico bi-caudal	2,30600414	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	8,30833333	7,23833333
Variância	4,15701667	0,38297667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	1,23007558	
P(T<=t) uni-caudal	0,13235338	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,26470675	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	8,30833333	7,27666667
Variância	4,15701667	1,15762667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	1,09617013	
P(T<=t) uni-caudal	0,15245126	
t crítico uni-caudal	1,85954804	
P(T<=t) bi-caudal	0,30490253	
t crítico bi-caudal	2,30600414	

<i>Módulo de Ruptura - 28 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	7,23833333	7,27666667
Variância	0,38297667	1,15762667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-0,07564963	
P(T<=t) uni-caudal	0,47077772	
t crítico uni-caudal	1,85954804	
P(T<=t) bi-caudal	0,94155543	
t crítico bi-caudal	2,30600414	

ANOVA		Módulo de Ruptura - 180 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	43,6492867	4	10,91232	18,21452	4,0263E-07	2,75871
Dentro dos grupos	14,9775	25	0,5991			
Total	58.6267867	29				

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	5,74833333	9,07833333
Variância	0,39665667	0,76261667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-7,5757727	
P(T<=t) uni-caudal	1,7058E-05	
t crítico uni-caudal	1,83311293	
P(T<=t) bi-caudal	3,4116E-05	
t crítico bi-caudal	2,26215716	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	5,74833333	8,99666667
Variância	0,39665667	0,50418667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-8,38323382	
P(T<=t) uni-caudal	3,8988E-06	
t crítico uni-caudal	1,81246112	
P(T<=t) bi-caudal	7,7976E-06	
t crítico bi-caudal	2,22813885	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	5,74833333	7,69
Variância	0,39665667	0,09524
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	-6,78130629	
P(T<=t) uni-caudal	0,00012877	
t crítico uni-caudal	1,89457861	
P(T<=t) bi-caudal	0,00025755	
t crítico bi-caudal	2,36462425	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	5,74833333	8
Variância	0,39665667	1,2368
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-4,31544827	
P(T<=t) uni-caudal	0,00128088	
t crítico uni-caudal	1,85954804	
P(T<=t) bi-caudal	0,00256175	
t crítico bi-caudal	2,30600414	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	9,07833333	8,99666667
Variância	0,76261667	0,50418667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	0,17773209	
P(T<=t) uni-caudal	0,43124101	
t crítico uni-caudal	1,81246112	
P(T<=t) bi-caudal	0,86248201	
t crítico bi-caudal	2,22813885	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	9,07833333	7,69
Variância	0,76261667	0,09524
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	3,67165622	
P(T<=t) uni-caudal	0,00521683	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,01043367	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	9,07833333	8
Variância	0,76261667	1,2368
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	1,86800056	
P(T<=t) uni-caudal	0,04729983	
t crítico uni-caudal	1,83311293	
P(T<=t) bi-caudal	0,09459967	
t crítico bi-caudal	2,26215716	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	8,99666667	7,69
Variância	0,50418667	0,09524
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	4,13401842	
P(T<=t) uni-caudal	0,00219093	
t crítico uni-caudal	1,89457861	
P(T<=t) bi-caudal	0,00438187	
t crítico bi-caudal	2,36462425	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	8,99666667	8
Variância	0,50418667	1,2368
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	1,85023902	
P(T<=t) uni-caudal	0,05071971	
t crítico uni-caudal	1,85954804	
P(T<=t) bi-caudal	0,10143943	
t crítico bi-caudal	2,30600414	

<i>Módulo de Ruptura - 180 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	7,69	8
Variância	0,09524	1,2368
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,65792848	
P(T<=t) uni-caudal	0,26749832	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,53499665	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>MOR: PC-SNAT</i>	28	180
Média	3,48666667	5,74833333
Variância	0,37858667	0,39665667
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-6,29194912	
P(T<=t) uni-caudal	4,5009E-05	
t crítico uni-caudal	1,81246112	
P(T<=t) bi-caudal	9,0017E-05	
t crítico bi-caudal	2,22813885	

<i>MOR: PC-SLOG</i>	28	180
Média	11,8442857	33,4957143
Variância	53,9281286	4174,09496
Observações	7	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,88098173	
P(T<=t) uni-caudal	0,20611158	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,41222317	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>MOR: PC-SLO</i>	28	180
Média	11,1214286	33,4257143
Variância	58,8587143	4177,86873
Observações	7	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,90661328	
P(T<=t) uni-caudal	0,19977768	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,39955537	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>MOR: PC-SLK</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	10,2042857	32,3057143
Variância	61,8972619	4241,6131
Observações	7	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,89136985	
P(T<=t) uni-caudal	0,20352654	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,40705307	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

<i>MOR: PC-SLK</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	10,2371429	32,5714286
Variância	62,3156238	4227,31638
Observações	7	7
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,90221713	
P(T<=t) uni-caudal	0,20085342	
t crítico uni-caudal	1,94318028	
P(T<=t) bi-caudal	0,40170684	
t crítico bi-caudal	2,44691185	

APÊNDICE B – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Módulo de Elasticidade

ANOVA		Módulo de Elasticidade - 28 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	784,7026	4	196,1757	32,28104	1,53292E-09	2,75871
Dentro dos grupos	151,9279	25	6,077117			
Total	936,6306	29				

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	4,213667	17,67917
Variância	0,669085	11,00097
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-9,65521	
P(T<=t) uni-caudal	3,54E-05	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	7,07E-05	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	4,213667	18,149
Variância	0,669085	10,05575
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-10,4231	
P(T<=t) uni-caudal	2,29E-05	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	4,57E-05	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	4,213667	15,78867
Variância	0,669085	6,965384
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-10,2614	
P(T<=t) uni-caudal	2,5E-05	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	5E-05	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	4,213667	15,1135
Variância	0,669085	1,694394
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-17,3668	
P(T<=t) uni-caudal	6,16E-08	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	1,23E-07	
t crítico bi-caudal	2,306004	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	17,67917	18,149
Variância	11,00097	10,05575
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-0,2508	
P(T<=t) uni-caudal	0,403524	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,807048	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	17,67917	15,78867
Variância	11,00097	6,965384
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	1,092502	
P(T<=t) uni-caudal	0,150116	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,300233	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	17,67917	15,1135
Variância	11,00097	1,694394
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	1,763816	
P(T<=t) uni-caudal	0,060563	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,121125	
t crítico bi-caudal	2,364624	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	18,149	15,78867
Variância	10,05575	6,965384
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	1,401376	
P(T<=t) uni-caudal	0,095683	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,191366	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	18,149	15,1135
Variância	10,05575	1,694394
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	2,169123	
P(T<=t) uni-caudal	0,033352	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,066703	
t crítico bi-caudal	2,364624	

<i>Módulo de Elasticidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	15,78867	15,1135
Variância	6,965384	1,694394
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	0,561996	
P(T<=t) uni-caudal	0,295825	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,591651	
t crítico bi-caudal	2,364624	

ANOVA	Módulo de Elasticidade - 180 dias					
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	442,0951	4	110,5238	24,46841	2,48712E-08	2,75871
Dentro dos grupos	112,9249	25	4,516998			
Total	555,02	29				

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	9,177333	20,63767
Variância	2,462181	3,036149
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-11,9717	
P(T<=t) uni-caudal	1,49E-07	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	2,99E-07	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	9,177333	16,635
Variância	2,462181	11,61059
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	-4,86955	
P(T<=t) uni-caudal	0,000908	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,001815	
t crítico bi-caudal	2,364624	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	9,177333	15,159
Variância	2,462181	3,078101
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-6,22489	
P(T<=t) uni-caudal	4,91E-05	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	9,82E-05	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	9,177333	18,12817
Variância	2,462181	2,397967
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-9,94522	
P(T<=t) uni-caudal	8,36E-07	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	1,67E-06	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	20,63767	16,635
Variância	3,036149	11,61059
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	2,561855	
P(T<=t) uni-caudal	0,018725	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,03745	
t crítico bi-caudal	2,364624	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	20,63767	15,159
Variância	3,036149	3,078101
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	5,427238	
P(T<=t) uni-caudal	0,000145	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,00029	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	20,63767	18,12817
Variância	3,036149	2,397967
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	2,636929	
P(T<=t) uni-caudal	0,012432	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,024865	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	16,635	15,159
Variância	11,61059	3,078101
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	0,943345	
P(T<=t) uni-caudal	0,188458	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,376915	
t crítico bi-caudal	2,364624	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	16,635	18,12817
Variância	11,61059	2,397967
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	-0,97721	
P(T<=t) uni-caudal	0,180511	
t crítico uni-caudal	1,894579	
P(T<=t) bi-caudal	0,361021	
t crítico bi-caudal	2,364624	

<i>Módulo de Elasticidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	15,159	18,12817
Variância	3,078101	2,397967
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-3,10796	
P(T<=t) uni-caudal	0,00555	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,011099	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>MOE: PC-SNAT</i>	28	180
Média	4,213667	9,177333
Variância	0,669085	2,462181
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-6,87097	
P(T<=t) uni-caudal	6,41E-05	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,000128	
t crítico bi-caudal	2,306004	

<i>MOE: PC-SLOG</i>	28	180
Média	17,67917	20,63767
Variância	11,00097	3,036149
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-1,93423	
P(T<=t) uni-caudal	0,044568	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,089137	
t crítico bi-caudal	2,306004	

<i>MOE: PC-SLO</i>	28	180
Média	18,149	16,635
Variância	10,05575	11,61059
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	0,796725	
P(T<=t) uni-caudal	0,222057	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,444115	
t crítico bi-caudal	2,228139	

<i>MOE: PC-SLK</i>	28	180
Média	15,78867	15,159
Variância	6,965384	3,078101
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	0,486681	
P(T<=t) uni-caudal	0,319058	
t crítico uni-caudal	1,833113	
P(T<=t) bi-caudal	0,638117	
t crítico bi-caudal	2,262157	

<i>MOE: PC-SLK</i>	28	180
Média	15,1135	18,12817
Variância	1,694394	2,397967
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-3,65029	
P(T<=t) uni-caudal	0,00223	
t crítico uni-caudal	1,812461	
P(T<=t) bi-caudal	0,00446	
t crítico bi-caudal	2,228139	

APÊNDICE C – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Tenacidade

ANOVA		Tenacidade - 28 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,5795735	4	0,144893	21,4441	8,85501E-08	2,75871
Dentro dos grupos	0,1689198	25	0,006757			
Total	0,7484934	29				

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	0,348	0,746
Variância	0,0038952	0,0090164
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-8,579632	
P(T<=t) uni-caudal	6,303E-06	
t crítico uni-caudal	1,8331129	
P(T<=t) bi-caudal	1,261E-05	
t crítico bi-caudal	2,2621572	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,348	0,5885
Variância	0,0038952	0,0061107
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-5,889286	
P(T<=t) uni-caudal	7,663E-05	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,0001533	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,348	0,6941667
Variância	0,0038952	0,0115878
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-6,814497	
P(T<=t) uni-caudal	6,79E-05	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,0001358	
t crítico bi-caudal	2,3060041	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,348	0,6545
Variância	0,0038952	0,0031739
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-8,929436	
P(T<=t) uni-caudal	2,221E-06	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	4,441E-06	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,746	0,5885
Variância	0,0090164	0,0061107
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	3,1367387	
P(T<=t) uni-caudal	0,0052843	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,0105686	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,746	0,6941667
Variância	0,0090164	0,0115878
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	0,8845191	
P(T<=t) uni-caudal	0,1985923	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,3971846	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,746	0,6545
Variância	0,0090164	0,0031739
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	2,0299695	
P(T<=t) uni-caudal	0,0384304	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,0768609	
t crítico bi-caudal	2,3060041	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,5885	0,6941667
Variância	0,0061107	0,0115878
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-1,945565	
P(T<=t) uni-caudal	0,0417798	
t crítico uni-caudal	1,8331129	
P(T<=t) bi-caudal	0,0835596	
t crítico bi-caudal	2,2621572	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,5885	0,6545
Variância	0,0061107	0,0031739
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-1,677791	
P(T<=t) uni-caudal	0,0638495	
t crítico uni-caudal	1,8331129	
P(T<=t) bi-caudal	0,127699	
t crítico bi-caudal	2,2621572	

<i>Tenacidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,6941667	0,6545
Variância	0,0115878	0,0031739
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	0,799712	
P(T<=t) uni-caudal	0,2234854	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,4469709	
t crítico bi-caudal	2,3060041	

ANOVA		Tenacidade - 180 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,774351	4	0,193588	59,33579	2,13106E-12	2,75871
Dentro dos grupos	0,0815645	25	0,003263			
Total	0,8559155	29				

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	0,4501667	0,435
Variância	0,0047142	0,0039336
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	0,3994972	
P(T<=t) uni-caudal	0,348963	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,697926	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,4501667	0,758
Variância	0,0047142	0,0037496
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-8,196141	
P(T<=t) uni-caudal	4,759E-06	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	9,518E-06	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,4501667	0,2941667
Variância	0,0047142	0,0009154
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	5,0928868	
P(T<=t) uni-caudal	0,0007053	
t crítico uni-caudal	1,8945786	
P(T<=t) bi-caudal	0,0014106	
t crítico bi-caudal	2,3646243	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,4501667	0,3501667
Variância	0,0047142	0,0030002
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	2,7888581	
P(T<=t) uni-caudal	0,0095786	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,0191573	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,435	0,758
Variância	0,0039336	0,0037496
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-9,026244	
P(T<=t) uni-caudal	2,016E-06	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	4,031E-06	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,435	0,2941667
Variância	0,0039336	0,0009154
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	4,9540055	
P(T<=t) uni-caudal	0,0008244	
t crítico uni-caudal	1,8945786	
P(T<=t) bi-caudal	0,0016488	
t crítico bi-caudal	2,3646243	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,435	0,3501667
Variância	0,0039336	0,0030002
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	2,4954998	
P(T<=t) uni-caudal	0,0158451	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,0316902	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,758	0,2941667
Variância	0,0037496	0,0009154
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	16,634636	
P(T<=t) uni-caudal	3,466E-07	
t crítico uni-caudal	1,8945786	
P(T<=t) bi-caudal	6,933E-07	
t crítico bi-caudal	2,3646243	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,758	0,3501667
Variância	0,0037496	0,0030002
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	12,159451	
P(T<=t) uni-caudal	1,29E-07	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	2,58E-07	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>Tenacidade - 180 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,2941667	0,3501667
Variância	0,0009154	0,0030002
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	8	
Stat t	-2,19214	
P(T<=t) uni-caudal	0,0298607	
t crítico uni-caudal	1,859548	
P(T<=t) bi-caudal	0,0597214	
t crítico bi-caudal	2,3060041	

<i>TEN:PC-SNAT</i>	28	180
Média	0,348	0,4501667
Variância	0,0038952	0,0047142
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	-2,697114	
P(T<=t) uni-caudal	0,0112121	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	0,0224242	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

<i>TEN:PC-SLOG</i>	28	180
Média	0,746	0,435
Variância	0,0090164	0,0039336
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	6,6942377	
P(T<=t) uni-caudal	4,456E-05	
t crítico uni-caudal	1,8331129	
P(T<=t) bi-caudal	8,912E-05	
t crítico bi-caudal	2,2621572	

<i>TEN:PC-SLO</i>	28	180
Média	0,5885	0,758
Variância	0,0061107	0,0037496
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	-4,181193	
P(T<=t) uni-caudal	0,0011859	
t crítico uni-caudal	1,8331129	
P(T<=t) bi-caudal	0,0023719	
t crítico bi-caudal	2,2621572	

<i>TEN:PC-SLKG</i>	28	180
Média	0,6941667	0,2941667
Variância	0,0115878	0,0009154
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	8,7624628	
P(T<=t) uni-caudal	6,119E-05	
t crítico uni-caudal	1,9431803	
P(T<=t) bi-caudal	0,0001224	
t crítico bi-caudal	2,4469119	

<i>TEN:PC-SLK</i>	28	180
Média	0,6545	0,3501667
Variância	0,0031739	0,0030002
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	10	
Stat t	9,4872313	
P(T<=t) uni-caudal	1,285E-06	
t crítico uni-caudal	1,8124611	
P(T<=t) bi-caudal	2,57E-06	
t crítico bi-caudal	2,2281389	

APÊNDICE D – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Absorção

ANOVA			Absorção - 28 dias			
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,010411	4	0,002603	5,943341	0,004516	3,055568
Dentro dos grupos	0,006569	15	0,000438			
Total	0,016981	19				

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	0,216208	0,169575
Variância	0,000242	0,001003
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	2,643279	
P(T<=t) uni-caudal	0,028692	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,057383	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,216208	0,181009
Variância	0,000242	0,000773
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	2,210351	
P(T<=t) uni-caudal	0,039035	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,07807	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,216208	0,158608
Variância	0,000242	0,000105
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	6,187583	
P(T<=t) uni-caudal	0,000804	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,001608	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,216208	0,151105
Variância	0,000242	6,69E-05
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	7,413571	
P(T<=t) uni-caudal	0,000352	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,000703	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,169575	0,181009
Variância	0,001003	0,000773
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,5426	
P(T<=t) uni-caudal	0,303477	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,606954	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,169575	0,158608
Variância	0,001003	0,000105
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	0,65881	
P(T<=t) uni-caudal	0,273005	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,546011	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,169575	0,151105
Variância	0,001003	6,69E-05
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	1,129105	
P(T<=t) uni-caudal	0,170492	
t crítico uni-caudal	2,353363	
P(T<=t) bi-caudal	0,340983	
t crítico bi-caudal	3,182446	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,181009	0,158608
Variância	0,000773	0,000105
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,512127	
P(T<=t) uni-caudal	0,102521	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,205041	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,181009	0,151105
Variância	0,000773	6,69E-05
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	2,063927	
P(T<=t) uni-caudal	0,053985	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,107971	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Absorção - 28 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,158608	0,151105
Variância	0,000105	6,69E-05
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	1,144354	
P(T<=t) uni-caudal	0,148033	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,296067	
t crítico bi-caudal	2,446912	

ANOVA	Absorção - 180 dias					
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,002143	4	0,000536	1,314586	0,309383	3,055568
Dentro dos grupos	0,006114	15	0,000408			
Total	0,008258	19				

<i>ABS: PC-SNAT</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,216208	0,1624
Variância	0,000242	0,000164
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	5,34423	
P(T<=t) uni-caudal	0,000877	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,001754	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>ABS: PC-SLOG</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,169575	0,135849
Variância	0,001003	0,00031
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	1,861326	
P(T<=t) uni-caudal	0,060882	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,121763	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>ABS: PC-SLO</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,181009	0,160596
Variância	0,000773	0,000195
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,312429	
P(T<=t) uni-caudal	0,129808	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,259616	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>ABS: PC-SLKG</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,158608	0,15787
Variância	0,000105	0,001055
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	0,043301	
P(T<=t) uni-caudal	0,483769	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,967537	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>ABS: PC-SLK</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,151105	0,144338
Variância	6,69E-05	0,000314
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	0,693424	
P(T<=t) uni-caudal	0,263102	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,526204	
t crítico bi-caudal	2,776445	

APÊNDICE E – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Porosidade

ANOVA			Porosidade - 28 dias			
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,089503	4	0,022376	7,09026	0,002059	3,055568
Dentro dos grupos	0,047338	15	0,003156			
Total	0,136841	19				

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	0,586979	0,448081
Variância	0,002315	0,007155
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	2,854612	
P(T<=t) uni-caudal	0,017815	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,035631	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,586979	0,478412
Variância	0,002315	0,00517
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	2,509793	
P(T<=t) uni-caudal	0,026921	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,053842	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,586979	0,416129
Variância	0,002315	0,000729
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	6,193791	
P(T<=t) uni-caudal	0,0008	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,001601	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,586979	0,396861
Variância	0,002315	0,000411
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	7,283144	
P(T<=t) uni-caudal	0,000944	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,001889	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	0,448081	0,478412
Variância	0,007155	0,00517
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-0,54642	
P(T<=t) uni-caudal	0,302244	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,604488	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,448081	0,416129
Variância	0,007155	0,000729
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	0,719716	
P(T<=t) uni-caudal	0,255754	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,511509	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,448081	0,396861
Variância	0,007155	0,000411
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	1,1777	
P(T<=t) uni-caudal	0,161918	
t crítico uni-caudal	2,353363	
P(T<=t) bi-caudal	0,323837	
t crítico bi-caudal	3,182446	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	0,478412	0,416129
Variância	0,00517	0,000729
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,621935	
P(T<=t) uni-caudal	0,090068	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,180136	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,478412	0,396861
Variância	0,00517	0,000411
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	2,183335	
P(T<=t) uni-caudal	0,058491	
t crítico uni-caudal	2,353363	
P(T<=t) bi-caudal	0,116983	
t crítico bi-caudal	3,182446	

<i>Porosidade - 28 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	0,416129	0,396861
Variância	0,000729	0,000411
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	1,141671	
P(T<=t) uni-caudal	0,148549	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,297098	
t crítico bi-caudal	2,446912	

ANOVA		Porosidade - 180 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,013443	4	0,003361	1,824093	0,176723	3,055568
Dentro dos grupos	0,027636	15	0,001842			
Total	0,041079	19				

<i>POR: PC-SNAT</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,586979	0,406703
Variância	0,002315	0,001021
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	6,24219	
P(T<=t) uni-caudal	0,000773	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,001545	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>POR: PC-SLOG</i>	28	180
Média	0,437967	0,336822
Variância	0,010119	0,001774
Observações	3	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	1,637246	
P(T<=t) uni-caudal	0,100051	
t crítico uni-caudal	2,353363	
P(T<=t) bi-caudal	0,200102	
t crítico bi-caudal	3,182446	

<i>POR: PC-SLO</i>	28	180
Média	0,478412	0,392162
Variância	0,00517	0,001062
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	2,185188	
P(T<=t) uni-caudal	0,047098	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,094197	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>POR: PC-SLKG</i>	28	180
Média	0,416129	0,352423
Variância	0,000729	0,003953
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,862158	
P(T<=t) uni-caudal	0,06803	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,13606	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>POR: PC-SLK</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	0,396861	0,359319
Variância	0,000411	0,001402
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	1,763418	
P(T<=t) uni-caudal	0,069057	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,138114	
t crítico bi-caudal	2,570582	

APÊNDICE F – Análises estatísticas dos compósitos aos 28 e 180 dias: Massa específica aparente

ANOVA		Massa específica - 28 dias				
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,069698	4	0,017424	3,927012	0,02243	3,055568
Dentro dos grupos	0,066556	15	0,004437			
Total	0,136254	19				

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLOG</i>
Média	1,710552	1,828804
Variância	0,001249	0,010551
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-2,17719	
P(T<=t) uni-caudal	0,047521	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,095042	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	1,710552	1,791578
Variância	0,001249	0,008027
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1,68259	
P(T<=t) uni-caudal	0,083872	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,167745	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	1,710552	1,85328
Variância	0,001249	0,001242
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-5,72001	
P(T<=t) uni-caudal	0,000619	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,001238	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SNAT</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	1,710552	1,880807
Variância	0,001249	0,001117
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-7,00107	
P(T<=t) uni-caudal	0,000212	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,000423	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLO</i>
Média	1,828804	1,791578
Variância	0,010551	0,008027
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	0,546229	
P(T<=t) uni-caudal	0,302305	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,604609	
t crítico bi-caudal	2,446912	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	1,828804	1,85328
Variância	0,010551	0,001242
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-0,45078	
P(T<=t) uni-caudal	0,337751	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,675502	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SLOG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	1,828804	1,880807
Variância	0,010551	0,001117
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-0,96286	
P(T<=t) uni-caudal	0,195072	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,390144	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLKG</i>
Média	1,791578	1,85328
Variância	0,008027	0,001242
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1,2818	
P(T<=t) uni-caudal	0,134583	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,269165	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SLO</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	1,791578	1,880807
Variância	0,008027	0,001117
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	-1,86627	
P(T<=t) uni-caudal	0,067707	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,135414	
t crítico bi-caudal	2,776445	

<i>Massa específica - 28 dias</i>	<i>PC-SLKG</i>	<i>PC-SLK</i>
Média	1,85328	1,880807
Variância	0,001242	0,001117
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	6	
Stat t	-1,13362	
P(T<=t) uni-caudal	0,150105	
t crítico uni-caudal	1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,30021	
t crítico bi-caudal	2,446912	

ANOVA	Massa específica - 180 dias					
<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,085059	4	0,021265	1,61885	0,221073	3,055568
Dentro dos grupos	0,197037	15	0,013136			
Total	0,282096	19				

<i>ME: PC-SNAT</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	1,710552	1,781069
Variância	0,001249	0,002445
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	-2,32051	
P(T<=t) uni-caudal	0,034005	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,06801	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>ME: PC-SLOG</i>	28	180
Média	1,828804	1,857401
Variância	0,010551	0,00525
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	-0,45499	
P(T<=t) uni-caudal	0,334094	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,668188	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>ME: PC-SLO</i>	28	180
Média	1,791578	1,755386
Variância	0,008027	0,002419
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	5	
Stat t	0,708218	
P(T<=t) uni-caudal	0,255225	
t crítico uni-caudal	2,015048	
P(T<=t) bi-caudal	0,510451	
t crítico bi-caudal	2,570582	

<i>ME: PC-SLKG</i>	28	180
Média	1,85328	1,672656
Variância	0,001242	0,048719
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	3	
Stat t	1,61619	
P(T<=t) uni-caudal	0,102236	
t crítico uni-caudal	2,353363	
P(T<=t) bi-caudal	0,204472	
t crítico bi-caudal	3,182446	

<i>ME: PC-SLK</i>	<i>28</i>	<i>180</i>
Média	1,880807	1,836085
Variância	0,001117	0,006846
Observações	4	4
Hipótese da diferença de média	0	
gl	4	
Stat t	1,00234	
P(T<=t) uni-caudal	0,186449	
t crítico uni-caudal	2,131847	
P(T<=t) bi-caudal	0,372897	
t crítico bi-caudal	2,776445	
