



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO - CTE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL - PGETEX

Renan Felinto dos Santos

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DE TECIDO PLANO DE JUTA EMPREGADO  
COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Blumenau

2022

Renan Felinto dos Santos

**INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA DE TECIDO PLANO DE JUTA EMPREGADO  
COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Fernanda Steffens, Dr<sup>ª</sup>  
Coorientadores: Prof. Flávio de Andrade Silva, Dr. e  
Prof. Fernando Ribeiro Oliveira, Dr. (*in memoriam*)

Blumenau

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

dos Santos, Renan Felinto

Influência da estrutura de tecido plano de juta  
empregado como reforço em compósitos cimentícios / Renan  
Felinto dos Santos ; orientadora, Fernanda Steffens,  
coorientador, Flávio de Andrade Silva, coorientador,  
Fernando Ribeiro Oliveira, 2022.

114 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Tecido plano. 3. Fibra de  
juta. 4. Compósito cimentício. 5. Têxteis técnicos. I.  
Steffens, Fernanda . II. de Andrade Silva, Flávio. III.  
Ribeiro Oliveira, Fernando IV. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Têxtil. V. Título.

Renan Felinto dos Santos

**Influência da estrutura de tecido plano de juta empregado como reforço em compósitos  
cimentícios**

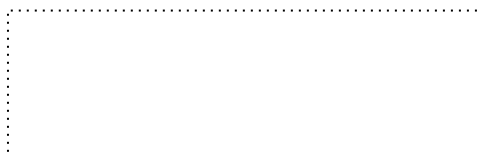
O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 31 de outubro de 2022, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Marlova Piva Kulakowski, Dr.(a)  
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

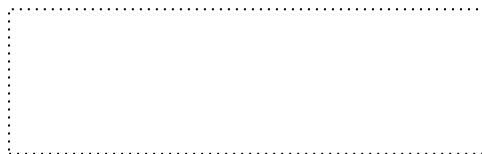
Prof. Cristian dos Santos Castillo, Dr.  
Universidade do Minho

Prof. José Alexandre Borges Valle, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.



Prof.(a) Rita de Cassia Siqueira Curto Valle, Dr.(a)  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof.(a) Fernanda Steffens, Dr.(a)  
Orientador(a)

Blumenau, 2022.

Este trabalho é dedicado à minha mãe e irmã, que são as mulheres da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil, por permitir que o estudo fosse realizado e por ter sido um dos meus lugares preferidos durante todo o período que estive por aqui.

À minha mãe, Angela Zumba, e minha irmã, Rafaela Felinto, por todo amor, apoio e carinho durante esses anos.

À minha segunda família, que construí ao longo dessa aventura que foi Blumenau, em especial Laura Palermo, Larissa Theodoro, Mariana Moreno e todos os outros que para sempre serão parte do 32.

Aos meus colegas de curso, Michele Schmidt e Victor Fischer, por serem tão especiais em todos os momentos que passamos juntos (“*we’re all in this together*”).

À minha orientadora, Profa. Dra. Fernanda Steffens, por não ter soltado a minha mão quando tudo parecia perdido, sempre depositando muita confiança, esperança e boas energias durante todo esse tempo que trilhamos juntos.

A meu coorientador, Prof. Dr. Flávio Silva, por acreditar no meu trabalho e me permitir vivenciar novas experiências.

Aos colegas da PUC-Rio, em especial Felipe Pinheiro e Rebecca Mansur, por terem sido tão receptivos, atenciosos e me auxiliarem no desenvolvimento do projeto.

A todos os professores e técnicos dos laboratórios que frequentei durante esses meses, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao corpo docente do Departamento de Engenharia Têxtil, que me acompanharam por toda essa jornada.

Ao meu querido Prof. Dr. Fernando Oliveira, que foi minha inspiração para chegar até aqui.

A todos que torcem por mim, muito obrigado.

Trate as pessoas com gentileza. (STYLES, 2017)

## RESUMO

Diversos podem ser os tipos de fibras e estruturas têxteis, como tecidos planos, malhas e não tecidos, utilizados para o reforço em materiais compósitos. Neste sentido, estudos recentes têm destacado a fibra de juta como importante material de reforço em compósitos cimentícios. Além disso, quando se considera a aplicação de têxteis, as características e propriedades químicas, físicas e mecânicas dos materiais utilizados devem ser considerados. Entendendo que muito é explorado sobre o emprego de fibras no reforço de materiais de construção, há considerável escassez de estudos sobre a influência de parâmetros estruturais relativos a tecidos planos no reforço de compósitos para a construção civil. Portanto, o presente trabalho buscou avaliar estes parâmetros bem como características do próprio fio utilizado no desenvolvimento de tecidos planos de juta, como também os tratamentos superficiais necessários para adequar o material têxtil a matrizes cimentícias. Para tanto, a investigação baseou-se na caracterização de estruturas do tipo tela/tafetá (T e F) e *basket*/panamá (A), sem e após tratamento superficial por hornificação, hidrotérmico e impregnação de copolímero estireno-butadieno (SBR). Além disso, foi avaliado o comportamento mecânico dos raportes por intermédio da realização de ensaio de tração uniaxial dos tecidos. Posteriormente, foi realizada a escolha do material com características mais assertivas de reforço para a constituição de compósitos cimentícios. Materiais compósitos de matriz cimentícia foram produzidos com fração volumétrica de reforço de 1 %, 3 % e 3,5 %, correspondendo a uma, três e cinco camadas, respectivamente. Assim, o desempenho mecânico foi estudado, através do ensaio de resistência à tração direta. Além disso, a técnica de DRX foi empregada para identificação de fases da matriz cimentícia. O padrão de tecido com melhor desempenho foi obtido para estrutura *basket* (direção do urdume) com tratamento superficial de estireno-butadieno (AUC). Para os compósitos, a fração volumétrica de 3 % de reforço mostrou-se mais adequada, exibindo comportamento padrão *strain-hardening*. Como também, demonstraram maior adesão entre matriz-reforço.

**Palavras-chave:** Tecido plano. Fibra de juta. Compósito cimentício. Têxteis técnicos.



## ABSTRACT

Various types of fibers and textile substrate structures, such as woven, knitted fabric, and nonwoven can be used as reinforcement in composite materials. Recent studies highlighted jute fiber as an important reinforcement material in cementitious composites. Furthermore, when considering an application of textiles, their most different forms should be highlighted, such as woven, knitted fabric, and nonwoven, as well as their chemical, physical, and mechanical, characteristics and properties. Considering that much is explored about the use of fibers in the reinforcement of construction materials, there is considerable scarcity about the influence of different structures of woven fabrics as reinforcement composites for civil construction. Therefore, the present work aims to evaluate geometric parameters and characteristics of jute woven fabric, as well as surface treatments necessary to adapt the textile material for a cement-based matrix. Therefore, the investigation was based on the characterization of fabrics such as plain weave/taffeta (T and F) and basket/panama (A), without and after surface treatment by hornification, hydrothermal, and styrene-butadiene copolymer (SBR). In addition, the mechanical behavior of the jute woven fabric structure was evaluated through uniaxial tensile testing. Subsequently, the choice of material with better characteristics of reinforcement was carried out for the constitution of a cement-based composite. Cementitious matrix composites were produced with a volumetric fraction of 1 wt%, 3 wt%, and 3.5 wt% corresponding to one, three, and five layers of reinforcement, respectively. Thus, the mechanical performance was studied through the direct tensile strength test. In addition, the XRD technique was used to identify phases of the cement-based matrix. The higher-performing fabric pattern was obtained for basket structure (warp direction) with styrene-butadiene treatment (AUC). For composites, the volumetric fraction of 3 wt% reinforcement proved to be more adequate, exhibiting a standard strain-hardening behavior. As well as, demonstrated greater adhesion between matrix-reinforcement.

**Keywords:** Woven fabric. Jute fiber. Cement-based composite. Technical textiles.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Setores e aplicações de têxteis técnicos. ....	21
Figura 2 – Mapa de coocorrência de palavras-chave para têxteis técnicos (2017-2021). ....	25
Figura 3 – Mapa de sobreposição das palavras-chave entre 2017 e 2021. ....	26
Figura 4 – Mapa de coocorrência de palavras-chave para compósitos à base de cimento (2017-2021). ....	30
Figura 5 – Mapa de sobreposição de palavras-chave do <i>cluster</i> 1 (2017-2021). ....	31
Figura 6 – Classificação de fibras têxteis. ....	33
Figura 7 – Processos de preparação da fibra de juta. ....	39
Figura 8 – Microestrutura da fibra de juta. ....	40
Figura 9 – Construções básicas para tecidos plano: tela/tafetá (a); sarja (b); cetim (c). ....	41
Figura 10 – Tecido plano tela/tafetá: representação esquemática (a); diagrama da unidade repetitiva (b); seção transversal na direção da trama (c); seção transversal na direção do urdume (d). ....	42
Figura 11 – Tecido <i>basket</i> /panamá: representação esquemática (a); diagrama da unidade repetitiva (b). ....	43
Figura 12 – Parâmetros de especificação dos tecidos. ....	44
Figura 13 – Modelo geométrico de Peirce para tecidos planos. ....	45
Figura 14 – Relação entre fator de cobertura e gramatura dos tecidos planos. ....	48
Figura 15 – Processo de degradação de fibras celulósicas. ....	52
Figura 16 – Planejamento experimental. ....	57
Figura 17 – Padrões de tecidos planos de juta em investigação: (a) T; (b) F; (c) A. ....	58
Figura 18 – Equipamento utilizado para análise de FTIR. ....	60
Figura 19 – Máquina universal para ensaios de resistência à tração de tecidos. ....	62
Figura 20 – Configuração do corpo-de-prova. ....	64
Figura 21 – Ensaio de resistência à compressão. ....	65
Figura 22 – Dispositivo recomendado para ensaio de resistência à tração direta: visão frontal (a) e lateral (b). ....	66
Figura 23 – Equipamento utilizado para ensaio de resistência à tração direta. ....	67
Figura 24 – Relação de frisado entre urdume ( $c_1$ ) e trama ( $c_2$ ) de tecidos planos de juta. ....	69

Figura 25 – Relação entre frisado ( $c_x$ ) e densidade de fios ( $n_x$ ) de tecidos planos de juta: urdume (a); trama (b). .....	70
Figura 26 – Micrografias das amostras de tecidos: sem tratamento (a); após processo de hornificação (b), hidrotérmico (c) e revestimento com copolímero (d). .....	74
Figura 27 – Análise FTIR de tecidos planos de juta: (a) sem tratamento; (b) hornificação; (c) hidrotérmico; (d) copolímero.....	75
Figura 28 – Curvas de tensão versus deformação dos tecidos sem tratamento. ....	78
Figura 29 – Curvas de tensão <i>versus</i> deformação das amostras T com tratamento superficial. ....	80
Figura 30 – Curvas de tensão <i>versus</i> deformação das amostras F com tratamento superficial. ....	81
Figura 31 – Curvas de tensão <i>versus</i> deformação das amostras A com tratamento superficial. ....	82
Figura 32 – Módulo de elasticidade de tecidos planos de juta sem e com tratamentos superficiais: direção do urdume (a); trama (b). ....	84
Figura 33 – Resultado da análise de DRX da matriz cimentícia após 28 dias de cura.....	88
Figura 34 – Curva de tensão <i>versus</i> deformação para corpos-de-prova com fração volumétrica: 1 %, CPAC1-1 (a); 3,5 %, CPAC35-1 (b).....	89
Figura 35 – Curvas de tensão <i>versus</i> deformação: CPAS3 (a); CPAC3 (b). ....	91
Figura 36 – Padrão de fissuras de compósitos após ensaio de tração direta: CPAC3 (a); CPAS3 (b). ....	93
Figura 37 – Micrografias dos corpos-de-prova CPAC3 (a) e CPAS3 (b). ....	94

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais termos identificados no mapa de rede (2017-2021). .....	23
Tabela 2 – Principais termos identificados no mapa de rede para compósitos à base de cimento (2017-2021). .....	29
Tabela 3 – Propriedades de fibras comumente utilizadas para manufatura de têxteis técnicos. ....	34
Tabela 4 – Composição química das principais fibras vegetais usadas na engenharia civil. ...	35
Tabela 5 – Dados dos tecidos planos de juta. ....	68
Tabela 6 – Parâmetros calculados dos tecidos planos. ....	72
Tabela 7 – Especificações dos tecidos planos de juta. ....	72
Tabela 8 – Resultados de resistência à tração de tecidos planos de juta sem tratamento.....	76
Tabela 9 – Ensaio de resistência à tração de tecidos planos de juta com tratamento: H, hornificação; HT, hidrotérmico; C, copolímero. ....	83
Tabela 10 – Ensaio de resistência à tração direta de compósitos cimentícios têxteis.....	91

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	Sociedade Americana para Testes e Materiais
CFRP	Compósito Polimérico Reforçado com Carbono
CPC	Cimento Portland Comum
DRX	Difração de Raio-X
EDS	Espectroscopia de Energia Dispersiva
FRC	Compósito Reforçado com Fibra
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
GFRP	Compósito Polimérico Reforçado com Vidro
HM	Elevado Módulo
HT	Elevada Tenacidade
JFRP	Compósito Polimérico Reforçado com Juta
LABCTEX	Laboratório Físico Têxtil
LABTEC	Laboratório de Tecidos e Malhas
LCME	Laboratório Central de Microscopia Eletrônica
LDRX	Laboratório de Difração de Raios-X
LEM	Laboratório de Ensaio Mecânicos
LFRC	Concreto Leve Reforçado com Fibra
LTE	Laboratório Análises Térmicas e Espectroscopia
LVDT	Transdutor de Deslocamento Variável Linear
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
RC	Reforço de Concreto
TRM	Argamassa Reforçado com Têxtil
UE	União Europeia
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
UV	Radiação Ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS .....	17
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	TÊXTEIS TÉCNICOS.....	18
2.1.1	<b>Têxteis técnicos – breve análise da literatura científica .....</b>	<b>22</b>
2.2	TECNOLOGIA TÊXTIL PARA <i>BUILDTECH</i> .....	27
2.2.1	<b>Compósitos à base de cimento – breve análise da literatura científica.....</b>	<b>27</b>
2.3	FIBRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	32
2.3.1	<b>Fibras naturais de origem vegetal.....</b>	<b>34</b>
2.3.1.1	<i>Fibra de juta .....</i>	38
2.4	TECIDOS PLANOS.....	40
2.4.1	<b>Tela/Tafetá e seus derivados .....</b>	<b>41</b>
2.4.2	<b>Parâmetros e propriedades de tecidos planos .....</b>	<b>43</b>
2.4.3	<b>Modelo geométrico para estrutura de tecidos.....</b>	<b>45</b>
2.4.3.1	<i>Espessura.....</i>	46
2.4.3.2	<i>Fator de cobertura.....</i>	46
2.4.3.3	<i>Gramatura .....</i>	47
2.4.3.4	<i>Volume específico .....</i>	48
2.4.4	<b>Desempenho e aplicações dos tecidos de juta .....</b>	<b>48</b>
2.5	COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS.....	50
2.5.1	<b>Aderência matriz-reforço.....</b>	<b>51</b>
2.5.2	<b>Tratamentos superficiais.....</b>	<b>52</b>

2.5.2.1	<i>Hornificação</i> .....	53
2.5.2.2	<i>Hidrotérmico</i> .....	53
2.5.2.3	<i>Copolímero</i> .....	54
<b>2.5.3</b>	<b>Compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta</b> .....	<b>55</b>
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	56
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>57</b>
3.1	MATERIAIS.....	58
3.2	METODOLOGIA.....	59
<b>3.2.1</b>	<b>Caracterização e análise de parâmetros para tecidos planos</b> .....	<b>59</b>
3.2.1.1	<i>Diâmetro, título de fios e quantidade de fios de urdume e trama</i> .....	59
3.2.1.2	<i>Espessura, fator de cobertura, gramatura e volume específico</i> .....	59
3.2.1.3	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i> .....	60
3.2.1.4	<i>Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)</i> .....	60
<b>3.2.2</b>	<b>Tratamento superficial de tecidos</b> .....	<b>61</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Ensaio de resistência à tração de tecidos planos</b> .....	<b>61</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Matriz cimentícia</b> .....	<b>62</b>
3.2.4.1	<i>Difração de raio-X (DRX)</i> .....	63
<b>3.2.5</b>	<b>Geometria e moldagem dos corpos-de-prova</b> .....	<b>63</b>
<b>3.2.6</b>	<b>Ensaio mecânicos</b> .....	<b>64</b>
3.2.6.1	<i>Resistência à compressão axial</i> .....	64
3.2.6.2	<i>Resistência à tração direta</i> .....	65
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>68</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DE TECIDOS PLANOS DE JUTA .....	68
<b>4.1.1</b>	<b>Especificação dos tecidos planos de juta</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Parâmetros geométricos dos tecidos planos</b> .....	<b>70</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Análise morfológica dos tecidos</b> .....	<b>73</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Análise FTIR</b> .....	<b>74</b>

4.2	COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS TECIDOS DE JUTA .....	76
4.2.1	<b>Resistência à tração de amostras sem tratamento .....</b>	<b>76</b>
4.2.2	<b>Resistência à tração de amostras com tratamento.....</b>	<b>79</b>
4.3	RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS, TRATAMENTOS SUPERFICIAS E COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS TECIDOS PLANOS DE JUTA .....	85
4.4	MATRIZ CIMENTÍCIA .....	87
4.4.1	<b>Análise DRX.....</b>	<b>87</b>
4.5	COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS PLANOS DE JUTA .....	88
4.5.1	<b>Aderência matriz-reforço.....</b>	<b>94</b>
5.	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>95</b>
6.	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>97</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO A – <i>Technical textiles</i> estrutura da análise bibliométrica e cientometria.....</b>	<b>111</b>
	<b>ANEXO B – <i>Cement-based composites</i> estrutura da análise bibliométrica e cientometria.....</b>	<b>112</b>
	<b>ANEXO C - Mapa de visualização de sobreposição das palavras-chave para compósitos à base de cimento entre 2017 e 2021.....</b>	<b>113</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, substratos têxteis como fibras, fios, tecidos planos, malhas e não tecidos têm sido intensamente explorados para utilização em diversas aplicações para a engenharia civil (FANGUEIRO; SOUTINHO, 2011). Isto se deve ao fato que substratos têxteis podem auxiliar no desenvolvimento do comportamento mecânico de material construtivo convencional, como por exemplo, impulsionando a resistência à tração, compressão, flexão, dentre outros (ISLEY, 2002). Normalmente, fibras manufaturadas de elevado desempenho (como aramida, vidro e carbono) são empregadas em compósitos cimentícios em virtude de suas características de alta rigidez e resistência (ROUT et al., 2001).

Entretanto, o aumento das investigações no que se refere à utilização de material têxtil, principalmente, de origem natural, se deve à tendência global focada na preservação do meio ambiente e, assim, no desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que permitem novos materiais com desempenho superior aos análogos convencionais (KABIR et al., 2012). Desta forma, as fibras vegetais têm despertado interesse como alternativa às fibras manufaturadas, como reforço de compósitos a base de cimento convencional (SANTANA et al., 2021; TAN et al., 2017). Ressalta-se que as fibras são matérias-primas fundamentais para a produção de toda a cadeia têxtil. Estudos destacam as propriedades vantajosas de fibras vegetais, entre as quais, linho, juta, cânhamo e sisal, como alto módulo específico, baixa ou nenhuma toxicidade, fácil processamento e sequestro de CO<sub>2</sub> durante o cultivo (ABDELMOULEH et al., 2007; KABIR et al., 2012; TSERKI et al., 2005).

Em virtude da variabilidade de características químicas e morfológicas das fibras vegetais em suas diferentes maneiras de inserção (fibras curtas, fios e superfície têxtil), muito se avalia sobre a interação destas com matrizes cimentícias, fator muito importante para o desempenho resultante do material compósito (SILVA et al., 2020). Assim, pesquisas abordam tratamentos superficiais que possam adequar o material têxtil frente exposição a ambientes alcalinos, como no caso, as matrizes cimentícias (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015).

Por outro lado, outras características devem ser consideradas, em especial, tratando-se de reforços com tecidos planos, muito aplicados em soluções de construção. Deve-se ter em mente as propriedades intrínsecas à estrutura do tecido, como quantidade de fios por unidade de comprimento, título do fio utilizado, raporte, gramatura, fator de cobertura, dentre outros, que

irão determinar as suas propriedades e aplicabilidade (BEHERA; HARI, 2010; BÉRUBÉ; SAUNIER, 2016; ELMOGAHZY, 2020; RAWAL; SHAH; ANAND, 2010).

Neste sentido, o presente trabalho visa estudar a influência de parâmetros estruturais de tecidos planos de juta, bem como os tratamentos superficiais sobre o substrato têxtil, para ser aplicado como reforço de matrizes cimentícias. Desta forma, propõe-se a investigação das características dos tecidos de juta e o seu comportamento mecânico, no intuito de obter respostas sobre o reforço mais adequado para os materiais usados na área de construção. Além disso, as propriedades da interação entre matriz-reforço, bem como, avaliação mecânica dos compósitos cimentícios produzidos serão explorados.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a influência de parâmetros estruturais de tecidos planos de juta e os tratamentos superficiais adequados para o emprego do material têxtil como reforço de matrizes cimentícias.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar as diferentes padronagens de tecidos planos de juta e seus parâmetros estruturais;
- b) Avaliar o comportamento mecânico do substrato têxtil sem tratamento e após o tratamento superficial por hornificação, hidrotérmico e impregnação de copolímero;
- c) Dentre as opções disponíveis, determinar a mais adequada para ser empregada como material de reforço de matrizes cimentícias;
- d) Produzir compósitos cimentícios e analisar o comportamento mecânico, com base na estrutura têxtil com melhor desempenho, de acordo com o estudo sobre as propriedades mecânicas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo é dedicado ao estado da arte sobre o tema abordado nesta dissertação de mestrado. No primeiro momento, serão apresentados conteúdos referentes aos têxteis técnicos, com uma breve análise bibliográfica e cientométrica, no intuito de avaliar os substratos têxteis e investigações recentes sobre o assunto. Posteriormente, faz-se a definição de tecidos planos, destacando suas principais contribuições na constituição de tecnologias para o setor da construção civil. Além disso, considera-se as fibras têxteis, principalmente as de origem vegetal, e conceitos relativos aos tecidos planos, como a influência de parâmetros referentes à construção de raportes e o desempenho de substratos a base de juta aplicados como reforço em materiais compósitos utilizados na engenharia civil. Por fim, relatam-se matrizes cimentícias e a tecnologia têxtil empregada no desenvolvimento de reforços para estes materiais.

### 2.1 TÊXTEIS TÉCNICOS

Têxtil técnico, como mencionado por Matthews (2018), é o termo frequentemente utilizado para têxteis com características e fins de produtos técnicos, com funções preventivas ou auxiliares em bens de consumo e utilitários, bem como na produção de bens e serviços (têxteis industriais). De outro ponto de vista, McCarthy (2016) cita amplamente o campo de aplicações em diversas áreas que estendem o entendimento sobre têxtil técnico, assumindo os têxteis industriais (*indutech*) apenas como um subgrupo e não como um sinônimo. O mesmo autor usou a definição adotada pelo Textile Institute, definindo que têxteis técnicos são materiais e produtos têxteis fabricados, principalmente, tendo em vista suas propriedades técnicas e de desempenho, e não por suas características estéticas ou decorativas. Assim, os têxteis técnicos são atribuídos aos produtos com funcionalidades específicas.

Para uma aplicação singular, o elevado desempenho proporcionado pelos têxteis técnicos requer requisitos específicos de materiais que visam atender a certas propriedades (REVAIAH; KOTRESH; KANDASUBRAMANIAN, 2020). A literatura científica apresenta uma grande variedade de novas oportunidades oferecidas pelos têxteis técnicos. As possibilidades podem proporcionar atributos de inovação para materiais alternativos, como

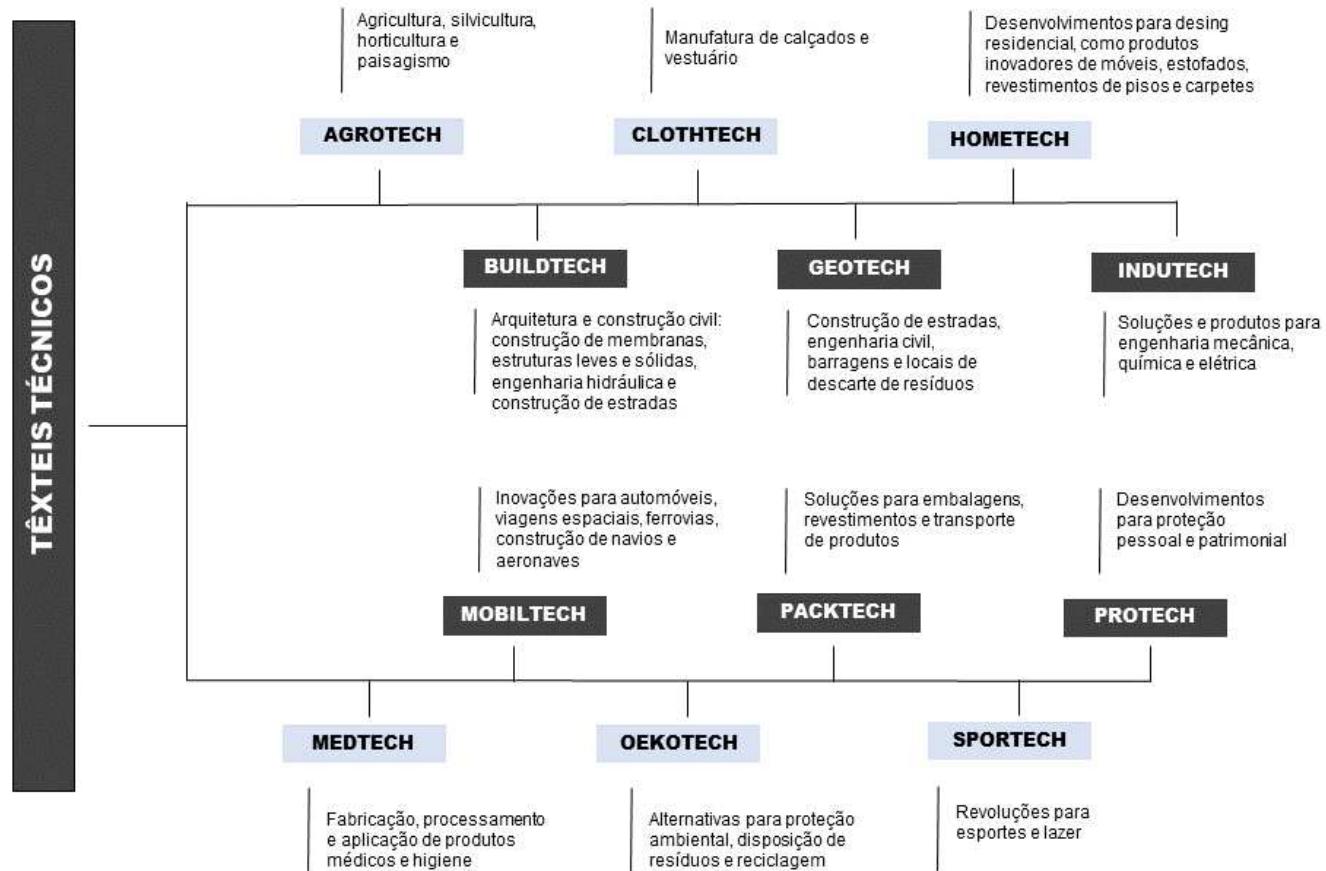
concreto leve reforçado com fibras (LFRC) de aço (ALI et al., 2017); avanços das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos reforçados com fibra (FRC) natural (AZIMPOUR-SHISHEVAN; AKBULUT; MOHTADI-BONAB, 2020; NAGAMADHU; JEYARAJ; MOHAN KUMAR, 2020); ou ainda, tecidos de sisal aplicados como reforço de material polimérico (RAJESH; PITCHAIMANI, 2016). Ademais, podem promover soluções tecnológicas para proteção em aplicações militares, como têxteis inteligentes, oportunizando novos desenvolvimentos que proporcionem conforto térmico, resistência mecânica, química e biológica, camuflagem ou mesmo, monitoramento de soldados em campos de batalha (STEFFENS et al., 2019). Além disso, em crises médicas como a causada pela pandemia de COVID-19, os têxteis técnicos recebem atenção e responsabilidade consideradas. Como medidas de precaução governamentais para diminuir a transmissão, máscaras faciais e equipamentos de proteção individual (CELINA et al., 2020) são itens importantes para reduzir significativamente as chances de contaminação (FADARE; OKOFFO, 2020). Além de aplicações biomédicas, na situação atual, os têxteis também podem ser materiais funcionais em potencial para aplicações utilizadas na proteção ambiental (ZAFAR et al., 2016). Pesquisas recentes mostram uma probabilidade positiva de produção de compósitos fabricados com nanofibras utilizadas em membranas de nanofiltração para separação de compostos orgânicos, tratamento de efluentes de tingimento e dessalinização das águas (LI et al., 2019).

Para o mercado global de têxteis técnicos são comumente usadas doze categorias de produtos para classificar as possibilidades de novos desenvolvimentos técnicos e aplicações, conforme mostrado na Figura 1. A definição dos principais setores foi definida na exposição internacional de têxteis técnicos, tecidos de vestuário funcionais e não tecidos, TechTextil® (2019), evento bienal que ocorre na Alemanha.

As contribuições e capacidades de desenvolvimento de novos produtos e processos têxteis são notáveis para atender diversas aplicações para o mercado global. As indústrias têxteis têm impactos importantes nos polos onde se concentram. Segundo a Organização Mundial do Comércio – World Trade Organization - WTO (2018), considerando têxteis e vestuário no ranking global de ações de importadores e exportadores, a União Europeia (UE) ocupa a primeira e segunda posição, respectivamente. Além disso, na produção têxtil, conforme dados da EURATEX (2020), três subsetores são os principais contribuintes para tal posicionamento da EU: em primeiro lugar, vestuário e acessórios convencionais (41 %),

seguido de tecidos (17 %) e têxteis industriais e técnicos (16%). A expectativa é atingir € 1,5 bilhões no mercado de têxteis inteligentes na EU, onde as alternativas de inovação e inserção de eletrônicos em produtos têxteis são prospectadas para a área de construção civil, aeroespacial, energia, proteção pessoal e ambiental, dentre outras.

Figura 1 – Setores e aplicações de têxteis técnicos.



Fonte: O autor (2022).

### 2.1.1 Têxteis técnicos – breve análise da literatura científica

Novas investigações têm recebido atenção considerável nos últimos anos. Para tanto, de forma a explorar as possibilidades advindas da tecnologia de têxteis técnicos, foi realizada análise bibliométrica para identificar a relação de registros publicados sobre o tema. De acordo com Zhang et al. (2020) e Zhao et al. (2018), a análise bibliométrica na busca da literatura científica pode ser realizada por meio de palavras-chave, sendo uma ferramenta eficaz para avaliar e prognosticar as tendências de pesquisa. Para tanto, adaptado da metodologia empregada por Chen et al. (2019), buscou-se uma breve pesquisa bibliométrica sobre têxteis técnicos na base de dados Scopus, no período de publicações entre 2017 e 2021, conforme os filtros descritos a seguir:

**TITLE-ABS-KEY** ("TECHNICAL TEXTILES" OR "TECHNICAL TEXTILE")  
 AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR LIMIT-  
 TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-  
 TO (PUBYEAR, 2017))  
 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))  
 AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))

Os critérios da metodologia e fluxograma para análise bibliométrica podem ser visualizados no Anexo A. Os dados das publicações obtidos foram obtidos através do *software* VOSviewer (versão 1.6.16), ferramenta de *text-mining* empregada para cienciométrica e, portanto, visualização de redes bibliométricas (JIN; YUAN; CHEN, 2019). O *software* permite a construção de mapas por ocorrências de palavras-chave (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Desta forma, o estudo buscou examinar detalhes dos termos sobre áreas e propriedades dos têxteis técnicos mencionados nos resultados bibliográficos da plataforma Scopus.

No total foram obtidos 206 documentos, publicados com conteúdo científico sobre têxteis técnicos entre o período de 2017 e 2021. Como já citado, essa classe de materiais têxteis é produzida no intuito de atender funcionalidades específicas de acordo com as áreas de aplicação. Para entender e visualizar as tendências de pesquisa, um mapa científico (Figura 2) foi construído utilizando o VOSviewer, por meio da alta frequência de coocorrência de palavras-chave contidas na busca bibliográfica. Importante mencionar que sinônimos e outros

termos similares entre si, como por exemplo, *coated fabrics*, *coatings* e *coating*, foram agrupados para facilitar o entendimento dos dados.

A partir da Figura 2, é possível visualizar a rede de termos que envolvem investigações sobre têxteis técnicos. As palavras-chave foram divididas em 5 *clusters*, onde cada um é identificado por diferentes cores no mapa e o tamanho de cada nó (círculos), representa a frequência das palavras-chave (ZHANG et al., 2020). Os principais termos visualizados no mapa encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Principais termos identificados no mapa de rede (2017-2021).

<b>Cluster</b>	<b>Palavra-chave</b>	<b>Ocorrência</b>	<b>Força de ligação</b>
1	<i>Technical textiles</i>	117	306
	<i>Fibers</i>	26	92
	<i>Knit fabrics</i>	14	40
	<i>Air permeability</i>	7	25
2	<i>Man-made fibers</i>	22	95
	<i>Tensile strength</i>	17	57
	<i>Coatings</i>	13	64
	<i>Durability</i>	8	28
3	<i>Textile</i>	70	181
	<i>Textile industry</i>	25	90
	<i>Textile finishing</i>	9	33
	<i>Protective clothing</i>	8	33
4	<i>Fabrics</i>	36	146
	<i>Weaving</i>	35	134
5	<i>Natural fibers</i>	38	148
	<i>Yarn</i>	19	78

Fonte: O autor (2022).

No *cluster* 2 (verde) da Figura 2 observa-se 9 itens, dentre os quais, as pesquisas concentram-se no termo de referência, *technical textiles*, com o maior número de ocorrências (117), como também, a maior força de ligação (306). Ainda no mesmo agrupamento, outros termos relevantes foram: *fibers*, *knit fabrics* e *air permeability*. Ou seja, os estudos são voltados para a matéria-prima, base da indústria têxtil, bem como a estrutura e propriedade mais exploradas. Por outro lado, o *cluster* 1, em vermelho, contém 10 itens, onde as palavras-chave mais expressivas são *man-made fibers*, seus impactos ambientais (*environmental impact*) e

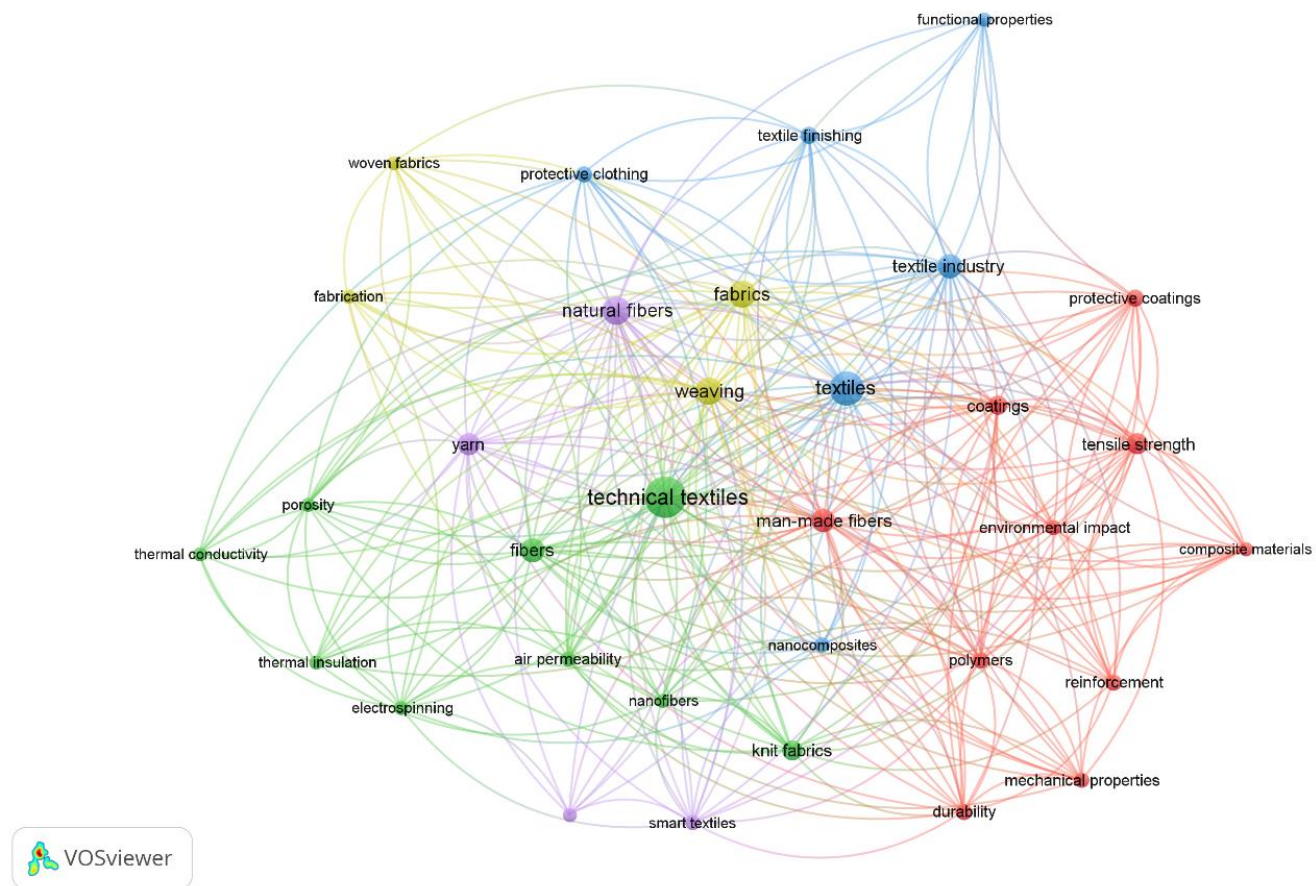


aplicação de polímeros (*polymers*) como reforço (*reinforcement*) de materiais compósitos (*composite materials*). Além disso, apresentam investigações centradas em propriedades mecânicas (*mechanical properties*), principalmente, resistência à tração (*tensile strength*) e durabilidade (*durability*), assim como, análise de revestimentos/camadas de material destinados para produtos de proteção (*protective coatings*). Para o *cluster* 3 (azul), encontram-se palavras-chave relacionadas a indústria têxtil em geral, onde ressalta-se o termo *protective clothing*, que novamente revela-se como tendência de estudos. Por fim, nos *clusters* 4 (amarelo) e 5 (roxo), tem-se os nós com menor quantidade de itens, que se relacionam com tecnologias que englobam os substratos têxteis, como fios (*yarn*) e tecidos planos (*woven*).

A Figura 3 apresenta a sobreposição da rede de termos, contribuindo para a compreensão das tendências de pesquisas sobre têxteis técnicos em determinado intervalo de tempo. As palavras-chave mais próximas da escala roxa representam os itens mais antigos para o período avaliado entre 2017 a 2021. Por outro lado, aquelas que se aproximam da cor amarela, são as maiores novidades recém relatadas em publicações. Deste modo, entende-se que a maioria das recentes investigações focam no desenvolvimento de propriedades térmicas de materiais têxteis (*thermal conductivity*, *thermal insulation* e *air permeability*), tecnologias de beneficiamento (*textile finishing*) e materiais compósitos (*composite materials*), especificamente este último relativo ao tema do presente estudo.

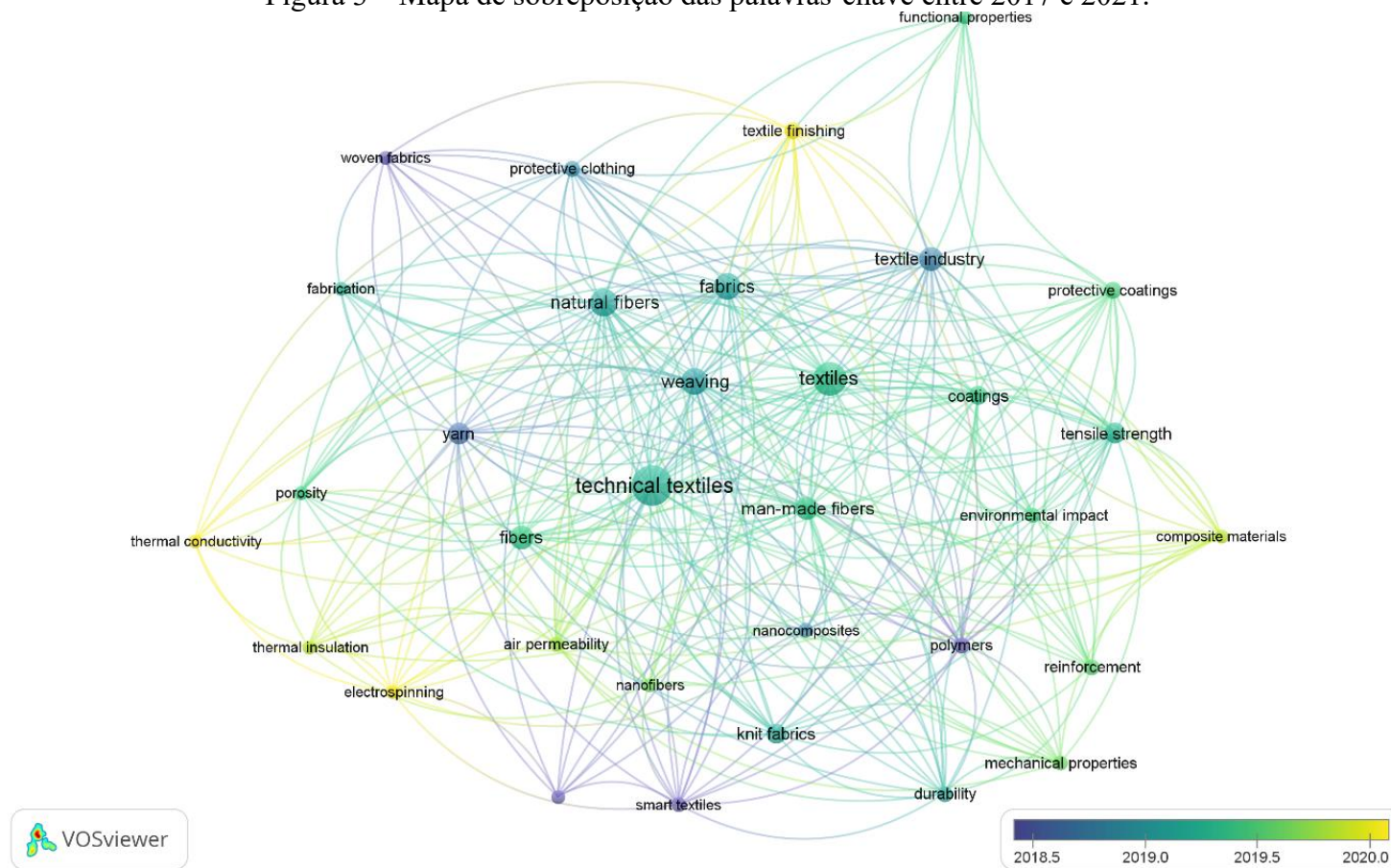
A partir dos mapas de visualização, observa-se a relevância dos materiais têxteis, especificamente dos têxteis técnicos, e suas propriedades, utilizados nas mais diversas áreas. Esta dissertação irá concentrar-se na revisão da literatura sobre substratos têxteis, propriedades e aplicações especificamente como reforço de materiais compósitos cimentícios, portanto, destinados à categoria *buildtech* de têxteis técnicos.

Figura 2 – Mapa de coocorrência de palavras-chave para têxteis técnicos (2017-2021).



Fonte: VOSviewer (versão 1.6.16).

Figura 3 – Mapa de sobreposição das palavras-chave entre 2017 e 2021.



Fonte: VOSviewer (versão 1.6.16).

## 2.2 TECNOLOGIA TÊXTIL PARA *BUILDTECH*

Desde os primórdios da civilização, os nômades se utilizavam da pele de animais e tecidos leves para a construção de estruturas fáceis de transportar e que funcionassem como abrigo frente a intempéries (TABOR; GHOSH, 2019). Com o passar do tempo, os povos deixaram de ser itinerantes e iniciaram o processo de estabelecimento permanente. Assim, a concepção de edificações necessitava ser aprimorada, no intuito de produzir espaços resistentes e, portanto, duráveis (TABOR; GHOSH, 2019). Por volta de 1500 a.C., as civilizações egípcias e mesopotâmicas utilizavam lama reforçada com fibras de palha para aplicação em edifícios para proporcionar melhor desempenho mecânico (QUAZI et al., 2012). Ou seja, verifica-se já em épocas remotas, a aplicação do conceito de compósitos.

Recentemente, o emprego de substratos têxteis tem ganhado cada vez mais destaque no campo de pesquisa para o desenvolvimento de materiais compósitos aplicados da construção civil (RAMZAN et al., 2020). É conveniente salientar que tal atenção baseia-se nas infinitas possibilidades que a junção entre têxteis e outros materiais podem proporcionar para solucionar problemas e atender novos limites de desempenho de produtos para diferentes áreas.

Ao referir-se a tal assunto, McCarthy (2016) comenta que os substratos têxteis, em suas mais distintas apresentações (fibras, fios, filamentos ou superfície têxtil), contribuem de forma significativa para a inovação e desenvolvimento de produtos técnicos, oferecendo oportunidades singulares de materiais alternativos, como: leveza, flexibilidade, maciez, multifuncionalidade, durabilidade, economia, de fácil usabilidade para sistemas de tecnologia e por fim, ambientalmente sustentáveis. E isto pode ser também verificado na substituição de materiais convencionais, como aço e cimento.

### 2.2.1 Compósitos à base de cimento – breve análise da literatura científica

A fim de verificar os recentes estudos que possam relacionar materiais de construção com tecnologias têxteis, realizou-se uma nova análise bibliométrica centrada em produtos de base cimentícia (*cement-based composites*). A mesma consistiu na busca de termos mencionadas na literatura científica entre 2017 a 2021, na base de dados Scopus. Os critérios

de busca aplicados podem ser visualizados a seguir, bem como, o fluxograma da análise no Anexo B.

**TITLE-ABS-KEY** ("CEMENT-BASED COMPOSITE" OR "CEMENT-BASED COMPOSITES") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2020) OR (LIMIT-TO (PUBYEAR, 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR, 2017)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))

Através da base científica utilizada foram obtidos 691 documentos que abordam o termo investigado. É conveniente comentar que a escolha por *cement-based composites* deve-se ao fato que estes materiais são manufaturados no intuito de agregar propriedades entre cimento e diferentes insumos. Desta forma, impulsiona a performance do produto final, bem como amplia a empregabilidade como material de engenharia estrutural do setor civil (SHI et al., 2019).

A partir dos dados obtidos e com o auxílio do *software* VOSviewer, tem-se o mapa científico resultante (Figura 4), no qual, consta a coocorrência de 142 palavras relevantes e relacionadas ao termo *cement-based composites*. Assim, como a cientometria anterior (item 2.1.1), palavras-chave semelhantes e/ou sinônimos foram reagrupadas para aprimorar a análise. Os itens mais notáveis de cada agrupamento são destacados na Tabela 2.

O *cluster* 1, em vermelho, é o agrupamento que possui a maior quantidade de termos, 41, os quais relacionam-se principalmente a palavra reforço (*reinforcement*), com maior número de ocorrências (177) e forte força de ligação (1026). Além disso, propriedades mecânicas possuem considerável destaque como *tensile strength* e *strain-hardening*. Bem como fibras (*fibers*) amplamente empregadas como material de reforço em matrizes cimentícias e produtos relacionados ao concreto (*concrete*). O *cluster* 2, em verde, aborda termos relacionados à indústria cimentícia (*cement industry*) e agregados (*aggregates*), como também, grande ocorrência da palavra *composites* (114), com força de ligação de 822. Por outro lado, enfatiza termos atribuídos às propriedades de materiais de construção (*thermal conductivity* e *strength of materials*). É interessante observar que apesar de não ter sido um dos termos dentre os principais, o *cluster* 2 apresentou palavras designadas para o desenvolvimento sustentável

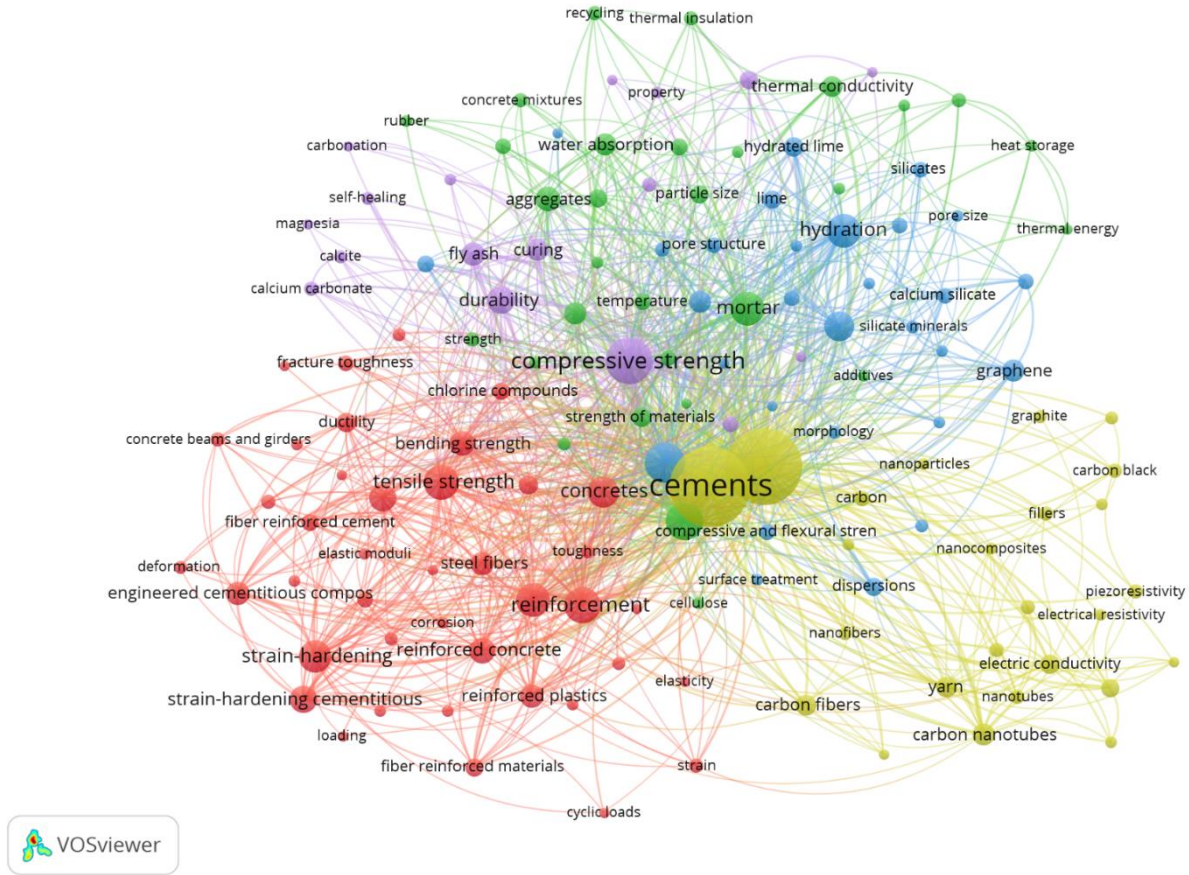
(*recycling e sustainable development*). Entende-se que indústria cimenteira é responsável por níveis consideráveis de poluição como citado por Mishra e colaboradores (2022). Portanto, um dos principais objetivos do setor é justamente reduzir o consumo de energia, minimizar os impactos da produção de clínquer e cimento convencional, como também, controlar as emissões de CO<sub>2</sub>.

Tabela 2 – Principais termos identificados no mapa de rede para compósitos à base de cimento (2017-2021).

<i>Cluster</i>	<i>Palavra-chave</i>	<i>Ocorrência</i>	<i>Força de ligação</i>
1	<i>Reinforcement</i>	177	1026
	<i>Tensile strength</i>	98	797
	<i>Fibers</i>	90	704
	<i>Strain-hardening</i>	82	390
	<i>Concretes</i>	76	515
2	<i>Composites</i>	114	822
	<i>Aggregates</i>	48	333
	<i>Cement industry</i>	41	356
	<i>Thermal conductivity</i>	36	282
	<i>Strength of materials</i>	32	274
3	<i>Mechanical properties</i>	122	1026
	<i>Hydration</i>	93	752
	<i>Microstructure</i>	71	529
	<i>Silica</i>	40	310
	<i>Graphene</i>	41	308
4	<i>Cement</i>	519	3610
	<i>Cement-based composites</i>	467	3157
	<i>Yarn</i>	37	330
	<i>Carbon nanotubes</i>	41	324
	<i>Electric conductivity</i>	32	274
5	<i>Compressive strength</i>	177	1414
	<i>Durability</i>	59	410
	<i>Fly ash</i>	46	384
	<i>Curing</i>	41	312
	<i>Slags</i>	29	234

Fonte: O autor (2022).

Figura 4 - Mapa de coocorrência de palavras-chave para compostos à base de cimento (2017-2021).

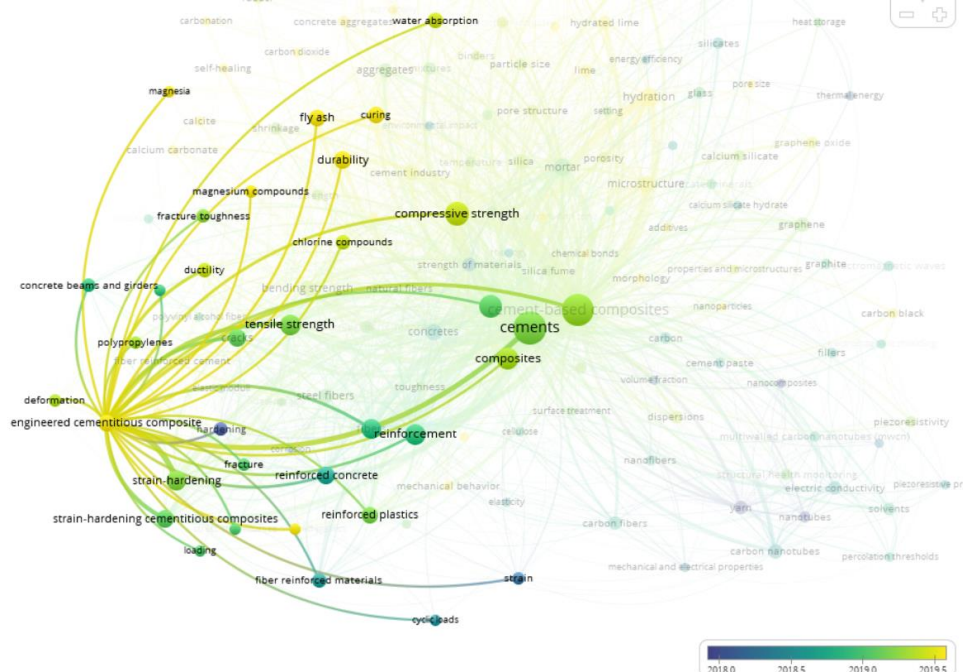


Fonte: VOSviewer (versão 1.6.18).

O *cluster 3*, em azul, mostra novamente relação forte de palavras relacionadas às propriedades mecânicas, bem como, foco na microestrutura de materiais cimentícios, por meio de insumos para a produção desses materiais e pesquisas voltadas para o processo de hidratação de matrizes. O *cluster 4* (amarelo), traz palavras-chave relacionadas com o projeto em questão, principalmente, *cement-based composites* com 467 coocorrências e força de ligação de 3157, a mais forte entre todos os termos até aqui mencionados. Além disso, nota-se a presença de *yarn* (fios), importante estrutura têxtil vastamente investigada para o desenvolvimento de compósitos cimentícios. Por último, o *cluster 5* é o agrupamento centrado em materiais precursores alternativos (*fly ash* e *slags*), como também, traz relações com resistência à compressão e durabilidade de materiais à base de cimento.

Ainda na mesma linha de considerações é interessante verificar no mapa de visualização de sobreposição de palavras-chave (Anexo C), dentre os termos investigados recentemente (cores próximas ao amarelo), *engineered cementitious composites* tem sido foco das publicações dos últimos anos. Seguido de uma série de ligações com propriedades mecânicas e materiais têxteis, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Mapa de sobreposição de palavras-chave do *cluster 1* (2017-2021).



Fonte: VOSviewer (versão 1.6.18).



Por fim, observa-se que mesmo com a indústria têxtil unindo-se com a construção civil para a concepção de novos materiais estruturais, pouco é relatado sobre os diferentes padrões de tecidos planos, malhas e não tecidos e a influência de parâmetros estruturais neste segmento. Mesmo que as estruturas possuam propriedades promissoras para a tecnologia de compósitos cimentícios, ainda são brevemente citadas em publicações científicas e assim, observa-se como um nicho a ser explorado.

### 2.3 FIBRAS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL

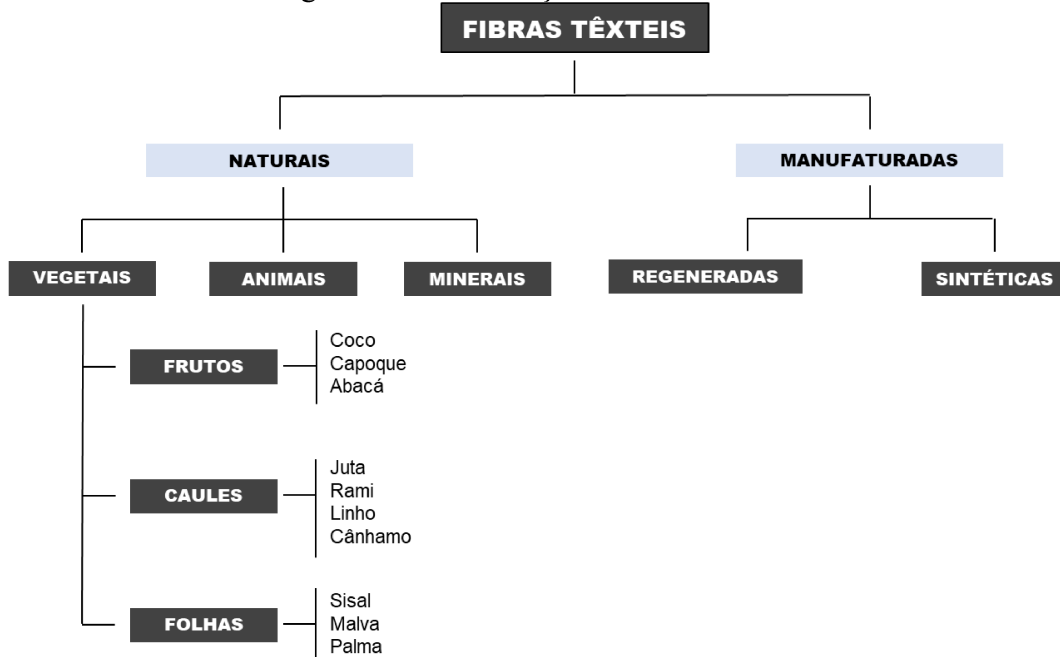
Fibras têxteis são caracterizadas por sua flexibilidade, finura e elevada relação entre comprimento e espessura (DENTON; DANIELS, 2002). O material é constituído de moléculas longas, semelhantes às cadeias denominadas de macromoléculas ou polímeros, advindos de natureza orgânica ou inorgânica (DE ARAÚJO, 2011). As moléculas têm capacidade de compactar-se entre si, originando regiões parcialmente cristalinas orientadas e lineares (HEARLE, 2009). A proporção entre regiões cristalinas e amorfas é fator determinante para as propriedades resultantes do material (DE ARAÚJO, 2011).

Originárias de fontes distintas, as fibras são classificadas em dois principais grupos: naturais e manufaturas, como pode ser observado na Figura 6 (SINCLAIR, 2015). As fibras naturais são utilizadas desde a origem da humanidade, visto que são oriundas de fontes renováveis e facilmente encontradas em suas formas usuais no meio ambiente (YU, 2015). Dentre as quais, são subdivididas em três categorias: fibras vegetais ou celulósicas, obtidas por meio de fruto/semente, caule ou folha; fibras animais ou proteicas, provenientes de secreções (seda) e pelos (lã); minerais (asbestos), conforme citado por Sinclair (2015) e Sabir (2018).

As fibras manufaturadas (orgânicas: viscose, poliéster, poliamida, polipropileno; e inorgânicas: carbono, vidro, metálica, dentre outras) são os principais insumos utilizados na manufatura de têxteis aplicados na construção civil (RAWAL; SHAH; ANAND, 2010). Entretanto, as fibras naturais têm ganhado destaque frente a novas investigações e buscas por materiais alternativos para estas aplicações (ADIGOPULA et al., 2019; EVANGELINE; SAYIDA; GIRISH, 2021). Isto se deve ao fato que a matéria-prima vegetal e animal, além da característica biodegradável, renovável, baixo custo de produção, baixo consumo de energia e, sobretudo, vasta disponibilidade na natureza, oferece diversas propriedades atrativas, como por

exemplo, elevado módulo de elasticidade e resistência à tração (DE ARAÚJO, 2011; METHACANON et al., 2010; MILITKÝ; MISHRA; VENKATARAMAN, 2019). A Tabela 3 mostra algumas propriedades de fibras naturais e manufaturadas, tipicamente empregadas para a produção de têxteis técnicos.

Figura 6 – Classificação de fibras têxteis.



Fonte: Adaptado de DESAI e KANT (2016).

Não se pode negar que as propriedades das fibras manufaturadas são elevadas (descritas na Tabela 3). Além disso, estas fibras apresentam versatilidade de utilização, baixo custo e assim, justificam o domínio da produção de têxteis aplicados à engenharia civil, sendo de 90 % do mercado global (DESAI; KANT, 2016). Contudo, estima-se que cerca de 50 % das possibilidades de usabilidade de têxteis empregados na construção civil podem substituir materiais sintéticos por fibras naturais e biopolímeros (WIEWEL; LAMOREE, 2016).

As maiores dificuldades relatadas para a utilização de fibras manufaturadas em têxteis usados na engenharia civil são os impactos ambientais após sua vida útil. Polímeros sintéticos, apesar de não serem degradáveis, desintegram-se por diferentes mecanismos químicos e físicos, principalmente, por ação de condições ambientais, como vento, umidade, radiação ultravioleta (UV) e fricção, levando ao acúmulo de microplásticos no solo e nas águas (CARNEIRO; MIRANDA CARLOS; DE LURDES LOPES, 2021; PRAMBAUER et al., 2019). Mais ainda,

no intuito de refrear o processo de degradação, determinados aditivos e outros auxiliares, como por exemplo, negro de fumo, são empregados para solucionar problemas de têxteis expostos à radiação UV. Entretanto, após certo período de tempo, ocorre a lixiviação do tratamento, resultando no acúmulo no local de aplicação e conseqüentemente, gerando impactos ambientais (PRAMBAUER et al., 2019; WIEWEL; LAMOREE, 2016). Desta forma, principalmente para vida útil de curto de prazo, as fibras naturais tornam-se o material alternativo renovável e sustentável, de grande disponibilidade para comutar as fibras manufaturadas (FARUK et al., 2012; RAMZAN et al., 2020).

Tabela 3 – Propriedades de fibras comumente utilizadas para manufatura de têxteis técnicos.

Fibra	Tenacidade (N/tex)	Resistência à tração (GPa)	Alongamento à ruptura (%)	Módulo de Young (N/tex)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Linho	0,54	0,83	3	18	1,54
Cânhamo	0,47	0,71	2,2	21,7	1,5
Juta	0,31	0,47	1,8	17,2	1,41 - 1,5
Rami	0,59	0,88	3,7	14,6	1,5
Nylon 6,6 (HT)	0,66	0,75	16	4,4	1,5
Poliéster (HT)	0,56	0,78	7	13,2	1,14
Polipropileno	0,65	0,59	17	7,1	1,39
Para-aramida (HM)	2	2,88	2,4	80	0,91
Carbono (HM)	1,2	2,19	0,7 - 1,7	256	1,83
E-glass (vidro)	0,78	2	4	28	2,58
Aço	-	0,34 - 2,1	-	-	7,8

Fonte: Adaptado de ARAÚJO (2011)<sup>1</sup>.

### 2.3.1 Fibras naturais de origem vegetal

Ainda que se tenha grande variedade de fibras que possam ser utilizadas como material precursor para a produção de diferentes tipos de têxteis, Desai e Kant (2016) afirmam que dentre as fibras naturais, as de origem vegetal, possuem propriedades mais adequadas para serem empregadas na constituição de têxteis para a construção civil, tanto por atender a requisitos técnicos, quanto econômicos. Vale notar algumas propriedades de fibras vegetais que se destacam, como elevada resistência e densidade, boa condução de calor e absorção de água

<sup>1</sup> Nota: HT, elevada tenacidade (*high tenacity*); HM, elevado módulo (*high modulus*); Tex, massa (g) em 1000 (m) de fibra ou fio.

(PICKERING; EFENDY; LE, 2016). Desta forma, fibras vegetais são matérias-primas promissoras na constituição de materiais de construção (SABIR, 2018).

Tipicamente, podem-se citar algumas fibras vegetais: juta, cânhamo, rami, bambu e linho, como fibras provenientes de caule; sisal, rafia e abacá, originárias de folha; algodão, capoque e coco, fibras provenientes de fruta e/ou semente (MATHER; WARDMAN, 2015). É oportuno comentar que fibras vegetais têm como constituinte fundamental a celulose, combinada com lignina, hemicelulose, pectina, cera e outros componentes químicos, que variam de acordo com a espécie da planta, (BENALLEL et al., 2021; VENKATARAJAN et al., 2021). A Tabela 4 demonstra a composição química das principais fibras vegetais de caule e folha, utilizadas na manufatura de soluções têxteis para a construção civil.

Tabela 4 – Composição química das principais fibras vegetais usadas na engenharia civil.

Fibra	Origem	Celulose (%)	Lignina (%)	Hemicelulose (%)	Pectina (%)	Cera (%)
Juta	Caule	59 - 70	11 - 15	15 - 20	0,2	0,5
Linho	Caule	64,1 - 71,9	2 - 2,2	16 - 18	1,8 - 2,3	1,7
Kenaf	Caule	51 - 52	17	20,3 - 21,5	0,6	0,8
Cânhamo	Caule	68 - 74,4	3,7 - 10	15 - 22,4	0,9	0,8
Rami	Caule	70 - 83	5 - 12,7	-	10	-
Sisal	Folha	65 - 75	7 - 13	10 - 15	-	2
Coco	Fruta	37	42	-	-	-

Fonte: Adaptado de RAMESH (2018) e SATHISHKUMAR et al. (2013).

Por conseguinte, as características e propriedades (químicas, físicas e hidráulicas) das fibras vegetais estão intrinsecamente relacionadas à estrutura do polímero celulósico e as ligações de hidrogênio que conectam as cadeias poliméricas (DESAI; KANT, 2016). Sreenivasa Murthy (2018) assinala que diferentemente das fibras manufaturadas, as fibras vegetais não têm total controle de produção pelo homem, em vista da própria variabilidade da natureza (clima, local etc.), o que impacta a qualidade e quantidade do material a ser produzido. Portanto, flutuações na morfologia das fibras são desvantagens representativas ao material de origem natural (SREENIVASA MURTHY, 2018).

Dadas algumas das dificuldades expostas, é prenunciado que tanto a produção, quanto as investigações envolvendo fibras naturais vegetais aplicados à construção civil apresentem inevitável resistência. Entretanto, no intuito de solucionar problemas relacionados à utilização de fibras sintéticas, bem como propor estratégias inovadoras para o desenvolvimento e melhora

de propriedades das fibras naturais, tornou-se uma tendência o estudo sobre a matéria-prima sustentável (CARVALHO; FANGUEIRO; NEVES, 2014; JINIRAJ; JAYASREE; ANUSHA, 2022).

O trabalho de Ruano et al. (2020) investigou os efeitos no comportamento à flexão de fibras de cânhamo e bagaço de cana-de-açúcar empregadas como reforço de matrizes cimentícias. No intuito de avaliar a interação fibra-matriz e a contribuição do material fibroso para o compósito, ensaios de arrancamento foram realizados. Os resultados obtidos demonstraram que para as fibras de bagaço, cerca de 1/3 das amostras apresentaram elevado número de ruptura, conseqüentemente, impulsionando os níveis de resistência à flexão dos compósitos. Por outro lado, as fibras de cânhamo foram totalmente arrancadas, promovendo redução da resistência. Em decorrência, proporcionaram o aumento da tenacidade dos corpos-de-prova, ou seja, permitiram que o material suportasse carga em uma faixa mais ampla de deslocamento. Sobretudo, os autores afirmam que os testes de tração das fibras são ferramentas promissoras para análise e prenúncio do comportamento mecânico dos compósitos.

Teixeira et al. (2019) avaliaram a influência do teor e comprimento de fibras de curauá no comportamento mecânico de compósitos cimentícios, a partir de análise de variância (ANOVA) de amostras de referência sem e com reforço, 1 % e 2 % de teor de matéria-prima fibrosa (6 e 10 mm de comprimento). Os autores obtiveram melhores resultados mecânicos (módulo de ruptura, energia de fratura e propagação relativa de trincas) para corpos-de-prova em idades avançadas de cura (200 ciclos de envelhecimento), contendo 2 % de fibras com 10 mm de comprimento.

Shirazi et al. (2019) avaliaram a resistência à tração de tecidos planos de kenaf tratados superficialmente com hidróxido de sódio (NaOH), em quatro distintas padronagens. No caso, o tratamento superficial foi utilizado para remover as ligações de hidrogênio da superfície fibrosa, entendendo que a redução da interação intermolecular na estrutura de rede celulósica contribui para o aumento da área superficial da fibra (RAMESH, 2016). Desta forma, a celulose exposta na superfície da fibra propicia melhora na adesão química entre fibra-matriz e, assim, otimiza a performance mecânica do substrato fibroso (LI; TABIL; PANIGRAHI, 2007). Ainda sobre os estudos de Shirazi et al. (2019), tecidos de maior fator de cobertura (menor espaçamento entre fios), tratado com 6 % de solução alcalina de NaOH, obtiveram cerca de 51 % e 45,5 % de aumento da resistência à tração em condições secas e úmidas, respectivamente.

Ainda nesta mesma linha de considerações, destacam-se os estudos sobre fibras de juta empregadas na constituição de materiais para a construção civil. Saha et al. (2010) investigaram fibras de juta tratadas em solução de NaOH, no intuito de avaliar as influências do tratamento na resistência à tração uniaxial das fibras lignocelulósicas. Desta forma, observaram que a imersão de 30 minutos em solução alcalina a 0,5 %, seguido por 30 minutos de tratamento sob vapor, também alcalino, resultou no aumento da resistência mecânica em 65 %. Assim, atribuindo a remoção de materiais não celulósicos da superfície fibrosa como fator positivo para acréscimo da cristalinidade e, portanto, melhora no desempenho mecânico da fibra.

Sadiq, Bzeni e Shaikh (2015) avaliaram os efeitos de distintas frações volumétricas (2 %, 4 %, 6 % e 8 %) de fios de juta e agregado fino leve, como substituição parcial de agregado fino natural, no endurecimento por deflexão de compósitos cimentícios sob carregamento de flexão.

Ghosh et al. (2021) estudaram o desempenho de tecido de juta combinado com polipropileno, para reforço de solos para subleito de estradas de baixo volume, avaliando também a biodegradabilidade do material em período prolongado de tempo. Os dados obtidos demonstraram que a blenda (77 % constituída de juta) manteve 81 % e 67 % da resistência à tração inicial na direção do urdume e da trama do tecido, respectivamente, mesmo após 15 meses de inserção do reforço no solo. Ao final, foi concluído que a blenda avaliada é um substituto promissor de baixo custo e ecologicamente adequado para a substituição de reforços 100 % sintéticos. Ressalta-se as contribuições de Patra e Bera (2021), Venkatesh e Thygaraj (2021), que diz respeito ao desenvolvimento de reforços para estradas de baixo volume, a partir de tecidos de juta. Ambos os estudos destacaram os resultados positivos para a melhoria da capacidade do suporte de carga, atenção ao volume de reforço, profundidade de aplicação e durabilidade do material.

Até esta seção foram citados conteúdos referentes às fibras vegetais empregadas na construção civil. Neste sentido, as próximas seções apresentam informações relativas à utilização de fibras de juta para aplicação em compósitos para o mesmo setor, foco deste trabalho.

### 2.3.1.1 Fibra de juta

A juta é uma fibra extraída do caule de vegetais pertencentes ao gênero *Corchorus*, família *Tiliaceae*, com duas principais espécies utilizadas para a manufatura de têxteis: *Corchorus capsularis* (juta branca) e *Corchorus olitorius* (juta tossa) (ROWELL; STOUT, 2006; SANYAL, 2017). Comumente, este tipo de planta cresce em ambientes caracterizados por climas quentes e úmidos, em áreas com chuvas abundantes, dando origem a um vegetal de caule ereto e com folhas, conforme citado por Sanyal (2017). Desta forma, as condições mais favoráveis para o cultivo da juta são encontradas no delta de grandes reservas hídricas como os rios Ganges (Índia), Irraúadi (Mianmar), Amazonas (Brasil) e Yangtze (China). Ou seja, em localidades caracterizadas por clima tropical e subtropical (DESAI; KANT, 2016; ROWELL; STOUT, 2006). No Brasil, o cultivo da juta (*Corchorus capsularis*) foi introduzido entre os anos 1950 e 1980, principalmente, nos estados do Amazonas, Pará e São Paulo, sendo importante produto agrícola para essas regiões (SATYANARAYANA; GUIMARÃES; WYPYCH, 2007).

A Figura 7 demonstra o processo de preparação da juta, onde tem-se a extração da fibra da camada periférica do caule, no qual, faz-se a imersão de talos da juta em água parada ou corrente durante período de 2 a 3 semanas. Este processo, denominado maceração, facilita a extração da fibra, visto que, a submersão em água contribui para quebra da ligação da pectina. Posteriormente, a fibra é extraída de forma manual, lavada e seca, tornando-a adequada para a utilização comercial (SANYAL, 2017).

A partir da seção transversal da fibra de juta, pode-se ter ideia sobre sua microestrutura. As células são poligonais, contendo um orifício central denominado lúmen, que compreende cerca de 10 % da área da célula. Ao longo do comprimento da fibra tem-se a sobreposição de células, ligadas lateralmente umas às outras. A interface entre duas células denomina-se lamela intermediária (ROWELL; STOUT, 2006). Assim, a célula assemelha-se a um tubo oco com parede primária e secundária, sendo a última mais espessa e compostas por microfibrilas, como também, um lúmen. Cada camada da microfibra contém  $\alpha$ -celulose inserida em matriz de hemicelulose e lúmen. Já a lignina é encontrada ao redor das fibras. É importante comentar que a camada com microfibrilas é a parte que determina as propriedades da fibra (ROWELL; STOUT, 2006; SANYAL, 2017). A Figura 8 apresenta a microestrutura da fibra de juta.

Figura 7 – Processos de preparação da fibra de juta.

**Planta de juta****Submersão de fibras de juta para maceração****Secagem de fibras de juta**

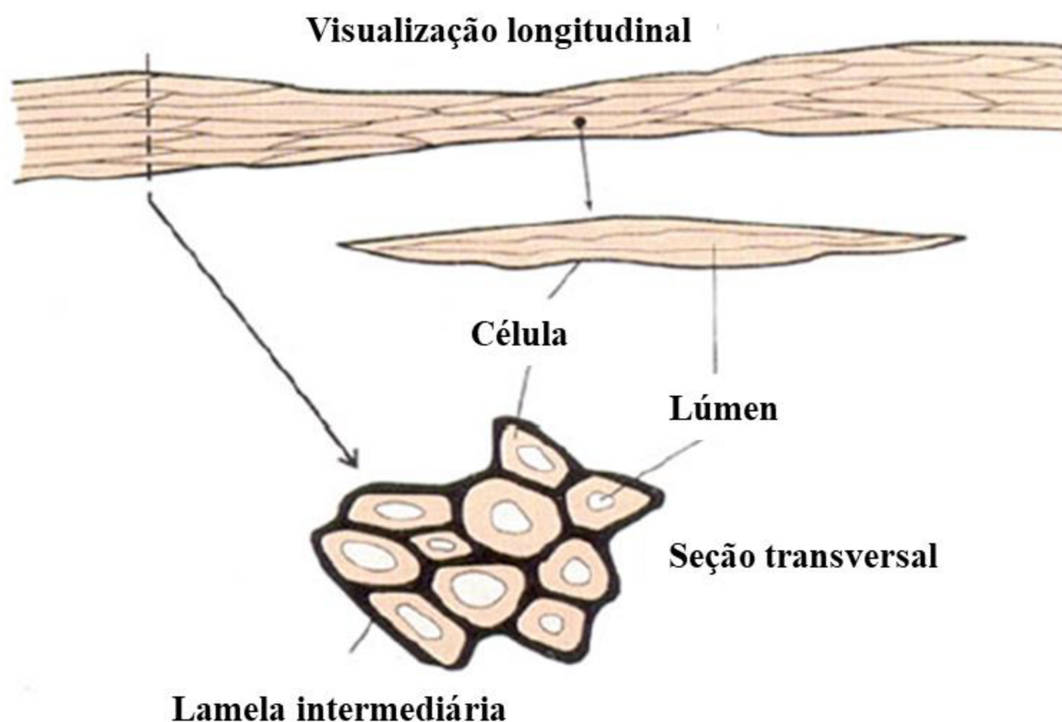
Fonte: Adaptado de SANYAL (2017).

A juta é a segunda fibra natural mais utilizada para a produção de têxteis, depois do algodão (ISLAM; AHMED, 2018). Por conta do baixo custo de cultivo e produção, bem como elevada durabilidade entre as fibras naturais, é vastamente utilizada para diversas aplicações (HOSSAIN; ABDULLA, 2015). Além disso, as propriedades físicas da fibra de juta são atrativas, principalmente para aplicações técnicas e substituição de fibras manufaturadas (MATHER; WARDMAN, 2015; SANYAL, 2017). Normalmente, a fibra de juta é encontrada em comprimentos de 0,5 – 0,6 mm, espessura entre 26 e 30  $\mu\text{m}$ , densidade de 1,3 a 1,5  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , alongamento à ruptura em torno de 1,8 %, tenacidade de 30 – 45  $\text{cN}\cdot\text{tex}^{-1}$ , baixa recuperação elástica, *regain* de 12,6 %, boa estabilidade à exposição UV e boa resiliência (MATHER; WARDMAN, 2015). Entretanto, deve se ter em mente que a exposição prolongada da fibra à umidade interfere significativamente nas propriedades físicas do material. Isto se deve ao fato



que, ao atingir percentual de umidade acima de 80 %, a tenacidade da fibra de juta tende a redução, impactando a resistência a flexão e rigidez do material fibroso (SANYAL, 2017).

Figura 8 – Microestrutura da fibra de juta.



Fonte: Adaptado de SANYAL (2017).

Por fim, salienta-se que fibras vegetais e, neste sentido, a juta, é considerada uma importante matéria-prima fibrosa na constituição de alternativas mais amigas do ambiente para aplicações em engenharia civil (RAZMI; MIRSAYAR, 2017; TRINDADE et al., 2017; ZAKARIA et al., 2017).

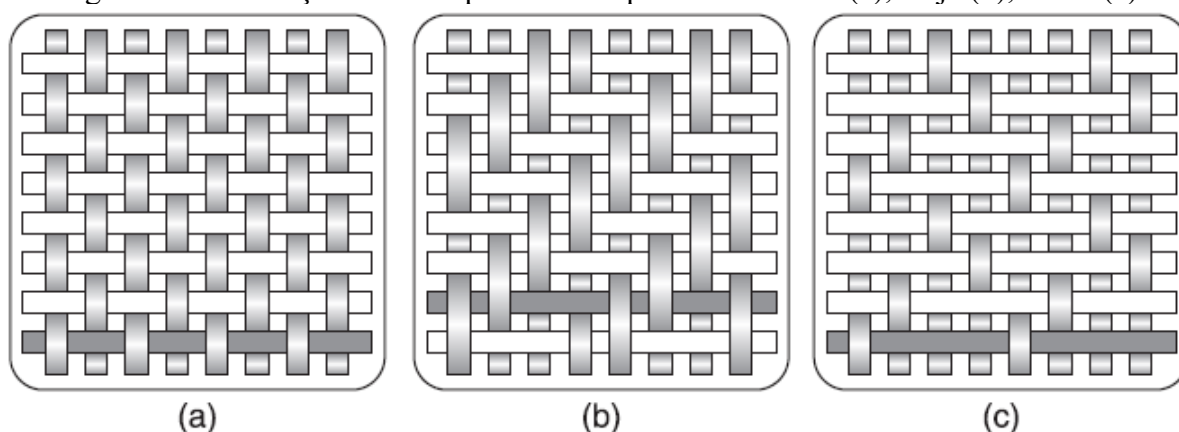
## 2.4 TECIDOS PLANOS

A tecelagem refere-se a uma tecnologia de entrelaçamento de fios para a formação de tecidos (BEHERA; HARI, 2010). Tecido plano é o produto proveniente da tecelagem, formado a partir do cruzamento perpendicular entre dois fios, na direção do comprimento (urdume), e na direção da largura (trama) (ELMOGAHZY, 2020). Os fios, portanto, são os materiais necessários para a construção do tecido, entretanto, a unidade básica é a fibra. As características

das fibras (como resistência, finura, comprimento, superfície) são preponderantes para possibilitar o espectro amplo de propriedades físicas e mecânicas para fios/filamentos, e consequentemente dos tecidos (HARI, 2020).

Existem três padronagens básicas de tecidos plano: tela/tafetá (a), sarja (b) e cetim (c), conforme ilustrado na Figura 9 (ELMOGAHZY, 2020). Normalmente, podem ser aplicados tanto para têxteis convencionais, quanto para aplicações mais técnicas (HARI, 2020). A partir das estruturas base, diversas são as derivações possíveis para construção de tecidos, onde cada qual terá o desempenho influenciado a partir do arranjo determinado entre os fios/filamentos de urdume e trama (ELMOGAHZY, 2020).

Figura 9 – Construções básicas para tecidos plano: tela/tafetá (a); sarja (b); cetim (c).



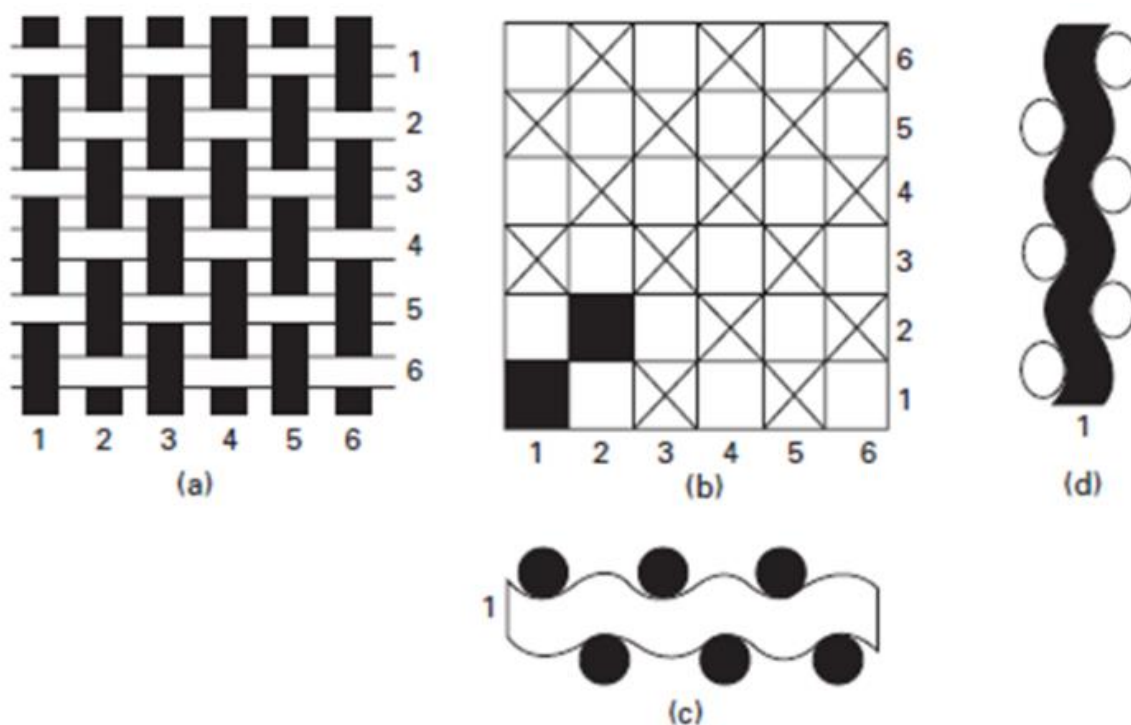
Fonte: ARAÚJO; FANGUEIRO; HONG (2000).

#### 2.4.1 Tela/Tafetá e seus derivados

Tela ou tafetá refere-se a estrutura mais simples e amplamente utilizada na indústria têxtil (ELMOGAHZY, 2020). A construção consiste em unidade repetitiva originada pelo entrelaçamento alternado de um fio de urdume através de um fio de trama (GONG; CHEN; ZHOU, 2018). Convencionalmente, estas estruturas são denominadas *plain weave*, em função das suas características de superfície lisa e plana (ELMOGAHZY, 2020). Este tipo de tecido também é conhecido como estrutura balanceada, visto que apresenta na sua construção a mesma quantidade de fios (trama e urdume) e unidade repetitiva por comprimento (1/1), e não há distinção entre as suas duas faces, direito e avesso (ELMOGAHZY, 2020; STANKARD, 2015).

Além disso, dentre as diferentes estruturas, tecidos tafetá são caracterizados por apresentar a menor elasticidade entre todos os substratos de tecelagem, justamente devido ao elevado frisado que apresentam decorrente da evolução dos fios (STANKARD, 2015). O diagrama padrão do tecido tela (1/1) pode ser visualizado na Figura 10.

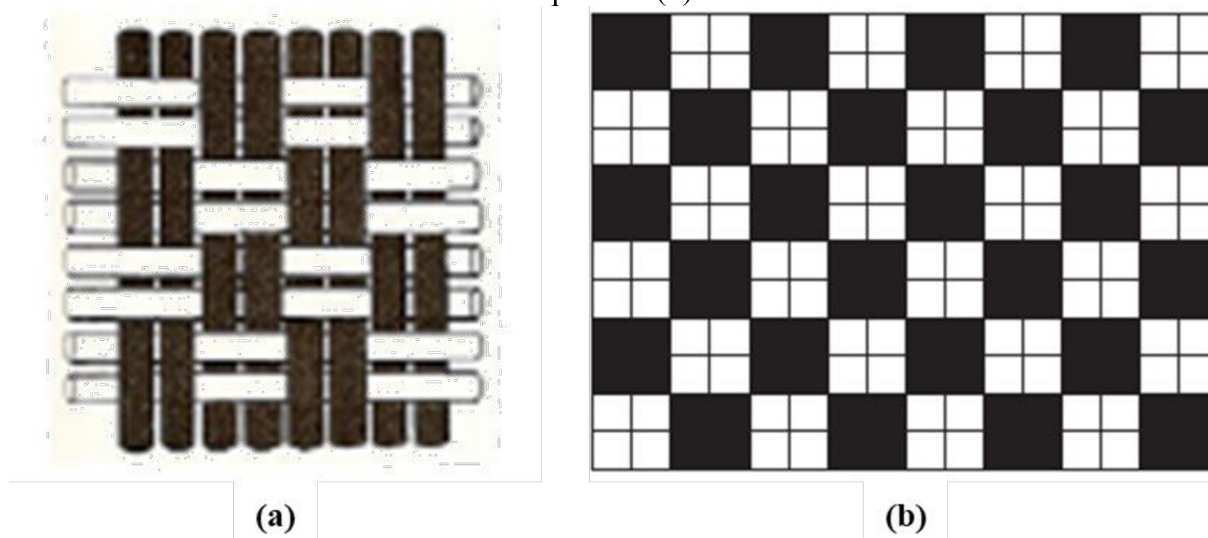
Figura 10 – Tecido plano tela/tafetá: representação esquemática (a); diagrama da unidade repetitiva (b); seção transversal na direção da trama (c); seção transversal na direção do urdume (d).



Fonte: BEHERA; HARI (2010).

Algumas derivações podem ser projetadas com mais de um fio de urdume e trama, sendo um destes o tecido *basket*, ou como também conhecido, panamá (GONG; CHEN; ZHOU, 2018). Para este caso, a unidade repetitiva pode ser definida como 2/2 ou 4/4. Além disso, são dimensionamento mais estáveis que a estrutura base, a tela (ELMOGAHZY, 2020). A representação da estrutura e o diagrama do padrão pode ser visto na Figura 11. Entretanto, não necessariamente precisam ter a mesma proporção de fios por unidade de repetição, como por exemplo, tem-se derivações com configurações: 2/1, 3/1 ou 4/2, que por sinal, são mais flexíveis dentre as estruturas citadas (STANKARD, 2015).

Figura 11 – Tecido *basket*/panamá: representação esquemática (a); diagrama da unidade repetitiva (b).



Fonte: Adaptado de STANKARD (2015) e ELMOGAHZT (2010).

#### 2.4.2 Parâmetros e propriedades de tecidos planos

A geometria do tecido refere-se ao perfil de entrelaçamento entre fios de urdume e trama (GONG; CHEN; ZHOU, 2018). Utilizada para especificação do substrato, a geometria é fundamental para compreensão das propriedades resultantes do tecido. A estrutura geométrica padrão é definida pela interação entre fios (urdume e trama), densidade do fio, frisado e título dos fios (BEHERA; HARI, 2010; GONG; CHEN; ZHOU, 2018). Por conseguinte, os parâmetros de fator de cobertura, espessura e gramatura dos tecidos se relacionam diretamente com aqueles apresentados anteriormente (ELMOGAHZY, 2020).

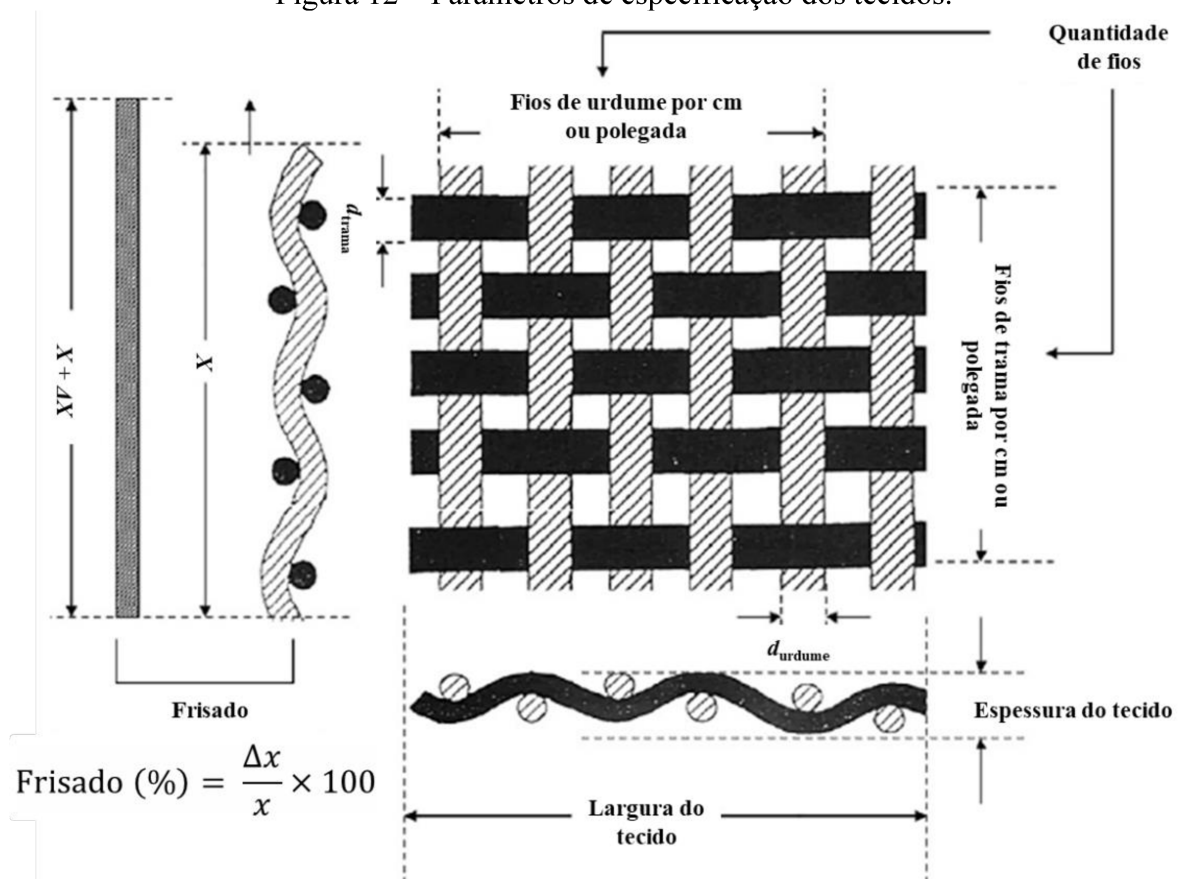
O título dos fios é designado para a relação entre a massa e determinado comprimento dos fios (sistema direto) ou a relação entre o comprimento e determinada massa (sistema indireto) (HARI, 2020). A contagem de fios para o tecido é definida como a quantidade de fios por unidade de comprimento, tanto na direção do urdume, quanto da trama. Importante ressaltar que a contagem também está relacionada ao título do fio utilizado. A espessura do tecido é um fator primordial para a empregabilidade do mesmo, visto que é parâmetro crítico que influenciará as propriedades finais do material. (ELMOGAHZY, 2020).

A gramatura é definida como a massa relativa à determinada área do substrato têxtil, como por exemplo, grama/m<sup>2</sup>, e é considerada um parâmetro importante, principalmente para

o mercado de tecidos. A gramatura é determinada pelo tipo de fibra, quantidade e título dos fios, bem como o próprio entrelaçamento do tecido (ELMOGAHZY, 2020). Além disso, pode sofrer alterações por processos mecânicos e químicos durante o beneficiamento do substrato (HEARLE, 2009).

O frisado é descrito como a configuração resultante, a partir da ondulação/evolução dos fios entrelaçados na construção do tecido, tanto na direção do urdume como da trama (SINCLAIR, 2015). Por fim, tem-se o fator de cobertura, determinado pela extensão em que a área de um tecido é ocupada por um certo número de fios de urdume e trama (ELMOGAHZY, 2020). Para esclarecimento dos parâmetros comentados, a Figura 12 demonstra na prática como os mesmos podem ser observados e avaliados durante análise e desenvolvimento de tecidos.

Figura 12 – Parâmetros de especificação dos tecidos.

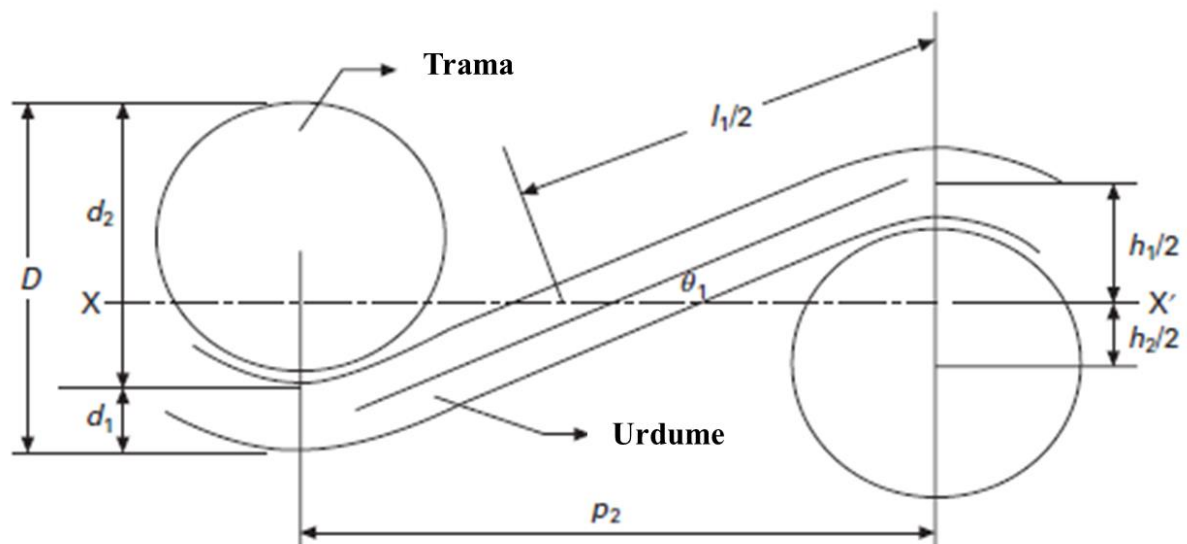


Fonte: Adaptado de ELMOGAHZY (2020).

### 2.4.3 Modelo geométrico para estrutura de tecidos

Como citado anteriormente, o conhecimento de parâmetros estruturais possibilita a compreensão básica do substrato têxtil que está sendo estudado e o desempenho do mesmo, frente diferentes aplicabilidades e necessidades. Desta forma, Peirce (1937) propôs um modelo básico para análise da geometria e assim, prescrição e interpretação das características físicas dos tecidos. A proposta é ilustrada na Figura 13. A partir do modelo geométrico de Peirce é possível estabelecer a relação entre os parâmetros (frisado, espessura, espaço e ângulo de contato entre os fios), calcular a resistência mecânica dos têxteis, propriedades térmicas, elétricas e estéticas dos tecidos (ZHENG et al., 2014).

Figura 13 – Modelo geométrico de Peirce para tecidos planos.



Fonte: BEHERA; HARI (2010).

Considerando os índices 1 e 2 como representação do fio de urdume e trama, respectivamente, tem-se:  $d_x$ , diâmetro do fio;  $p_x$ , distância entre o centro de fios adjacentes;  $h$ , altura do frisado;  $\theta_x$ , ângulo do eixo do fio ao plano do tecido;  $l_x$ , comprimento do eixo do fio entre o plano do tecido e o entrelaçamento dos mesmos;  $c_x$ , o frisado;  $D$ , espessura do tecido. Além disso, o modelo proposto por Peirce considera os fios como elementos inextensíveis e flexíveis, com seção transversal circular para segmentos retos e curtos (BEHERA; HARI,

2010). A partir da relação entre os quatro parâmetros básicos ( $h_x$ ,  $p_x$ ,  $c_x$  e  $\theta_x$ ), bem como a determinação de  $D$  para o cálculo de especificações dos tecidos, seguem as seguintes equações:

$$\theta_1 = (2c_1)^{1/2} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\theta_2 = (2c_2)^{1/2} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$h_1 = \frac{4}{3}p_2\sqrt{c_1} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$h_2 = \frac{4}{3}p_1\sqrt{c_2} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$D = d_1 + d_2 \quad (\text{Eq. 5})$$

Com base nas equações descritas anteriormente, pode-se então calcular a espessura, fator de cobertura e volume específico do tecido (BEHERA; HARI, 2010).

#### 2.4.3.1 Espessura

Considerando tecidos com projeção equivalente de fios, ou seja, igual quantidade de fios na direção do urdume e trama, tem-se:

$$h_1 + d_1 = h_2 + d_2 \quad (\text{Eq. 6})$$

Nesse caso, o tecido obtém espessura mínima dada por:

$$D = \frac{1}{2}(h_1 + d_1 + h_2 + d_2) \quad (\text{Eq. 7})$$

#### 2.4.3.2 Fator de cobertura

Para o cálculo do fator de cobertura, considera-se a fração da área total do tecido pela quantidade de fios. Assim, analisando os fios de seção transversal circular, o fator de cobertura ( $K_x$ ) é calculado por:

$$K_x = n_x\sqrt{T} \times 10^{-1} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

$n_x$  = quantidade de fios por cm;

$T$  = título dos fios em Tex;

O fator de cobertura deve ser calculado em ambas as direções do tecido, urdume e trama (ELMOGAHZY, 2020). Posteriormente, o fator de cobertura total é determinado pela soma do fator de urdume ( $K_1$ ) e trama ( $K_2$ ), sendo corrigido conforme a equação abaixo:

$$\text{Fator de cobertura}_{total} = (K_1 + K_2) - \frac{K_1 K_2}{28} \quad (\text{Eq. 9})$$

#### 2.4.3.3 Gramatura

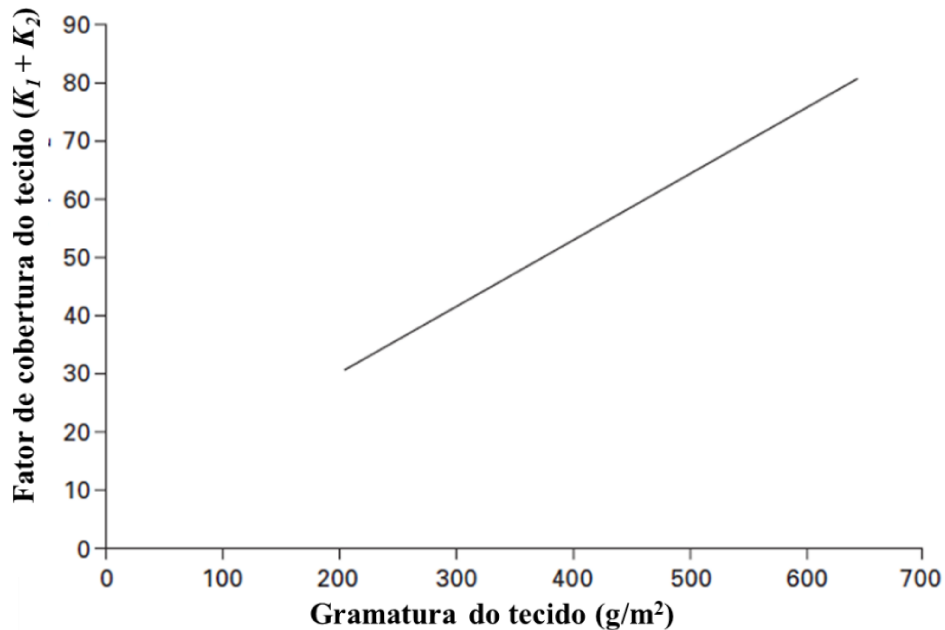
A gramatura ou densidade de área do tecido ( $gsm$ ) é obtida por meio da Equação 10, expressa na maioria das vezes em gramas por determinada área, normalmente  $m^2$  (BEHERA; HARI, 2010). Ressalta-se que os índices 1 e 2 designam a direção do fio na estrutura do tecido, ou seja, urdume e trama, respectivamente.

$$gsm = [T_1 n_1 (1 + c_1) + T_2 n_2 (1 + c_2)] \times 10^{-1} \quad (\text{Eq. 10})$$

Pode-se citar como exemplo da relação entre as especificações dos tecidos, a influência do frisado sobre o fator de cobertura e gramatura para substratos com espaçamento mínimo entre os fios (KUMAR; HU, 2018). Conforme a Figura 14, observa-se a tendência linear da relação entre a gramatura do tecido ( $g/m^2$ ) e o fator de cobertura total ( $K_1 + K_2$ ). Behera e Hari (2010) explicam que o aumento da gramatura, bem como do fator de cobertura do tecido pode ser atingido por diferentes combinações do frisado (mínima ou máxima) para a direção do urdume ou da trama. Além disso, os mesmos autores afirmam que a relação entre os parâmetros (entrelaçamento, frisado, fator de cobertura, dentre outros), serão determinantes para o comportamento mecânico do tecido, como tensão de cisalhamento, flexão e tração.



Figura 14 – Relação entre fator de cobertura e gramatura dos tecidos planos.



Fonte: Adaptado de Behera e Hari (2010).

#### 2.4.3.4 Volume específico

O cálculo para o volume específico aparente dos tecidos ( $v_F$ ) é realizado a partir da Equação 11.

$$v_F = \frac{D}{\text{massa do tecido}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

$D$  = espessura em cm;

$\text{Massa do tecido (g.cm}^{-2}\text{)} = 10^{-4} \times \text{gsm}$

#### 2.4.4 Desempenho e aplicações dos tecidos de juta

Antes mesmo de formar o tecido propriamente dito, as fibras de juta são processadas no intuito de transformar fibras em fios, sendo esta a forma básica para a construção de substratos

têxteis. Convencionalmente, o processo de fiação de juta é iniciado com a seleção de fibras, remoção de impurezas, formação de fita, redução da densidade linear da fita e por fim, paralelização das fibras (SANYAL, 2017).

Para adequar-se à demanda sustentável, a incorporação de juta na forma de fibra, fios e tecidos, tem se mostrado promissora. Isto se deve ao fato que, para além da combinação de propriedades significativas físicas, químicas e estruturais, que contribuem para o desenvolvimento de tecnologias de alta performance, o material lignocelulósico serve como importante biomassa para a redução dos níveis de carbono no meio ambiente (ROMBALDO et al., 2014). Desta forma, na solução de problemas relacionados à poluição nos solos, ou para redução da emissão de carbono no setor da construção civil, tecidos de juta têm sido investigados (SANYAL, 2017).

TAN et al. (2017) investigaram o reforço de concreto com camadas de tecido de juta, no qual obteve-se um aumento da resistência final à compressão, conforme aumento de camadas de tecido na matriz. Este aspecto também é comentado por Sem, Jagannatha e Reddy (2013), que compararam compósitos poliméricos reforçados com tecido plano de juta (JFRP) com compósitos reforçados com tecido de carbono (CFRP) e vidro (GFRP), para reforço de vigas de concreto (RC), avaliando a resistência à flexão e ruptura, deflexão de carga e ductibilidade. Os resultados obtidos demonstraram o aumento da resistência à flexão das vigas RC em 62,5 %, 150 % e 125 %, para JFRP, CFRP e GFRP, respectivamente. Entretanto, dentre os materiais aplicados como reforço, JFRP teve o maior índice de deformabilidade, o que sugere potencial aplicação para reforços estruturais. Mesmo que tenham utilizado apenas uma camada de tecido, os autores indicam que o aumento de camadas contribui para a melhoria da resistência final do material.

Como elemento de reforço, tratamentos superficiais devem ser realizados para melhorar as propriedades mecânicas, físicas, térmicas e durabilidade de tecidos de origem vegetal (JO; CHAKRABORTY; KIM, 2016). Tratamentos à base de solução alcalina impulsionam a interação entre matriz e reforço natural, melhorando as propriedades mecânicas do material em desenvolvimento, tendo em vista que, a remoção da hemicelulose e outros químicos da superfície fibrosa, promove a separação das fibras, aumentando a área superficial (BLEDZKI, 1999; JO; CHAKRABORTY; KIM, 2016). Comumente, tratamentos com hidróxido de sódio (NaOH) são predominantes na melhoria de adesão entre matriz/reforço fibroso (RAY;

SARKAR, 2001). Recentes investigações têm considerado a modificação superficial convencional alcalina combinada com polímeros (KUNDU; CHAKRABORTY; CHAKRABORTY, 2018). Estes tratamentos fazem-se necessários para melhor adequar, não somente tecidos de juta, como outros substratos vegetais para reforço de compósitos cimentícios, geopoliméricos e poliméricos para a engenharia civil (YAN; KASAL; HUANG, 2016).

## 2.5 COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS

O emprego de fibras celulósicas como reforço de materiais à base de cimento não é novidade e tem sido amplamente estudado ao longo das últimas décadas. Monofilamentos fibrosos têm como intuito aumentar o desempenho mecânico dos materiais de construção (resistência à tração, flexão, impacto, dentre outros), visto que, cimentos, argamassas ou concretos são naturalmente frágeis e assim, o substrato têxtil contribui na melhora da ductilidade e tenacidade pós-fissuração em compósitos de matriz cimentícia (AGOPYAN et al., 2005; SLISERIS; YAN; KASAL, 2016; STRAUB, 2017; TOLÊDO FILHO et al., 2003; YAN; CHOUW, 2013). Monofilamentos celulósicos adicionados à matriz cimentícia interligam as fissuras geradas, distribuindo as tensões ao longo de todo o material fibroso (YAN; KASAL; HUANG, 2016). Entretanto, algumas desvantagens impossibilitam a utilização em escala industrial, como por exemplo, a durabilidade, limitação do efeito de reforço (baixa fração volumétrica de fibra) e variabilidade das propriedades, por conta das variações da composição química das fibras (ARDANUY; CLARAMUNT; TOLEDO FILHO, 2015; JO; CHAKRABORTY; KIM, 2016; SHAHZAD, 2012).

Por conseguinte, as limitações que tangenciam a utilização de monofilamentos celulósicos impulsionaram o estudo com novos substratos têxteis (não-tecido, tecido plano e de malha), como potencial alternativa de reforço de compósitos cimentícios. Yan, Kasal e Huang (2016) comentam algumas das vantagens da utilização de tecidos planos: boa estabilidade mecânica; eficiência de reforço em mais de uma direção (urdume e trama); variedade de posicionamento do reforço, interno ou externo. Assim, os mesmos autores indicam que tais características proporcionam aos tecidos a possibilidade de reforçar estruturas de concreto híbridas ou até mesmo, compósitos cimentícios.

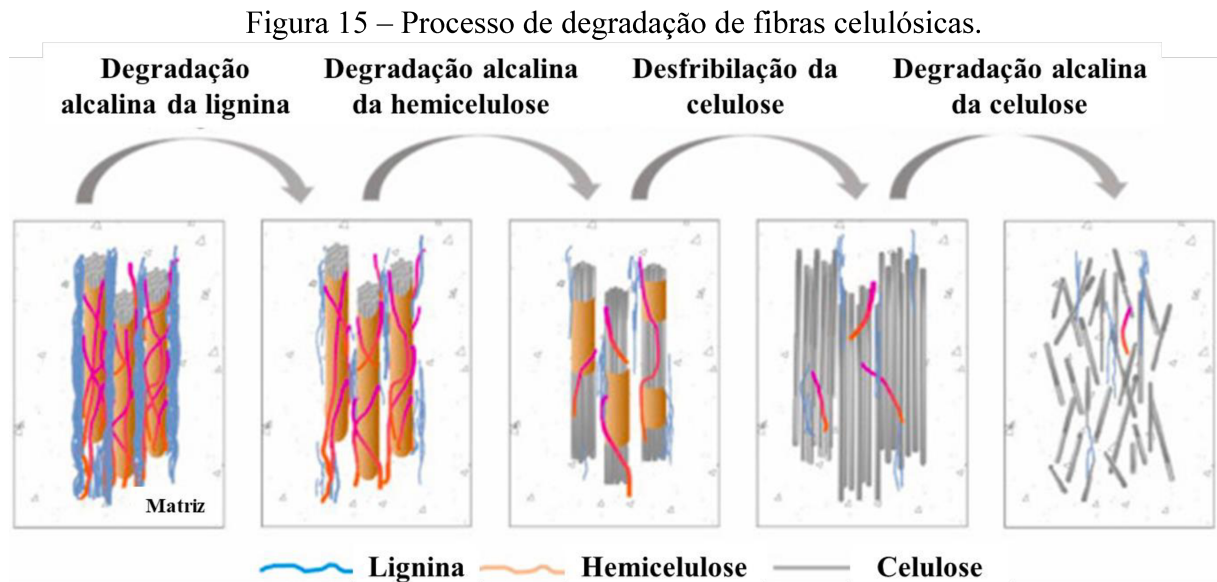
### 2.5.1 Aderência matriz-reforço

Compósitos cimentícios reforçados com tecidos apresentam como um dos principais fatores a ser considerados a adesão fibra-matriz, essencial para o desempenho mecânico do material final (ALOMAYRI; SHAIKH; LOW, 2014; BAKARE et al., 2010). Levando em conta o uso de fibras vegetais, existe certa incompatibilidade entre o material fibroso e a matriz cimentícia. Santana et al. (2021) comentam que a característica alcalina da matriz compromete a performance mecânica, como também, a durabilidade do compósito. Os poros existentes na matriz cimentícia são responsáveis pela penetração de agentes de degradação externos e migração das soluções do próprio material (MARTYS; FERRARIS, 1997). Tais agentes tem seu transporte facilitado também, por conta do próprio lúmen do material vegetal (YAN; KASAL; HUANG, 2016). O aumento de pH da matriz deve-se à dissolução de sulfatos alcalinos ( $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $K_3Na(SO_4)_2$ ,  $K_2Ca_2(SO_4)_3$ ) presentes no clínquer e, devido a dissolução de aluminatos e silicatos de cálcio do cimento, gerando as mudanças nos poros mesmo após o endurecimento da matriz cimentícia (ANDRADE NETO; DE LA TORRE; KIRCHHEIM, 2021; SANTANA et al., 2021).

Ao referir-se a tal assunto, Tolêdo Filho et al. (2000), ao imergirem fibras de coco e sisal em soluções de  $Ca(OH)_2$ , indicaram que a resistência à tração das fibras foi completamente reduzida após 300 dias de avaliação. Por outro lado, em solução de NaOH, a mesma propriedade decresceu em menor intensidade, cerca de 72 % e 61 %, para a resistência de fibras de sisal e coco, respectivamente. Desta forma, como se faz notar, a solução de poros de matriz à base de cimento Portland é muito agressiva para o material fibroso.

O mecanismo de degradação da matéria fibrosa é descrito no trabalho de Wei e Meyer (2015). No primeiro momento, ocorre a degradação da lignina e parte da hemicelulose, expondo a holocelulose (celulose e hemicelulose) à solução porosa e à fase sólida da matriz. Posterior a isto, a hemicelulose remanescente é degradada, ocasionando redução da estabilidade da parede celular da fibra. A terceira etapa corresponde a dispersão das fibras de celulose na matriz e solução porosa, o que intensifica a degradação do composto químico. Por fim, em função da hidrólise alcalina em regiões amorfas, as microfibrilas de celulose rompem-se, afetando completamente a capacidade das fibras como material de reforço. O modelo do

processo de degradação das fibras celulósicas proposto pelos mesmos autores pode ser visualizado na Figura 15.



Fonte: Adaptado de WEI e MEYER (2015).

Além do ataque alcalino, Wei e Meyer (2015) comentam sobre a mineralização que ocorre paralelamente ao primeiro processo previamente citado. Este é dado pela deposição de cristais de hidróxido de cálcio (CH) sobre a estrutura da fibra, onde grupos hidroxilas (OH-) contidos na matriz cimentícia, atacam a fibra, expondo canais intercelulares. A partir disso, ocorre a difusão dos íons cálcio na estrutura fibrosa, consolidando-se como  $\text{Ca}^{2+}$  (aquoso) nas cavidades da parede celular e no lúmen das fibras vegetais. Por conseguinte, formam-se as fases do cimento, que impactam as fibras, tornando-as frágeis e quebradiças (DOS SANTOS et al., 2019; MELO FILHO; SILVA; TOLEDO FILHO, 2013; SANTANA et al., 2021; TOLEDO FILHO et al., 2009).

### 2.5.2 Tratamentos superficiais

Dada todas as dificuldades expostas, é inegável que pré-tratamentos sobre a superfície de fibras vegetais devem ser realizados, no intuito de reduzir o processo de degradação do material frente à exposição em matriz alcalina. Ao referir-se a tal assunto, Kabir et al. (2012)

ressaltaram que tratamentos químicos são essenciais para reduzir a hidrofobicidade das fibras e impulsionar a adesão com a matriz. Visto que, os grupos hidroxilas hidrofílicos são removidos por diferentes tratamentos à base de compostos químicos, como por exemplo: alcalino (NaOH), acetilação (CH<sub>3</sub>CO), benzilação, peróxido (R-O-O-R'), dentre outros. Além dos químicos, a literatura também relata tratamentos à base de água, como hornificação e hidrotérmico (SANTANA et al., 2021) e revestimento superficial empregando copolímero (FIDELIS et al., 2019).

#### 2.5.2.1 *Hornificação*

A técnica consiste na imersão do tecido em sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, que conferem alteração na estrutura polimérica das células das fibras vegetais, portanto, modificando a microestrutura fibrosa (FERREIRA et al., 2014). A hornificação reduz a capacidade de retenção de água das fibras e remove a umidade interna do material, visto que promove forte ligação de hidrogênio, resultando em maior empacotamento da celulose (BALLESTEROS et al., 2019; FERREIRA et al., 2017; LUO et al., 2011). Neste sentido, tem-se a redução da elasticidade da parede celular, fechamento das lacunas interfibrilares e melhor distribuição do tamanho dos poros, limitando a capacidade de intumescimento das fibras em meio de elevada umidade (HAN et al., 2012; HRIBERNIK et al., 2016; KÖHNKE et al., 2010; LUO et al., 2011).

Em seus estudos, Ballesteros et al. (2016) utilizaram quatro ciclos de hornificação para fibras vegetais, cujo os resultados demonstraram que não houve deterioração das fibras, mas houve redução da capacidade de retenção de água em 33 %, melhorando a estabilidade do material. Além disso, Ferreira et al. (2017) afirmaram que o método é simples e econômico.

#### 2.5.2.2 *Hidrotérmico*

Sawsen et al. (2015) avaliaram o tratamento hidrotérmico de fibras de linho, que consiste na limpeza do material por meio da imersão em água fervente por cinco minutos, posteriormente enxaguadas para remoção das impurezas liberadas. Por fim, as fibras são secas a temperatura ambiente durante período de dois dias. Além da facilidade do processo, os

resultados obtidos demonstraram efetiva remoção de impurezas, graxas e parte da pectina. Isto impactou a redução do tempo de pega inicial do compósito cimentício, impulsionou a consistência, bem como, a resistência à flexão e compressão, quando comparado com o compósito de referência. Os mesmos autores ainda relatam que, mesmo com a melhora do comportamento mecânico do compósito, parte das propriedades mecânicas do material fibroso foram afetadas, baseado no fato que o tratamento superficial não removeu com eficácia os componentes hidrofílicos da fibra de linho.

Comumente, tratamentos térmicos são empregados em fibras de madeira, que enquadram-se na classe de insumos vegetais para compósitos cimentícios (BILBA; ARSENE, 2008; CARADA; FUJII; OKUBO, 2016; PAGE et al., 2021). Ali-Boucetta e colaboradores (2021) estudaram a modificação superficial de fibras de palmeira para 3 tratamentos diferentes com o objetivo de avaliarem o comportamento físico-mecânico para compósitos fibrocimento: hidrotérmico durante o tempo de 5 minutos, 1, 2 e 3 horas; químico, imersão por 2 h em solução de NaOH (concentração 1, 3, 6 e 9 %); impregnação de óleo de linhaça, variando a proporção óleo/fibra em 0,25, 0,5, 1 e 1,5. Os resultados obtidos demonstraram acréscimo significativo nas propriedades de tração das fibras para período de imersão em água fervente por 3 horas e concentração de 3 % de solução alcalina e em menor intensidade, e para impregnação com óleo proporção 1,5. Além disso, os autores afirmam que as fibras tratadas com hidróxido, bem como, em processo térmico, impulsionaram a resistência à compressão dos compósitos estudados. Sendo assim, apresentam-se como potenciais alternativas para a melhora superficial de matéria-prima lignocelulósica. Isso vem ao encontro de Sellami, Merzoud e Amziane (2013), que indicaram comportamento mecânico similar de compósitos cimentícios a partir de tratamento hidrotérmico em fibras de origem vegetal em água fervente por 4 horas.

### 2.5.2.3 Copolímero

Fidelis et al. (2019) investigaram o tratamento superficial de fibras de juta empregando impregnação de copolímero estireno-butadieno. O grupo de investigação imergiu o substrato têxtil em solução polimérica durante período de 50 minutos, seguido de secagem à temperatura de 34 °C por 24 horas. A metodologia adotada baseou-se em resultados anteriores obtidos pelo mesmo grupo de pesquisa (FIDELIS; DE ANDRADE SILVA; TOLEDO FILHO, 2014).

Ainda nesta mesma linha de considerações, os autores afirmam que o recobrimento do material têxtil com copolímeros contribuiu significativamente para a melhora da coesão entre matriz-fibra.

O revestimento com copolímero em insumos vegetais foi também relatado por Ferreira et al. (2020). A modificação superficial de curauá, juta e sisal foi realizada a partir da imersão de fibras em emulsão de estireno-butadieno carboxilado (SBR carboxilado) durante 50 minutos. A resistência à tração das fibras tratadas obteve acréscimo, bem como, impulsionou aderência fibra-matriz de compósitos cimentícios. Apesar do ocorrido, os autores explicam que tal fenômeno ocorre por conta da quantidade de polímero sobre a superfície fibrosa. Visto que o copolímero se polimeriza ao longo da superfície interna e principalmente, externa da fibra, resultando no fechamento parcial dos poros do material. Desta forma, fortalecendo a estrutura vegetal. Além disso, o tratamento possibilita desenvolvimento da transferência de tensões entre células vizinhas da própria fibra, dificultando o rompimento prematuro das mesmas. Neste sentido, impulsionando as características químicas e físicas da aderência entre fibra-matriz.

### **2.5.3 Compósitos cimentícios reforçados com tecido de juta**

Após considerar diversos parâmetros que envolvem o desenvolvimento de matrizes cimentícias com substratos de origem vegetal, é esclarecedor transcrever sobre o desempenho desta classe de materiais reforçadas com tecidos planos de juta, foco desta dissertação.

Messiry e Fadel (2021) realizaram estudo sobre compósitos cimentícios reforçados com tecidos planos de juta modificados superficialmente em solução alcalina de NaOH, frente diferentes concentrações (8, 16 e 22 %). Além disso, variaram o tempo de processo de imersão em 1, 30 e 60 minutos. Os autores relatam que o tratamento superficial resultou em aumento do frisado em ambas as direções dos tecidos, além de contribuir para acréscimo da tensão de ruptura, resistência à tração e alongamento do substrato têxtil. Sendo assim, muito significativo para evitar a delaminação dos tecidos planos de juta e consequente, melhora da resistência à flexão dos compósitos produzidos. Ao referir-se a tais aspectos, os autores argumentam que os resultados são possíveis em virtude da relação entre a resistência do tecido e a força de tração, a qual é determinante para entendimento do mecanismo de falha dos compósitos.



Fidelis et al. (2014) analisaram o desenvolvimento de concreto reforçado com tecido natural (TRC), no caso, fibra de juta. A partir da fabricação de compósitos contendo 3 e 5 camadas de tecido de juta, os autores estudaram o comportamento mecânico do material proposto. É relatado que a melhora na adesão entre fibra-matriz deu-se a partir da impregnação com material polimérico, no qual, contribuiu para o comportamento mecânico dos corpos-de-prova.

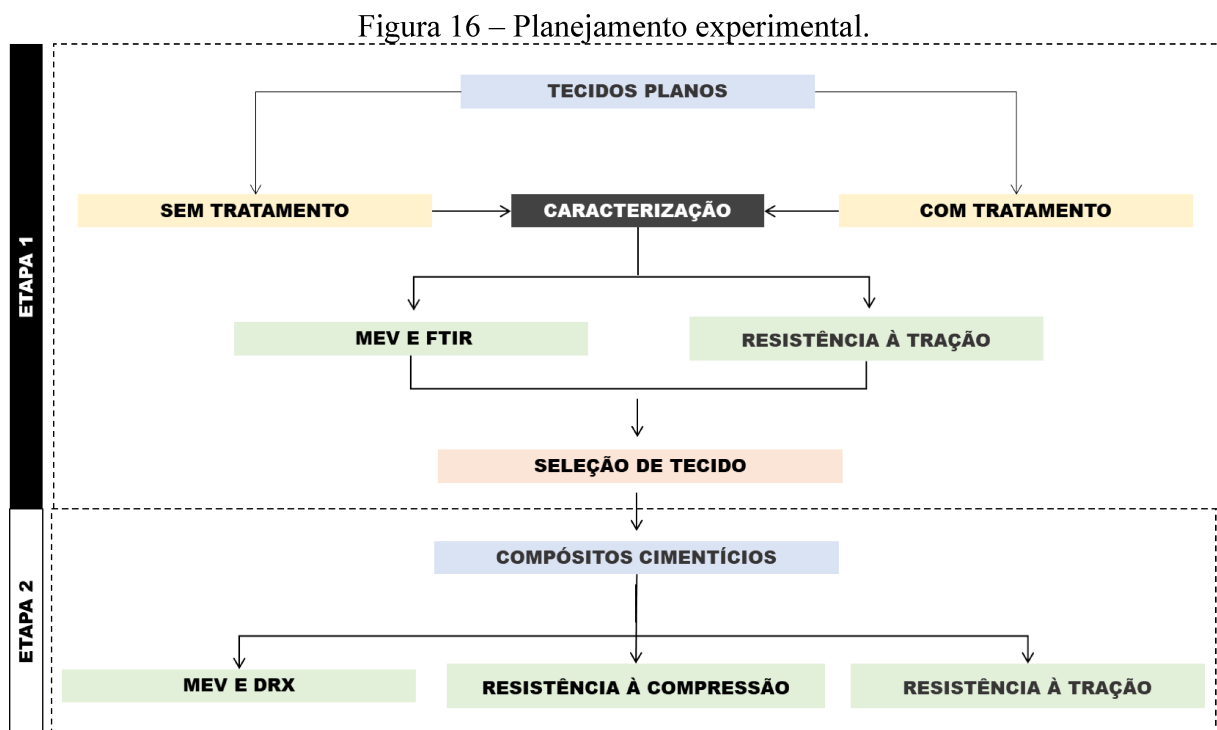
Em outro estudo, Fidelis et al. (2019), além do tratamento por revestimento de copolímero sobre o material fibroso, investigaram o desempenho de tecido de juta, considerando a fibra, fio e o tecido, propriamente dito, utilizando um modelo analítico para cálculo de parâmetros relacionados a adesão, fricção e ancoragem mecânica, entre matriz e reforço. Principalmente sobre as tensões de cisalhamento, os resultados demonstraram aumento de 90 % tensão de cisalhamento entre filamento e matriz, 90-153 % de aumento da tensão de ruptura para fibras. Além disso, teve-se acréscimo na tensão de cisalhamento de 100 % e 85 % para fio com comprimento de embutimento de 5 e 10 mm, respectivamente. No trabalho foi relatado que o modelo analítico se alinhou adequadamente aos dados experimentais e o recobrimento com copolímero, contribuindo de forma significativa para a aderência entre matriz-reforço, assim como, previamente relatado.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado na revisão da literatura, destaca-se a relevância do estudo sobre os parâmetros estruturais dos tecidos planos, neste caso especificamente de juta, no reforço de compósitos cimentícios, a fim de correlacionar o desenvolvimento de tecnologias verdes em ambas as áreas de concentração deste trabalho, a engenharia têxtil e civil. Sobretudo, verifica-se que há uma grande lacuna sobre a influência das diferentes estruturas de tecidos, principalmente, considerando os parâmetros inerentes a estes. Como também, é muito significativo que as características do insumo vegetal sejam consideradas, sendo assim, identifica-se a necessidade de avaliar as modificações superficiais representativas para impulsionar a interface fibra-matriz. Torna-se, então, pertinente esta proposta de investigação para a produção de compósito cimentício reforçado com tecido plano de juta.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais e métodos utilizados para a análise de tecidos planos de juta, bem como, para a produção de corpos-de-prova de compósitos cimentícios. Para compreensão do desenvolvimento do projeto de mestrado, a Figura 16 demonstra o fluxograma do procedimento experimental proposto, que foi dividido em duas etapas principais: caracterização e análise de tecidos (Etapa 1); desenvolvimento e análise do compósito cimentício reforçado com tecido de juta (Etapa 2).



Fonte: O autor (2022).

Primeiramente, foi realizada a análise dos tecidos de juta (com e sem tratamento superficial), a partir dos parâmetros comentados na seção 2.4 da revisão da literatura. Além disso, como etapa da caracterização, foram empregadas técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de infravermelho com transformada de fourier (FTIR), bem como, avaliou-se o comportamento mecânico dos tecidos planos a partir de ensaio mecânico de resistência à tração. Em seguida, após avaliação das padronagens de tecidos, foi realizada a escolha do substrato têxtil a partir daquela que apresentou melhor desempenho frente aos

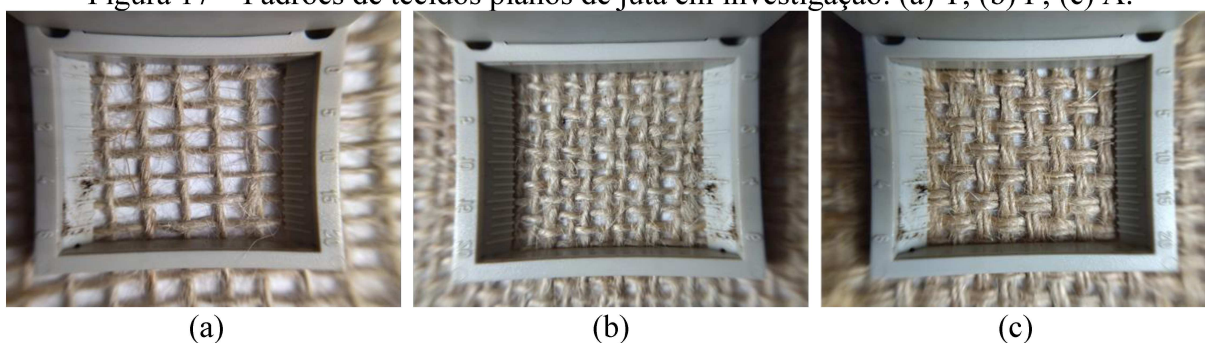
parâmetros analisados, neste caso, resistência à tração. Por conseguinte, desenvolveu-se o compósito cimentício, caracterização e análise do comportamento mecânico das amostras produzidas.

### 3.1 MATERIAIS

Para a realização do procedimento experimental, foram utilizados três padrões distintos de tecidos (Figura 17): a) T, tela/tafetá (1/1); b) F, tela/tafetá (1/1); c) A, *basket*/panamá (2/2). Todas as amostras são provenientes da Castanhal Companhia Têxtil<sup>®</sup>, PA/Brasil. Para os tratamentos superficiais foram definidos água para hornificação e hidrotérmico. Por outro lado, para a impregnação com copolímero, foi utilizado estireno-butadieno, LITEX Quickshield 1545, Synthomer Deutschland GmbH<sup>®</sup>.

A matriz cimentícia foi composta por cimento Portland CP V, empresa Votoran<sup>®</sup>, composição entre 90-100 % de clínquer e gesso e entre 0-10 % de material carbonático. Além disso, de forma a substituir 50 % do cimento, foram utilizados 40% de metacaulim (Metacaulim do Brasil<sup>®</sup>) e 10 % de cinza volante (POZOFLY<sup>®</sup>). Comenta-se que a substituição foi realizada a fim de reduzir o teor de hidróxido de cálcio da matriz, tendo em vista, que a alta concentração da substância prejudica o desempenho das fibras naturais (AHMAD; MAJDI; ARBILI, 2022). Por fim, foram utilizados areia de granulometria 1,18 mm e superplastificante (GLENIUM<sup>®</sup> 3500) para constituírem a matriz cimentícia.

Figura 17 – Padrões de tecidos planos de juta em investigação: (a) T; (b) F; (c) A.



Fonte: O autor (2022).

## 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Caracterização e análise de parâmetros para tecidos planos

No intuito de identificar as características dos tecidos de juta, os parâmetros a seguir foram explorados.

#### 3.2.1.1 *Diâmetro, título de fios e quantidade de fios de urdume e trama*

Para determinação do diâmetro dos fios foi utilizado microscópio digital portátil, sendo avaliado no mínimo em 5 pontos distintos, para cada direção dos fios constituintes do tecido (urdume e trama). Em seguida, a especificação dos títulos dos fios utilizadas nos tecidos foi realizada com base na norma ASTM D1059-17 (2019), adaptada para o corte de 10 fios de cada direção (urdume e trama), com dimensão de 10 cm cada. Assim, foram pesadas em balança digital para determinação da sua massa. Seguindo com o cálculo do título (sistema direto) utilizando a Equação 12.

$$T \times C = K \times P \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde, tem-se: T, título dos fios (Tex); C, comprimento (m), K, constante de titulação; P, massa dos fios (g).

Por fim, a quantidade de fios (urdume e trama) para padrões de tecidos estudados, foi determinada empregando dispositivo conta fios, considerando 1 cm<sup>2</sup> de área útil.

#### 3.2.1.2 *Espessura, fator de cobertura, gramatura e volume específico*

Para avaliação da espessura, fator de cobertura, gramatura e volume específico dos tecidos planos, foram aplicadas as equações contidas nas seções 2.4.3.1, 2.4.3.2, 2.4.3.3 e 2.4.3.4.

### 3.2.1.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para a avaliação morfológica das estruturas têxteis, bem como, análise da interface entre matriz e reforço dos compósitos produzidos, foi empregada técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). O procedimento foi realizado no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC, com equipamento JEOL, modelo JSM-6390LV. A preparação das amostras consistiu na inserção em um *stub* e revestimento com ouro (*sputtering*), por meio de recobridora modelo EM SCD 500, marca LEICA.

### 3.2.1.4 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Nesta etapa, o procedimento foi realizado visando identificar as cadeias químicas e estruturas moleculares de compostos orgânicos, presentes na estrutura das fibras sem e após tratamento superficial. A análise foi realizada no Laboratório Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC-CTE. O equipamento utilizado foi da marca PERKINELMER®, modelo FT-IR Frontier (Figura 18). Espectros registrados à temperatura de  $20 \pm 1$  °C, resolução espectral de  $16,0 \text{ cm}^{-1}$  e média de 64 varreduras.

Figura 18 – Equipamento utilizado para análise de FTIR.



Fonte: O autor (2022).

### 3.2.2 Tratamento superficial de tecidos

Nesta etapa, realizou-se a análise comparativa entre tecidos de juta sem tratamento e após o tratamento superficial, no intuito de evidenciar a técnica com resultados mais assertivos para impulsionar propriedades mecânicas e potencial utilização de tecido como reforço. Para tanto, foi realizado o método de hornificação (H), adaptado do procedimento empregado por Ferreira et al. (2017). O processo consistiu na imersão de material fibroso em água durante o período de 3 horas e a posterior secagem à temperatura de 80 °C em estufa, por 16 horas. O procedimento foi repetido 3 vezes.

O método hidrotérmico (HT) seguiu a metodologia adotada por Sawsen et al. (2015), que consistiu na limpeza superficial das fibras em água fervente por 5 minutos. Posteriormente, enxaguadas em água corrente para remoção dos resíduos. Por fim, secagem em temperatura ambiente durante 2 dias.

Para o tratamento com impregnação de copolímero (C), o procedimento seguiu estudos realizados por Fidelis et al. (2019), que empregou imersão de fibras de juta em banho de copolímero de estireno-butadieno (SBR), LITEX Quickshield 1545, à temperatura ambiente, por 50 minutos, seguido de secagem à temperatura de  $38 \pm 2$  °C, durante 24 horas. Todas as amostras foram preparadas no Laboratório de Tecidos e Malhas (LABTEC), UFSC-CTE.

### 3.2.3 Ensaio de resistência à tração de tecidos planos

O ensaio de tração foi realizado conforme procedimento descrito na NBR ISO 13934-1 (ABNT, 2016), no qual, as amostras de tecidos tratados e não tratados serão cortados em dimensões de 240 x 50 mm. Assim, foram cortadas 5 amostras para cada tecido avaliando em ambos os sentidos, urdume e trama, totalizando 10 amostras para cada estrutura. O comprimento útil de ensaio foi de 200 mm e 40 mm sobressalentes, utilizados para fixação entre as garras da máquina de ensaios. Os ensaios foram realizados com taxa de alongamento de 10  $\% \cdot \text{min}^{-1}$  e velocidade de deslocamento de 20  $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . O procedimento foi realizado utilizando máquina universal de ensaios (Figura 19), marca INSTRON/EMIC<sup>®</sup>, modelo EMIC 23-100, no Laboratório de Ensaios Mecânicos (LEM), UFSC-CTE.

Figura 19 – Máquina universal para ensaios de resistência à tração de tecidos.



Fonte: O autor (2022).

### 3.2.4 Matriz cimentícia

A matriz de referência (controle) foi produzida a partir da relação 1:1:0,5 de cimento Portland, areia e água, respectivamente. No qual, o conteúdo de cimento (50 %) foi substituído parcialmente por metacaulim e cinza volante, em composição de 40 % e 10 %, respectivamente. Por outro lado, nas mesmas condições foi produzida matriz com reforço têxtil, a fim de comparar as propriedades do material com a referência. Além disso, superplastificante (2 %) foi empregado como aditivo em ambas as matrizes.

### 3.2.4.1 Difração de raio-X (DRX)

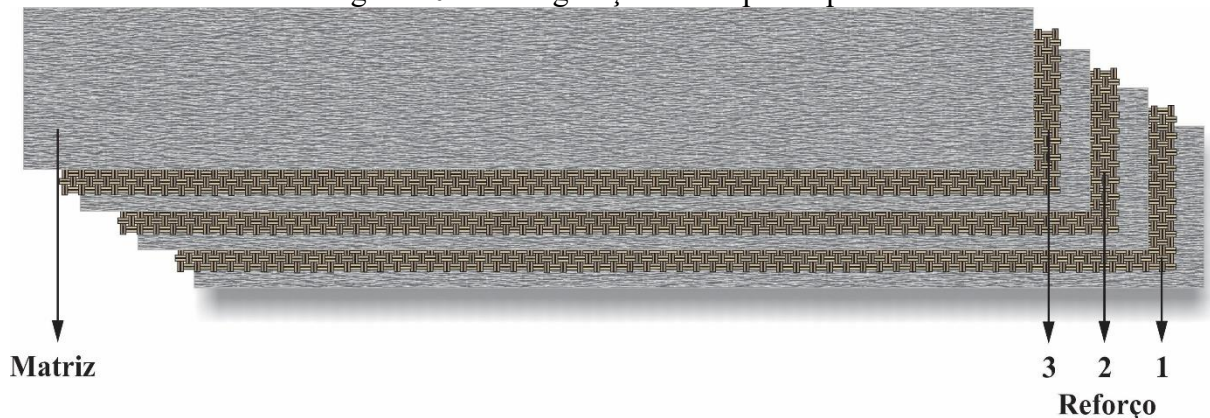
A técnica DRX foi realizada no intuito de identificar e quantificar as fases cristalinas e amorfas das matrizes cimentícias. Para tanto, o procedimento foi conduzido em modo de reflexão (geometria Bragg-Brentano), empregando ótica de feixe incidente com fenda Soller de 0,04 rad, máscara de 10 mm, fenda divergente fixa de  $1/2^\circ$  e anti-espalhamento fixo de  $1^\circ$ . A amostra foi fixada em suporte de aço com cavidade de 27 mm de diâmetro. Além disso, para a ótica de feixe difratado foi utilizado uma fenda anti-espalhamento fixa de 5 mm, fenda Soller larga de 0,04 rad e filtro K-beta de Ni, detector linear sensível a posição (Xcelerator) com janela ativa de  $2,122^\circ$ . Para a varredura, a faixa empregada foi de  $2\theta$  inicial  $5^\circ$  até  $70^\circ$ . Tamanho de passo de  $0,016^\circ$  e  $0,0084^\circ$ , com tempo de contagem de 24,13 seg e 5 repetições. A análise foi realizada no Laboratório de Difração de Raios-X (LDRX), da UFSC.

### 3.2.5 Geometria e moldagem dos corpos-de-prova

Para a produção dos corpos-de-prova para ensaio de tração, será utilizado a geometria retangular de espécime sugerida no trabalho de Truong e Kim (2021), conforme demonstrado na Figura 20. As dimensões da amostra foram adaptadas do estudo de Trindade et al. (2017), 500 x 60 x 10 mm (comprimento, largura e espessura), com sobreposição alternada de camadas de material cimentício e tecidos planos de juta (Figura 20). No caso, utilizou-se três camadas de tecidos, correspondendo a 3 % da fração volumétrica do corpo-de-prova. Ressalta-se que a estrutura de tecido plano inserida como reforço foi definida conforme os resultados obtidos por intermédio da caracterização e desempenho mecânico dos substratos têxteis. Neste sentido, as amostras de tecidos foram cortadas na direção do urdume ou trama, conforme análise dos resultados após caracterização dos substratos têxteis em estudo.



Figura 20 – Configuração do corpo-de-prova.



Fonte: O autor (2022).

### 3.2.6 Ensaios mecânicos

#### 3.2.6.1 Resistência à compressão axial

O ensaio de compressão axial foi realizado no intuito de determinar a resistência da matriz de referência (sem reforço). Assim, utilizou-se máquina universal de ensaios, modelo MTS FRAME 311. Os corpos-de-prova foram moldados em suportes cilíndricos (Figura 21) com dimensões de 100 x 50 mm de altura e diâmetro, respectivamente e ensaiados após 28 dias de cura, conforme diretriz NBR 7215 (1996). O equipamento foi configurado com taxa de deslocamento de  $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  e célula de carga de 1000 kN. Comenta-se que antes do ensaio, a superfície dos corpos-de-prova foi regularizada, a fim de obter planos paralelos e prevenir concentração de tensões, com célula de carga de 1000 kN. O procedimento foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas (LEM), PUC-Rio.

Figura 21 – Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: O autor (2022).

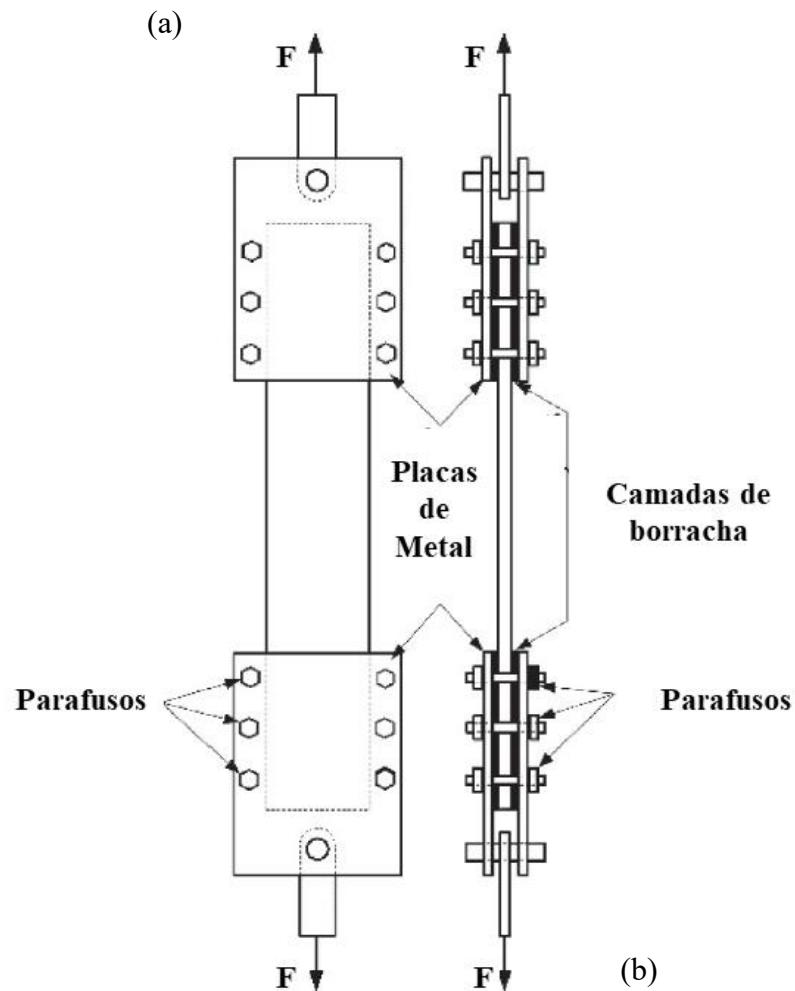
### 3.2.6.2 Resistência à tração direta

Para os ensaios de resistência à tração direta em materiais cimentícios reforçados com materiais têxteis ou como conhecidos, *Textile Reinforced Mortars* (TRM), Santis et al. (2017) comentam que não existe padronização ou normativas que regem o método de ensaio. Entretanto, os autores relatam que diversos pesquisadores têm estudado e desenvolvido procedimentos experimentais padronizados para contribuir com o entendimento sobre as propriedades mecânicas de sistemas de reforço TRM. Ainda nesta mesma linha de considerações, os autores ressaltam que os ensaios de resistência à tração direta e cisalhamento possibilitam a derivação das propriedades mecânicas fundamentais, como rigidez, padrão de fratura, capacidade de transferência de carga entre matriz-reforço e modo de falha sob

cisalhamento, determinando assim o desempenho estrutural para uma ampla gama de aplicações.

Neste sentido, o presente trabalho utilizou recomendações adaptadas, citadas por Truong e Kim (2021), para as garras de ensaio de tração direta. No caso, empregou-se corpo-de-prova com geometria retangular, em sistema de fixação em cunha hidráulica com parafusos, conforme ilustrado na Figura 22. Sistema similar foi utilizado por Trindade et al. (2017). Tal sistema proposto contribui para obtenção da falha final do tecido aplicado como reforço (TRUONG; KIM, 2021).

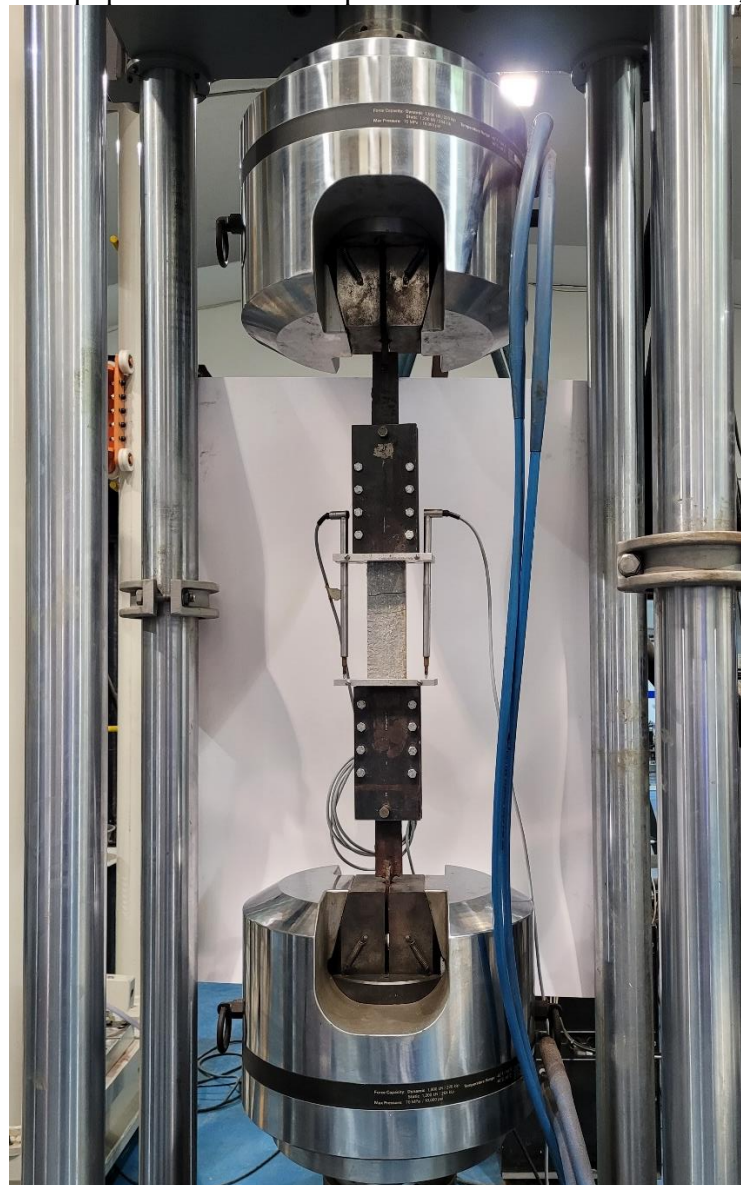
Figura 22 – Dispositivo recomendado para ensaio de resistência à tração direta: visão frontal (a) e lateral (b).



Fonte: Adaptado de TRUONG e KIM (2021).

Conforme procedimento sugerido nos trabalhos citados anteriormente, após a cura de 28 dias dos corpos-de-prova foi realizado os ensaios de resistência à tração direta. A máquina de ensaios universal, modelo MTS FRAME 311 (Figura 23), foi configurada com taxa de deslocamento de  $0,5 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Além disso, utilizou-se LVDTs (Transdutor de Deslocamento Variável Linear) para medir os deslocamentos laterais dos corpos-de-prova, com célula de carga de 1000 kN. O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas (LEM), PUC-Rio.

Figura 23 – Equipamento utilizado para ensaio de resistência à tração direta.



Fonte: O autor (2022).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através do procedimento experimental. De início, apresentando e discutindo os dados provenientes da caracterização e análise dos tecidos planos de juta. Em seguida, a seleção do tecido utilizado como reforço dos compósitos em estudo. Por fim, serão demonstrados os resultados após processo de moldagem, cura e posterior avaliação mecânica dos corpos-de-prova produzidos.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DE TECIDOS PLANOS DE JUTA

#### 4.1.1 Especificação dos tecidos planos de juta

A primeira etapa do procedimento experimental consistiu na análise dos parâmetros dos três tecidos planos de juta em estudo. Neste caso, a especificação dos substratos têxteis foi realizada a partir da medição:  $n_x$  (fios.cm<sup>-1</sup>), densidade de fios;  $d_x$  (mm), diâmetro;  $T_x$  (Tex ou g.1000m<sup>-1</sup>), título dos fios;  $c_x$  (%), frisado. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 5. Para os três tecidos avaliados, considerou-se a densidade de 1,5 g.cm<sup>-3</sup> (AHMAD; ULLAH; ZIAUDDIN, 2020) para as fibras de juta.

Tabela 5 – Dados dos tecidos planos de juta.

Amostra	Estrutura	$n_1$	$n_2$	$T_1$	$T_2$	$d_1$	$d_2$	$c_1$	$c_2$
T	Tela/tafetá	3,1	1,9	402	438	0,71	0,68	2,0	5,0
F	Tela/tafetá	4,3	4,3	447	412	0,68	0,67	3,0	4,0
A	Basket/panamá	6,3	5,5	346	371	0,57	0,76	7,0	3,0

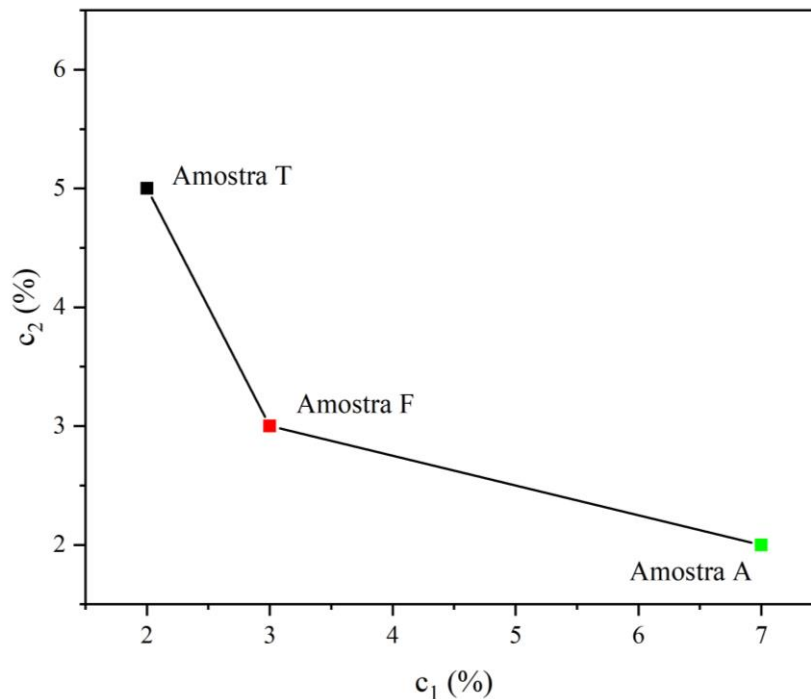
Fonte: O autor (2022).

A partir dos dados obtidos, nota-se que o substrato T possui a menor quantidade de fios dentre os três avaliados, entretanto, com títulos em níveis superiores quando comparado à amostra A. Por outro lado, a estrutura F tem valores intermediários entre as outras duas amostras quanto à quantidade de fios. Além disso, o diâmetro de todos os fios avaliados tem valores próximos mesmo que possuam títulos distintos e assim, demonstram que existe uma diferença no grau de torção dos materiais. É sabido que a torção permite que as fibras sigam um caminho

helicoidal em relação à direção do fio. Deste modo, definindo a estrutura, desempenho, resistência, alongamento, uniformidade e pilosidade dos fios (MIAO; CHEN, 1993; MIAO, 2013; TAO; XU, 2005). Entretanto, o grau/número de torção pode variar ao longo de todo o comprimento do material, em virtude do próprio maquinário industrial (YIN; TAO; XU, 2016; MIAO, 1998). Portanto, entende-se que as variações observadas nos fios podem ser relacionadas ao processo de fiação dos mesmos, bem como, flutuações nas próprias características das fibras.

A Figura 24 demonstra a relação entre frisado dos fios de urdume e trama de tecidos planos de juta. Conforme aumenta o frisado na direção do urdume ( $c_1$ ) dos tecidos, tem-se redução do mesmo parâmetro para os fios na direção da trama ( $c_2$ ). Isto se deve ao aumento de tensão de urdimento resultante do processo de tecelagem, no qual reflete na redução do frisado na direção da trama (JEON, 2012). Deve se ter em mente que no estudo supracitado têm-se padrões de tecidos diferentes desta dissertação e tal resultado baseia-se não somente na diferença de frisado das amostras, mas das características estruturais de cada tecido em avaliação e da memória física dos fios durante e após o processo de tecelagem (KUMAR; HU, 2017).

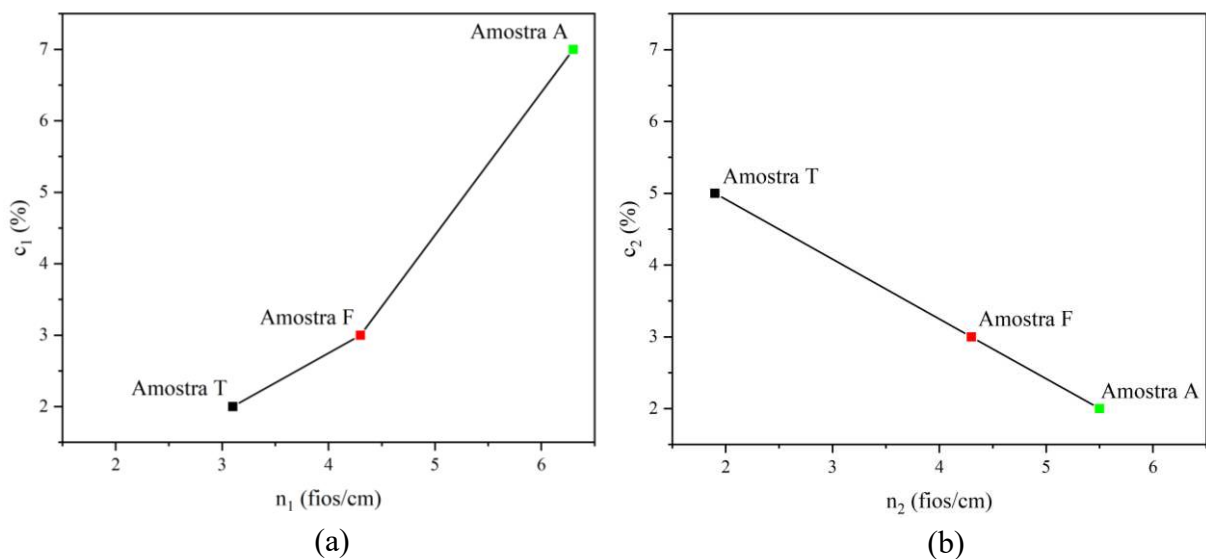
Figura 24 – Relação de frisado entre urdume ( $c_1$ ) e trama ( $c_2$ ) de tecidos planos de juta.



Fonte: O autor (2022).

Outra relação importante para o frisado é sobre a densidade de fios ( $n_x$ ). A Figura 25-a demonstra o aumento do frisado na direção do urdume, conforme tem-se aumento da densidade de fios na mesma direção. Entretanto, o mesmo não ocorre quando se observa os fios de trama, conforme a Figura 25-b, ou seja, tem-se redução do frisado em decorrência do aumento da densidade de fios.

Figura 25 – Relação entre frisado ( $c_x$ ) e densidade de fios ( $n_x$ ) de tecidos planos de juta: urdume (a); trama (b).



Fonte: O autor (2022).

#### 4.1.2 Parâmetros geométricos dos tecidos planos

Ainda nesta mesma linha de considerações, utilizando o modelo geométrico de Peirce, foram calculados os parâmetros de cada tecido para conhecimento e melhor especificação dos substratos. Para tanto, a partir das equações contidas na seção 2.4.3 foram consideradas algumas modificações nos cálculos, conforme sugerido por Jeon (2012). No caso, o modelo fundamentado na proposta de Peirce, consiste na obtenção de nove variáveis ( $p_1, p_2, h_1, h_2, l_1, l_2, \theta_1, \theta_2$  e  $k$ ) utilizando outras oito previamente mensuradas ( $n_1, n_2, T_1, T_2, d_1, d_2$  e  $c_1$  e  $c_2$ ). Portanto, utilizaram-se as Equações 12, 13, 14, 15, 16 e 17 para a avaliação dos dados. Ressalte-se que os índices 1 e 2, designam a direção do urdume e trama, respectivamente. Além disso,

cabe comentar que os parâmetros calculados foram utilizados no intuito de auxiliar a investigação sobre o comportamento mecânico das amostras. Sendo assim, assume-se que os fios em ambas as direções apresentam seção transversal circular e incompressível. Portanto, não enunciam completamente a realidade, mas servem de apoio as propriedades do material (KUMAR; HU, 2018).

$$d_1 = k\sqrt{T_1} \quad (\text{Eq. 12})$$

$$d_2 = k\sqrt{T_2} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$p_1 = \frac{1}{n_1} \quad (\text{Eq. 14})$$

$$p_2 = \frac{1}{n_2} \quad (\text{Eq. 15})$$

$$\left(\frac{l_1}{p_2} - 1\right) \times 100 = c_1 \quad (\text{Eq. 16})$$

$$\left(\frac{l_2}{p_1} - 1\right) \times 100 = c_2 \quad (\text{Eq. 17})$$

Destaca-se que  $k$  é definido como a constante que relaciona o título e o diâmetro dos fios (JEON; CHUN; HONG, 2003). No caso, o cálculo da constante para cada raporte em estudo, resultou em valor médio de  $k$  igual a 0,034. A Tabela 6 contém os resultados obtidos através dos cálculos. Observa-se a tendência decrescente entre os padrões T, F e A, considerando o espaçamento entre fios ( $p_1$  e  $p_2$ ), com 49,2% de diferença entre o valor máximo e mínimo, em ambas as direções do tecido (urdume e trama). Fato este dado pelas características das próprias estruturas em análise. Além disso, para altura de frisado ( $h_1$  e  $h_2$ ), a amostra F encontra-se com nível maior que A para  $h_1$  (0,537) e menor para  $h_2$  (0,620), resultante da relação de  $p_x$  e  $c_x$ , com valores intermediários entre os padrões de tecidos investigados.

Outros aspectos interessantes são o comprimento do eixo entre os fios de urdume e trama ( $l_1$  e  $l_2$ ), bem como o ângulo de frisado ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ). Ambos indicam e confirmam as características do padrão *basket* (amostra A), como estrutura compacta e com maior estabilidade dimensional (GONG; CHEN; ZHOU, 2018). Tendo em vista, reduzido valor de  $l_1$



e  $l_2$  (0,195 e 0,163, respectivamente), como também ângulo de 0,374 rad para os fios na direção do urdume. Onde tem-se:  $p_x$  (mm), espaçamento entre fios;  $h_x$  (mm), altura de frisado;  $l_x$  (mm), comprimento do eixo entre fios de urdume e trama no entrelaçamento;  $\theta_x$  (rad), ângulo do eixo do fio ao plano do tecido.

Tabela 6 – Parâmetros calculados dos tecidos planos.

<b>Amostra</b>	$p_1$	$p_2$	$h_1$	$h_2$	$l_1$	$l_2$	$\theta_1$	$\theta_2$
T	0,323	0,526	0,992	0,962	0,537	0,339	0,200	0,316
F	0,233	0,233	0,537	0,620	0,240	0,242	0,245	0,283
A	0,159	0,182	0,641	0,367	0,195	0,163	0,374	0,245

Fonte: O autor (2022).

Ainda nesta mesma linha de considerações, os parâmetros descritos na Tabela 6 serviram de base para o cálculo das especificações dos tecidos demonstrados na Tabela 7, onde tem-se:  $D$  (cm), espessura;  $K_x$ , fator de cobertura (urdume, trama e total);  $gsm$  ( $g \cdot cm^{-2}$ ), gramatura;  $v_F$  ( $cm^3$ ), volume específico.

Entende-se que o maior fator de cobertura ( $K_T$ ) é dado pela direção onde se tem fios com menor título (direto), cruzados com fios mais grossos na direção perpendicular (BEHERA, HARI, 2010). Neste sentido, a amostra A obteve o maior fator de cobertura dentre as três amostras, visto que apresenta o menor título dos fios na direção do urdume com a inserção de fios grossos na trama (Tabela 5). Portanto, o  $K_T$  foi igual a 17,9 resultante da relação entre  $K_1$  (11,7) e  $K_2$  (10,6).

Tabela 7 – Especificações dos tecidos planos de juta.

<b>Amostra</b>	$D$	$K_1$	$K_2$	$K_T$	$gsm$	$v_F$
T	0,139	6,2	4,0	9,3	0,02	7,1
F	0,135	9,1	8,7	15,0	0,03	4,4
A	0,133	11,7	10,6	17,9	0,04	3,3

Fonte: O autor (2022).

Os valores calculados para a gramatura das amostras a partir do modelo de Peirce mostraram-se adequados e próximos aos dados de referência (concedidos pela empresa). A fim de comparação, houve desvio relativo entre valores teóricos e nominal de  $\pm 1,75\%$ ,  $\pm 4,75\%$

e  $\pm 5\%$ , para as amostras T, F e A, respectivamente. Percebe-se que o percentual de variação se eleva à medida que se aumenta a gramatura das amostras. Entretanto, os desvios enquadram-se dentro da tolerância ( $\pm 5\%$ ) admitida pela NBR 10591 (ABNT, 2008), normativa relacionada à determinação da gramatura de superfícies têxteis.

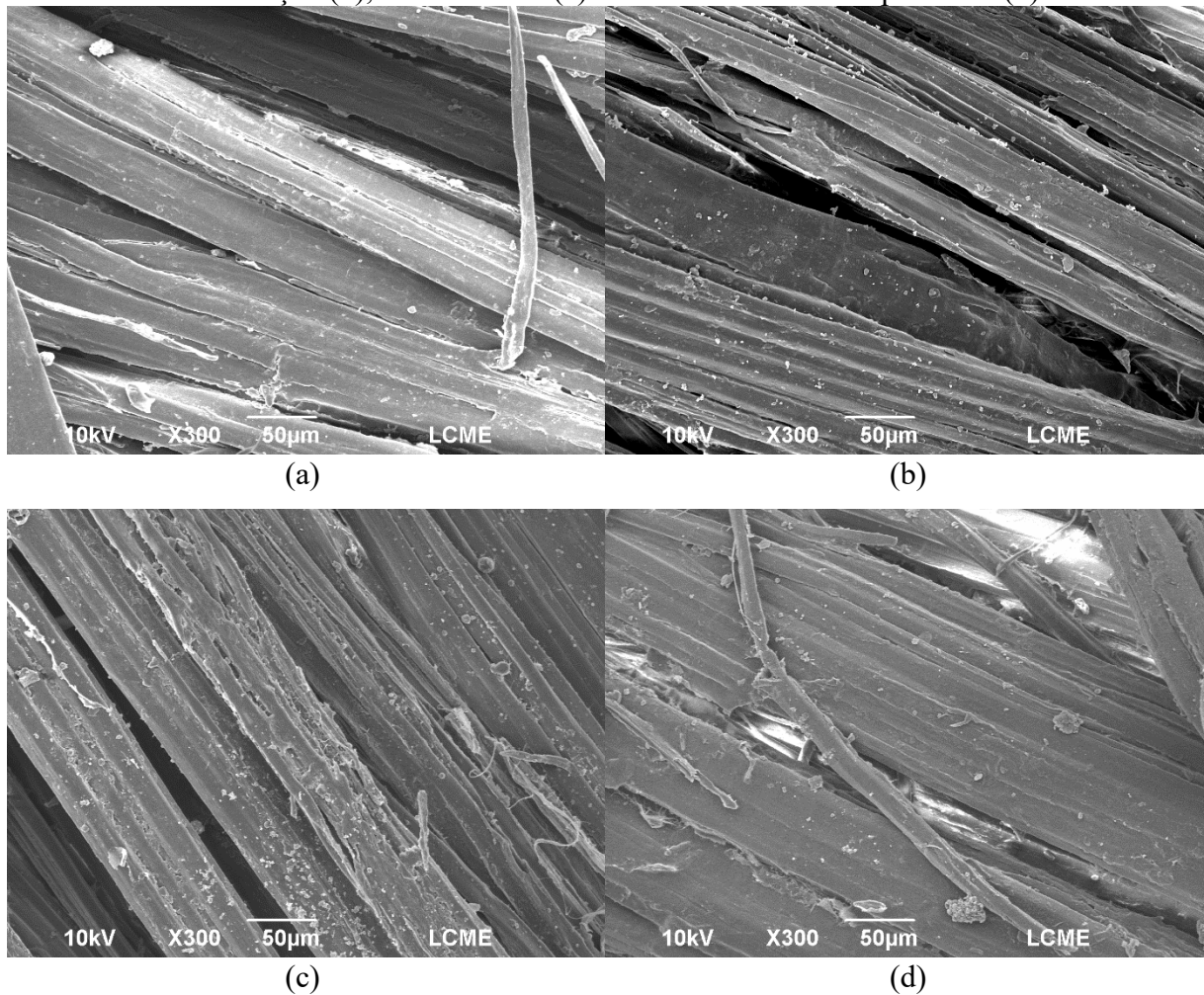
Por fim, o volume específico ( $v_F$ ) obteve tendência decrescente de T para A,  $7,1\text{ cm}^3$  e  $3,3\text{ cm}^3$ , respectivamente. Isto se deve a relação entre espessura ( $D$ ) e gramatura ( $gsm$ ) das amostras. Ou seja, à medida que a espessura dos tecidos estudados foi reduzida, houve aumento da gramatura, fato este que refletiu inversamente no volume específico das amostras (KUMAR; HU; 2017).

### 4.1.3 Análise morfológica dos tecidos

No intuito de identificar possíveis alterações morfológicas das fibras de juta após os tratamentos superficiais, foi realizada a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A Figura 26 ilustra a morfologia das amostras investigadas. Nota-se que não houve mudanças significativas na estrutura do material fibroso, independentemente do tipo de tratamento. Entretanto, percebe-se que a amostra de tecido sem tratamento (Figura 26-a) aparentemente possui a superfície longitudinal recoberta por impurezas. Por outro lado, após os tratamentos (Figura 26-b, 26-c e 26-d), entende-se que houve redução do diâmetro das fibras, por conta da limpeza superficial (remoção de gorduras, ceras etc). Além disso, houve maior exposição da estrutura da fibra, resultando em um material mais rígido e maior rugosidade (WANG et al., 2019).

Tais resultados vem ao encontro dos estudos realizados por Fonseca et al. (2021), que concluiu que tanto a hornificação quanto o tratamento hidrotérmico, promovem mudanças na superfície fibrosa, em virtude do agrupamento das cadeias polissacarídicas da celulose. Assim permite que a estrutura resultante possua maior ductibilidade. A propósito Ferreira et al. (2015) assinala que, durante o tratamento com copolímero, ocorre a absorção da solução polimérica por meio das células fibrosas e as paredes internas do lúmen. Posteriormente, após o processo de secagem a estrutura torna-se mais acoplada, em virtude do próprio enrijecimento do elastômero.

Figura 26 – Micrografias das amostras de tecidos: sem tratamento (a); após processo de hornificação (b), hidrotérmico (c) e revestimento com copolímero (d).



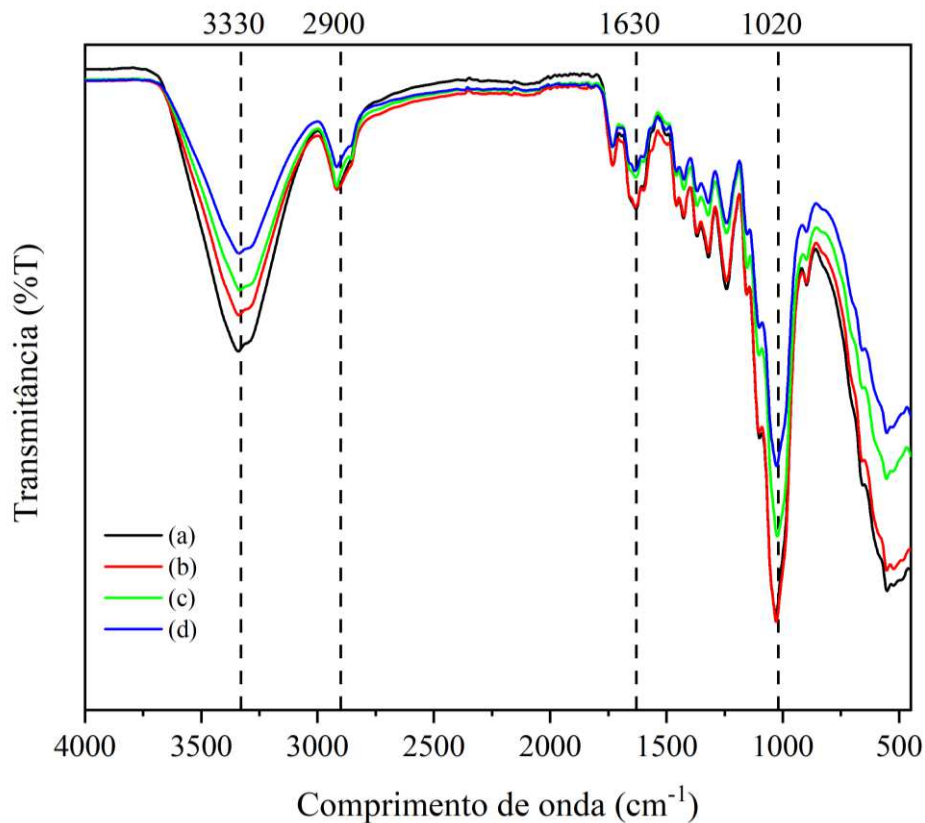
Fonte: O autor (2022).

#### 4.1.4 Análise FTIR

A análise FTIR foi realizada para verificar possíveis modificações dos grupos funcionais sobre a superfície do substrato têxtil, antes e após os tratamentos. Deste modo, a Figura 27 demonstra os resultados obtidos para os espectros no infravermelho de quatro amostras registrados entre as bandas de 4000,0 a 450,0  $\text{cm}^{-1}$ . O pico em torno de 3330,0 corresponde ao alongamento O-H e ligações de hidrogênio, característico da celulose presente sobre a superfície das fibras de juta (SEKI et al., 2022; KILINC et al., 2016). As vibrações observadas na banda de 2900,0  $\text{cm}^{-1}$  em todas as amostras indicam o estiramento C-H para dois grupos, metil (CH) e metileno ( $\text{CH}_2$ ), presentes na celulose e hemicelulose do material (WANG

et al., 2019). Percebe-se que houve leve redução da intensidade dos picos na faixa citada quando comparado o tecido sem e com tratamento. Tal diminuição pode ser considerada como resultado da remoção de impurezas, bem como graxas sobre a superfície do substrato após o tratamento superficial (MUTHALADO et al., 2021).

Figura 27 – Análise FTIR de tecidos planos de juta: (a) sem tratamento; (b) hornificação; (c) hidrotérmico; (d) copolímero.



Fonte: O autor (2022).

Entre as bandas de 2750,0 a 1800,0  $\text{cm}^{-1}$  não foram notados picos e assim, sugere-se a ausência de ligações triplas, aspecto também comentado por Shahinur et al. (2021) que em seus trabalhos, avaliou diferentes tratamentos sobre a superfície fibrosa de juta. As absorções observadas em 1630,0  $\text{cm}^{-1}$  caracterizam-se pela presença de água, absorvida principalmente, pela remanescência de grupos hidrofílicos (-OH e -COOH) sobre a superfície da fibra, mesmo após o tratamento superficial (PAIVA et al., 2007; FERREIRA et al., 2020). Por fim, próximo ao comprimento de onda 1020,0  $\text{cm}^{-1}$  tem-se grande intensidade dos picos, no qual, indicam

alterações notáveis correspondentes ao estiramento C-O-C de substituintes laterais do xilano, bem como, o alongamento C-O da lignina (SEKI et al., 2019).

Considera-se que após o tratamento superficial tem-se a remoção de diferentes componentes químicos característicos de fibras vegetais, restando apenas pequenas quantidades de celulose e lignina (PAIVA et al., 2007). Além disso, a eliminação de graxas e outras impurezas sobre a superfície da fibra sugere que possivelmente a adesão entre matriz e reforço de materiais compósitos pode ser aprimorada (MWAIKAMBO; ANSELL, 2002). Nesta mesma linha de considerações, apesar dos processos a base de água (hornificação e hidrotérmico) contribuir com modificações sobre a superfície do tecido, entende-se que o tratamento utilizando copolímero foi superior.

## 4.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS TECIDOS DE JUTA

### 4.2.1 Resistência à tração de amostras sem tratamento

A partir da Tabela 8, pode-se observar a média dos valores de tensão ( $\sigma$ ), deformação ( $\varepsilon$ ) e módulo de elasticidade ( $E$ ) para os três raportes em estudo, divididos em trama (T) e urdume (U), totalizando em seis grupos de amostras no total. Nota-se que as amostras de FT também tiveram bons resultados, visto maior módulo de elasticidade (2,7 GPa). Entretanto, os níveis de tensão foram mais baixos em comparação com AU. Além disso, é possível verificar que a distribuição de valores de FU e FT mostra-se acima das amostras de AU e AT, portanto, possuindo maior variabilidade das propriedades para o substrato F em ambas as direções.

Tabela 8 – Resultados de resistência à tração de tecidos planos de juta sem tratamento.

Amostra	$\sigma$ (MPa)	$\varepsilon$ (mm/mm)	$E$ (GPa)
TU	53,7	0,01	0,7±0,2
TT	76,7	0,02	1,4±0,3
FU	78,1	0,03	2,0±0,4
FT	89,0	0,03	2,7±0,3
AU	119,5	0,02	2,4±0,2
AT	77,6	0,03	2,1±0,3

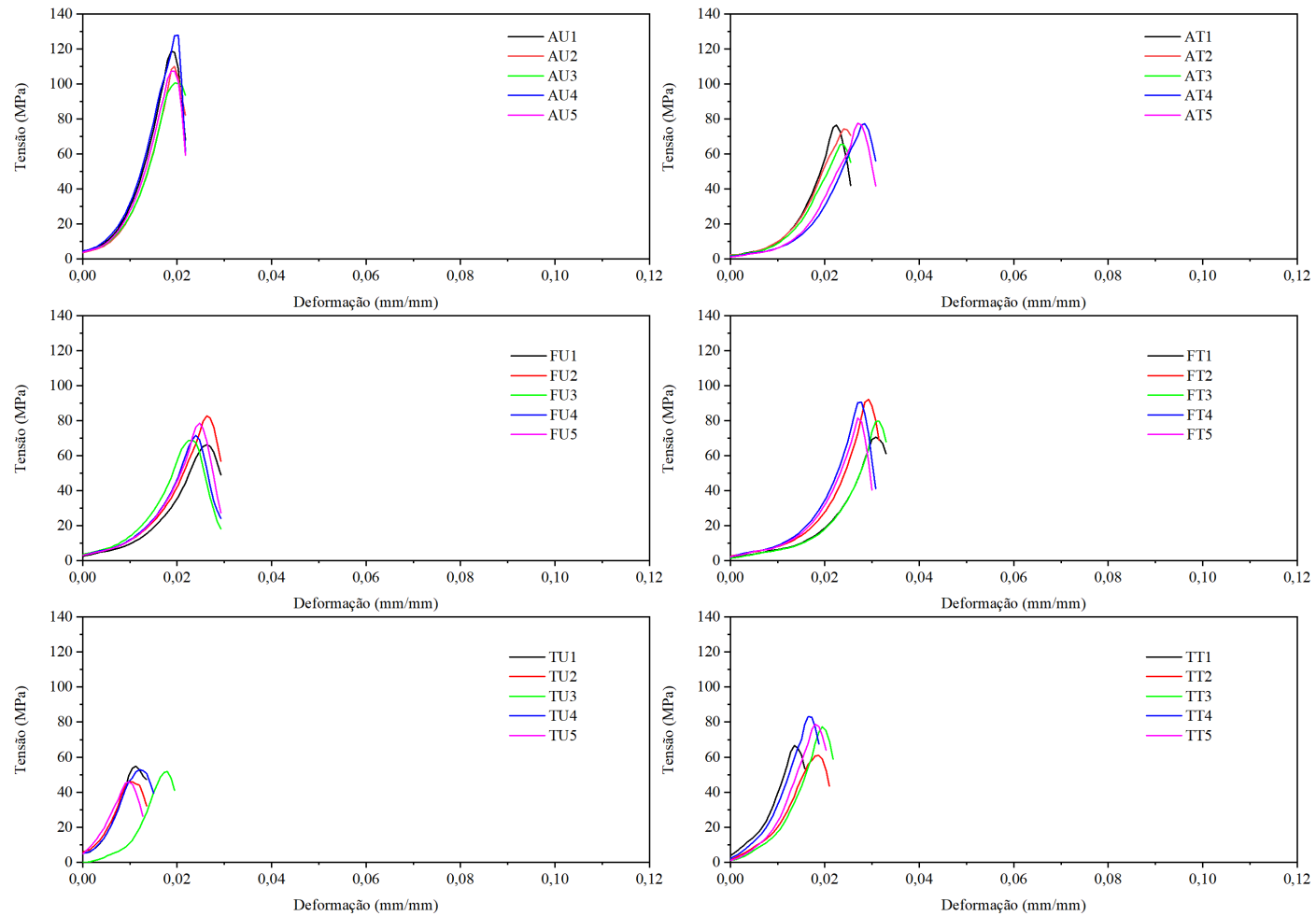
Fonte: O autor (2022).

A Figura 28 demonstra as curvas de tensão *versus* deformação de trinta amostras, distribuídas entre as direções do urdume e trama, para cada padrão de tecido em estudo. Dentre os quais, a maior resistência foi obtida para as amostras de AU, com 119,6 MPa. Em contrapartida, o menor nível foi de 53,7 MPa para TU.

Entende-se que os tecidos possuem características anisotrópicas, flexíveis e diferenças viscoelásticas. As propriedades mecânicas resultantes dependem das especificações do material (espaçamento de fios, título, fração volumétrica de fibras, dentre outros). Deste modo, os tecidos planos possuem capacidade de suportar elevados valores de tensão, sob carga de tração, compressão e impacto, em virtude, da própria estrutura originada pelo arranjo de fibras (DIXIT; MAI, 2013; NAIK, 1995; CHOU; KO, 1989).

Neste sentido, a fim de reconhecer possíveis alterações nos padrões de tecidos planos de juta sob efeito dos tratamentos superficiais em estudo, a próxima seção demonstrará os dados obtidos. Como também, as possíveis distinções entre a performance dos substratos sem e com tratamento.

Figura 28 – Curvas de tensão versus deformação dos tecidos sem tratamento.



Fonte: O autor (2022).

#### 4.2.2 Resistência à tração de amostras com tratamento

Os ensaios de resistência à tração das amostras foram executados nos mesmos parâmetros que os testes anteriores. A Tabela 9 demonstra os resultados para as três estruturas de tecido (T, F e A), considerando as duas direções, urdume (U) e trama (T), após tratamento superficial com três técnicas diferentes: H, hornificação; HT, hidrotérmico; C, copolímero.

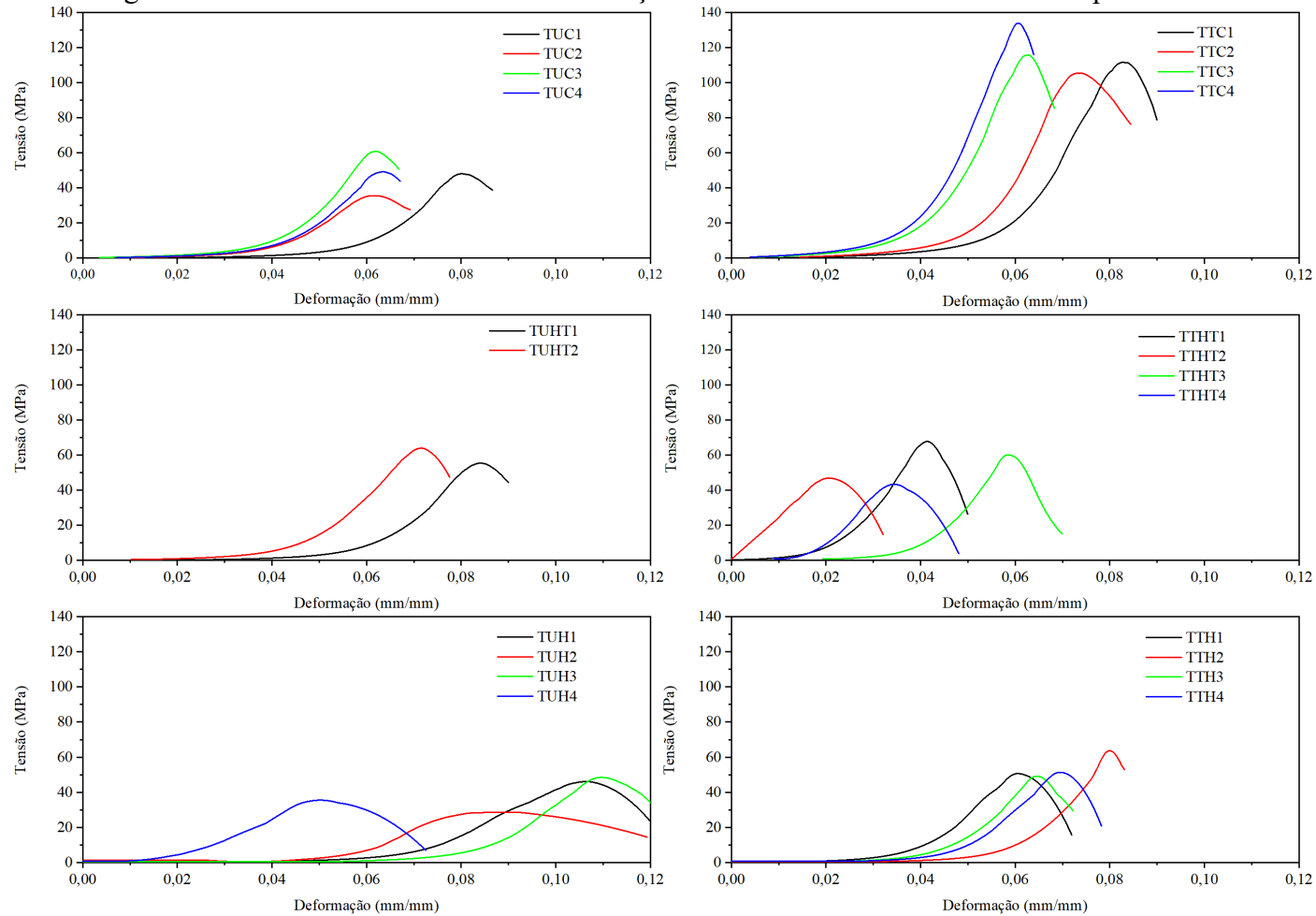
A partir dos dados obtidos é possível verificar que o nível máximo de tensão obtido foi para a amostra TTC (116,6 MPa), seguida por AUC (91,5 MPa) e AUH (70,3 MPa). Além disso, para todos os substratos houve aumento no suporte de carga de tração após o tratamento superficial, independentemente do tipo de processo realizado.

Estudos comparando compósitos reforçados com tecidos planos de juta demonstraram que a estrutura *basket* contribui para o melhor desempenho como reforço quando comparada com padrões tela/tafetá, principalmente, considerando a direção do urdume (RAJESH et al., 2018). O padrão *basket* apresenta maior resistência à deformação e suporta maior carga que as outras duas estruturas em análise, devido ao próprio raporte *basket* em seu processo produtivo. Rajesh e seus colaboradores (2018) afirmam que a estrutura restringe o estiramento dos fios em ambas às direções (urdume e trama) e, portanto, reduz o deslocamento do material. Deste modo, mesmo que a amostra TTC tenha resultado mecânico maior, ainda assim há variabilidade em toda a estrutura, principalmente, menor estabilidade dimensional. Portanto, pode não oferecer suporte adequado como reforço para compósitos cimentícios.

As curvas de tensão *versus* deformação de setenta amostras tratadas superficialmente, ensaiadas e separadas por grupos conforme substrato base, podem ser visualizados na Figura 29, 30 e 31. Nota-se que não há tendência entre as direções, urdume e trama, para os níveis de resistência obtidos. Este aspecto é comentado por Jahan (2017) que em seus estudos, obteve resultados que evidenciavam as capacidades mecânicas na direção do urdume frente à trama.

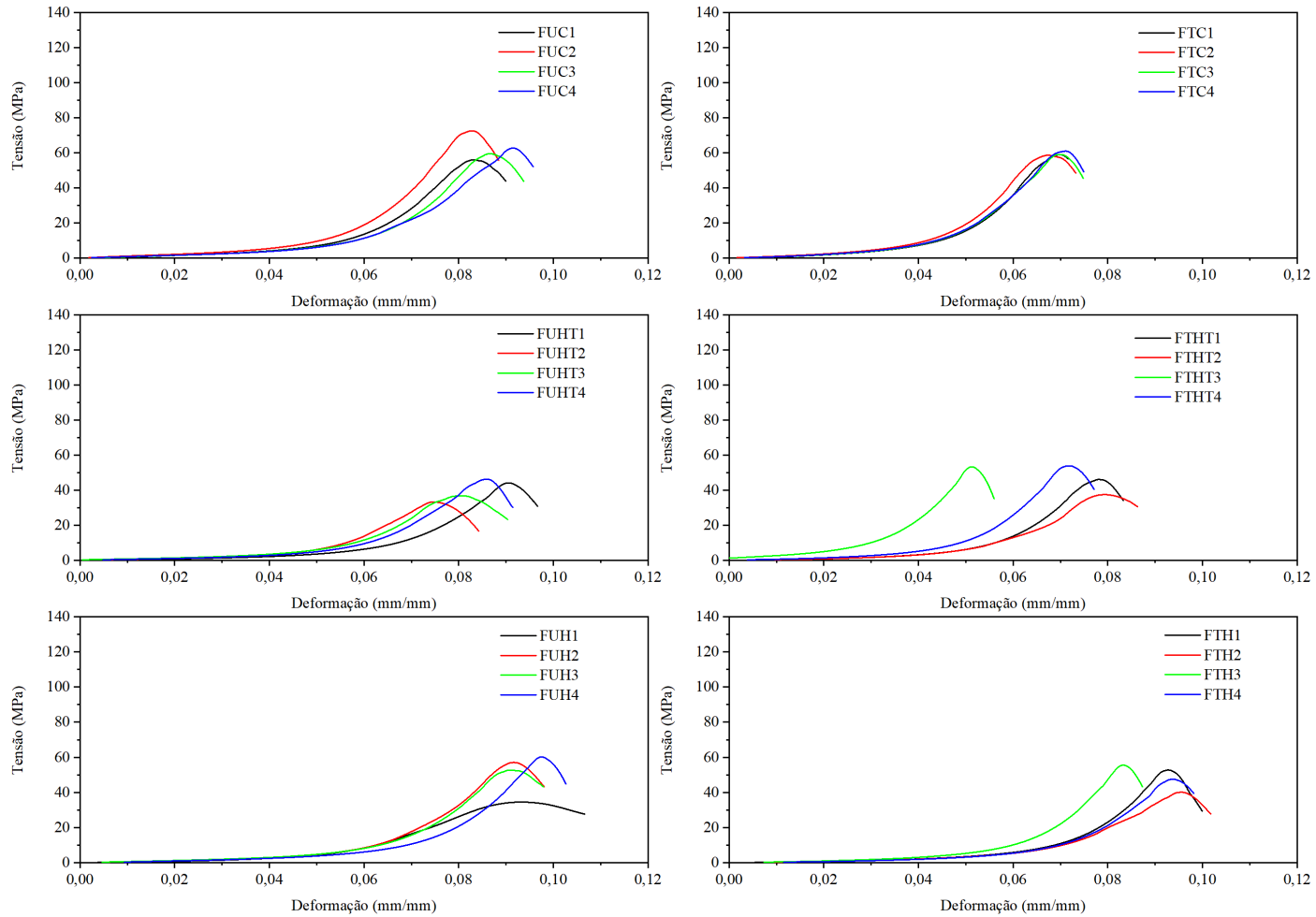


Figura 29 - Curvas de tensão *versus* deformação das amostras T com tratamento superficial.



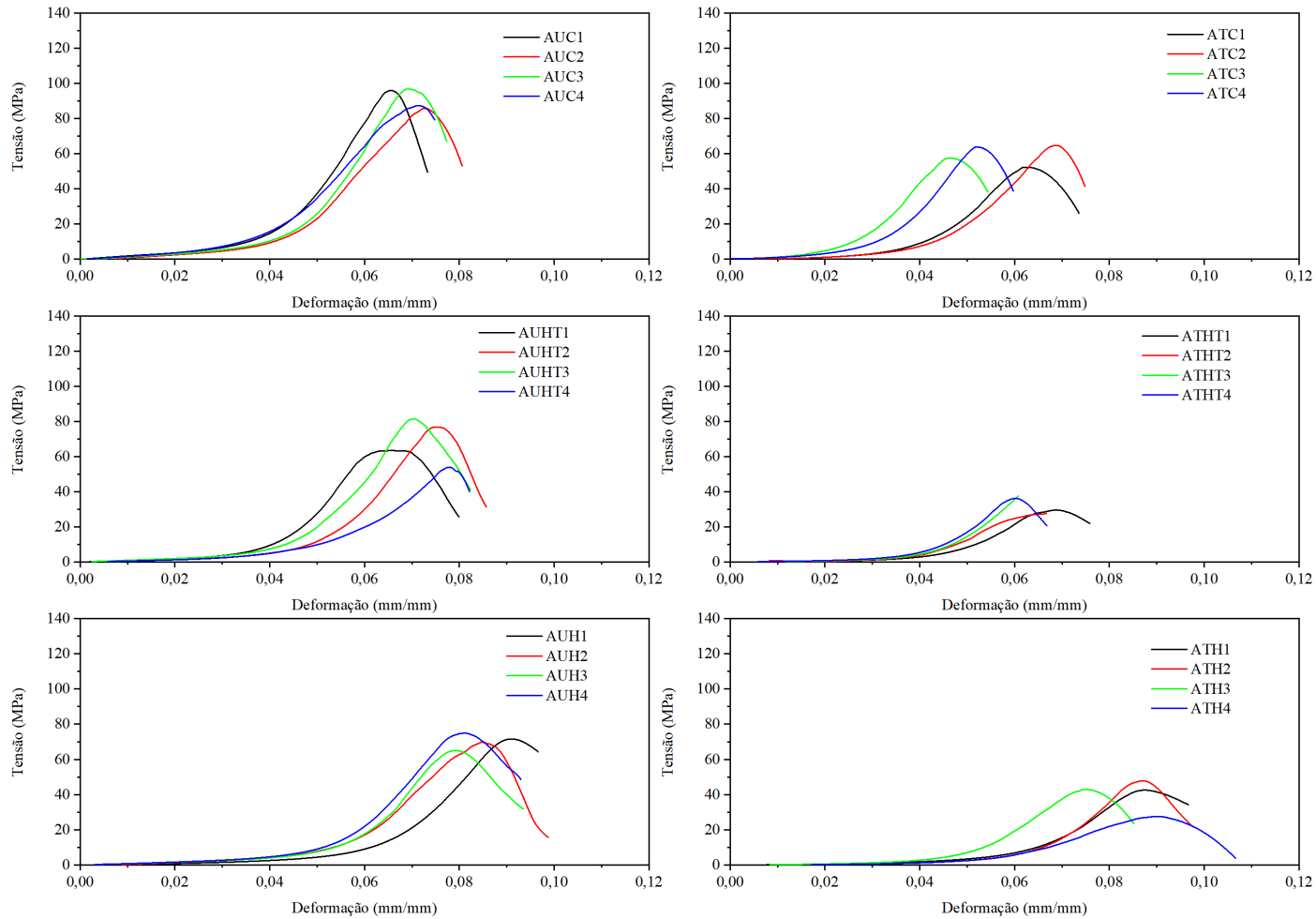
Fonte: O autor (2022).

Figura 30 - Curvas de tensão *versus* deformação das amostras F com tratamento superficial.



Fonte: O autor (2022).

Figura 31 – Curvas de tensão *versus* deformação das amostras A com tratamento superficial.



Fonte: O autor (2022).

Tabela 9 – Ensaio de resistência à tração de tecidos planos de juta com tratamento: H, hornificação; HT, hidrotérmico; C, copolímero.

Amostra	$\sigma$ (MPa)	$\varepsilon$ (mm/mm)	$E$ (GPa)
TUH	39,7	0,09	3,6±1,7
TTH	53,7	0,07	3,7±0,9
TUHT	59,7	0,08	4,6±0,1
TTHT	54,5	0,04	2,2±1,2
TUC	48,4	0,1	3,2±0,8
TTC	116,6	0,07	8,1±0,8
FUH	51,1	0,09	4,8±1,1
FTH	48,9	0,09	4,5±0,5
FUHT	40,2	0,1	3,4±0,8
FTHT	47,7	0,07	3,3±0,5
FUC	62,7	0,09	5,4±0,6
FTC	59,4	0,07	4,1±0,2
AUH	70,3	0,08	5,9±0,6
ATH	40,2	0,08	3,4±0,7
AUHT	68,9	0,07	5,0±0,9
ATHT	32,7	0,06	2,1±0,2
AUC	91,5	0,07	6,4±0,2
ATC	59,6	0,06	3,4±0,7

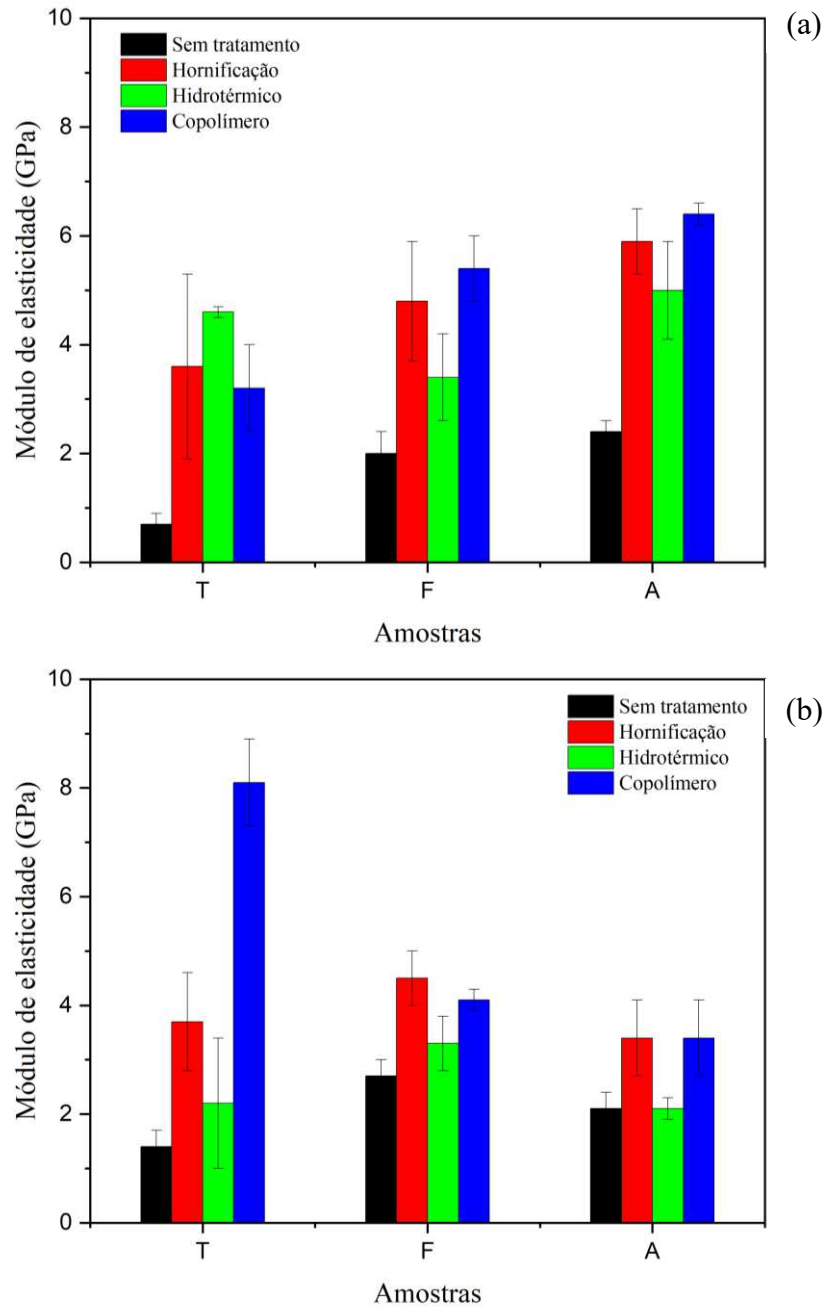
Fonte: O autor (2022).

Nota-se o desenvolvimento das propriedades mecânicas com o aumento dos níveis de resistência a tração atingidos para os três tratamentos de superfície estudados. É interessante verificar que amostras revestidas com copolímero (C) estireno-butadieno obtiveram melhor desempenho em comparação aos outros dois tratamentos, independente do padrão de tecido. A Figura 32 ilustra o comparativo do módulo de elasticidade das amostras com e sem tratamento.

Neste sentido, cabe citar o trabalho de Ferreira et al. (2020) que levanta a hipótese do copolímero como contribuinte importante no desenvolvimento das propriedades mecânicas das fibras de juta. O autor explica que o revestimento da superfície fibrosa com SBR, proporciona o aumento da capacidade de deformação das fibras, visto que o copolímero reduz o atrito entre as células, aumenta o contato entre as fibras individuais e assim, cada fibra atua como componente ativo no tecido. Portanto, além de contribuir com a transferência de tensões entre

as células das fibras, o elastômero previne a falha prematura do material fibroso, bem como impulsiona a resistência à tração dos mesmos (BISWAS et al., 2014).

Figura 32 – Módulo de elasticidade de tecidos planos de juta sem e com tratamentos superficiais: direção do urdume (a); trama (b).



Fonte: O autor (2022).

Os tratamentos à base de água, no caso, hornificação e hidrotérmico, também contribuíram para a melhora das propriedades mecânicas dos tecidos, principalmente, na direção do urdume (Figura 32-a). Entretanto, menos significativos quando comparados ao processo utilizando copolímero. A hornificação promove modificação da estrutura celular das fibras vegetais, o que permite alterações no comportamento mecânico do material. Ou seja, impulsiona a resistência à tração, deformação e conseqüentemente, módulo de elasticidade. O desempenho obtido é dado por conta do estabelecimento de múltiplas ligações de hidrogênio dos grupos hidroxila (-OH) presentes na celulose, hemicelulose e lignina, com macromoléculas da parede celular. Tal fato expõe as fibras vegetais à umidade onde as ligações formadas anteriormente são rompidas, originam novas ligações de hidrogênio com as moléculas de água e reduzem o intumescimento fibroso. Assim, para que haja o rompimento das fibras, elevada quantidade de energia será necessária para a quebra das ligações. O processo descrito contribui para o aumento da cristalinidade, rigidez e capacidade de deformação da fibra, ou seja, resultando em material mais resistente (GÛMUSKAYA; USTA; KIRCI, 2003; ZUGENMAIER, 2008; FERREIRA et al., 2017).

Por outro lado, o tratamento hidrotérmico obteve os resultados de menor impacto dentre os três processos estudados. Conforme citado por Qian et al. (2015), o comportamento mecânico de fibras vegetais sob efeito de tratamento térmico de fato é aprimorado, em virtude da remoção de hemicelulose e outras impurezas sobre a superfície fibrosa, resultando em maior exposição da celulose e sobretudo, aumentando a resistência da parede celular. Entretanto, os dados obtidos não se sobressaíram aos tratamentos de superfície por hornificação e revestimento com copolímero.

#### 4.3 RELAÇÃO ENTRE PARÂMETROS, TRATAMENTOS SUPERFICIAS E COMPORTAMENTO MECÂNICO DOS TECIDOS PLANOS DE JUTA

Uma vez identificadas as especificações das amostras, análise dos tratamentos superficiais executados e comportamento mecânico, tem-se a seleção do tecido plano a ser utilizado como reforço para a produção de compósitos cimentícios. Adverte-se que o fio é considerado como unidade estrutural básica de tecidos e mesmo que assumido como homogêneo, os fenômenos de contato entre os mesmos (aderência e deslizamento) são

importantes para as propriedades mecânicas resultantes (GONG; OZGEN, 2018). Principalmente, tratando-se de resistência à tração de tecidos, o fio e a padronagem são determinantes para as características finais do material.

Assim, baseado nos resultados obtidos, entende-se que o aumento do número de fios/cm (amostra A), contribuiu para níveis de resistência mais elevados. Mais ainda, que possuem maior quantidade de pontos de ligação. Assim, ambos os fatores contribuem para o aumento do grau de ligação, definido a partir da relação entre gramatura e raporte do tecido. Portanto, a estrutura *basket* (amostra A) apresenta-se como o tecido plano de melhor desempenho mecânico dentre os materiais investigados. Ao referir-se a tal assunto, Gong e Ozgen (2018), comentam que o grau de ligação ou frisado mais elevado, considerando fios transversais (trama), impulsiona a força de atrito interfibra (interação entre fibras), contribuindo para o aumento de resistência devido à distribuição mais adequada na transferência de cargas externas.

Além dos parâmetros dos tecidos planos, outro ponto importante para o estudo de compósitos cimentícios é a adesão entre matriz e reforço. Como previamente citado, a matriz tem característica alcalina e assim, é um meio nocivo para a durabilidade do material de reforço, principalmente, quando estes são materiais de origem vegetal (SANTANA et al., 2021). Portanto, a fim de assegurar o desempenho mecânico adequado e não degradação do reforço, os tratamentos superficiais são essenciais (WEI; MEYER, 2015). Neste sentido, foram experimentados três tratamentos de superfície sobre os tecidos planos de juta, considerando as três estruturas, na direção do urdume e trama.

Os resultados demonstraram que o revestimento com copolímero estireno-butadieno foi mais adequado, visto que contribuiu não somente para a redução de impurezas e químicos indesejados sobre a superfície fibrosa da juta, como também, impactou positivamente no aumento de rigidez dos tecidos, sendo o processo selecionado para o tratamento das amostras A. Nota-se que avaliando as amostras A, a resistência à tração teve redução em torno de 23 % considerando as duas direções dos tecidos. Enquanto o módulo de elasticidade aumentou de  $2,4 \pm 0,2$  para  $6,4 \pm 0,2$  GPa,  $2,1 \pm 0,3$  para  $3,4 \pm 0,7$  GPa, para a direção do urdume e trama, respectivamente. Em seus estudos, Fidelis et al. (2019) avaliaram o comportamento mecânico de material fibroso de juta, no qual, observaram em seus resultados que há relação inversa entre resistência à tração e módulo de elasticidade após o tratamento polimérico. No caso, obteve redução do módulo de  $2,96-6,70$  para  $3,38-4,42$  GPa e tensão média de 67 para 81 MPa. Ainda

que os resultados tenham tendência similar entre resistência e módulo de elasticidade, salienta-se que o padrão de tecido avaliado pelos autores é diferente das estruturas investigadas neste trabalho. Mesmo que o material seja da mesma origem vegetal, os estudos distinguem-se pela quantidade de fios, gramatura, padronagem e até mesmo o polímero empregado para o revestimento superficial. Sobretudo, considerando o fato que têxteis são definidos como materiais flexíveis, anisotrópicos, não homogêneos e porosos, com propriedades viscoelásticas distintas. Assim, a combinação dos parâmetros estruturais e suas interações irão variar perante diferentes padronagens (VASSILIADIS et al., 2011; GONG; OZGEN, 2018).

#### 4.4 MATRIZ CIMENTÍCIA

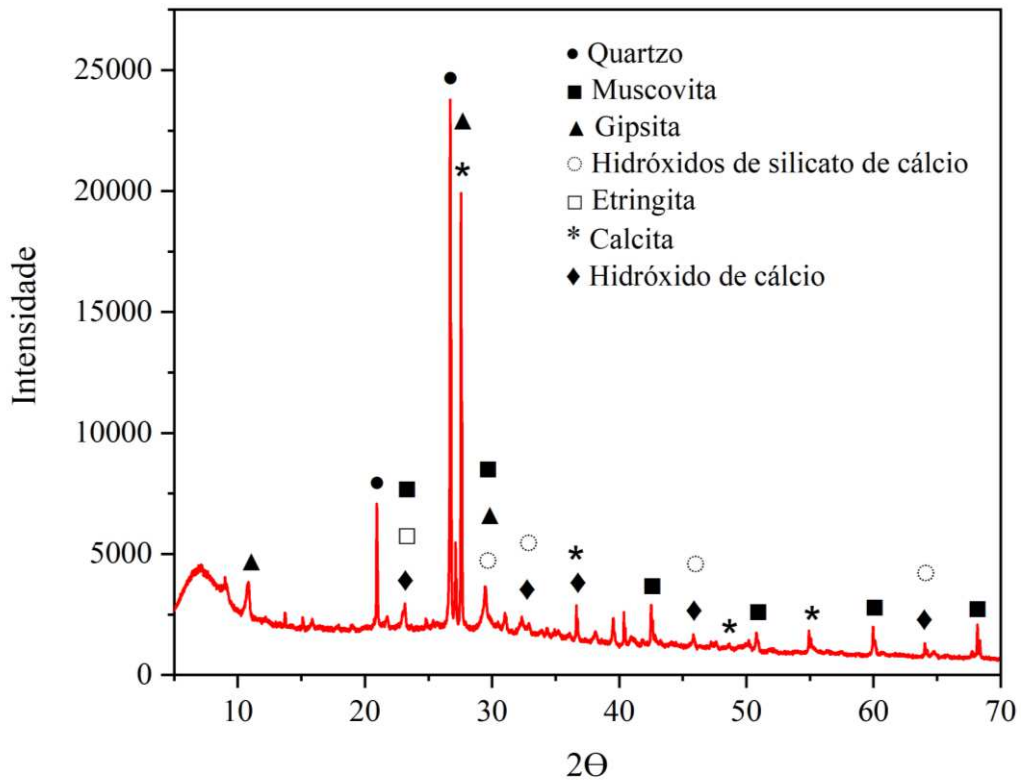
##### 4.4.1 Análise DRX

A técnica foi utilizada no intuito de caracterizar a matriz cimentícia e assim, identificar as fases presentes no material. A Figura 33 ilustra o difratograma obtido. Nota-se a presença de baixa cristalinidade de compostos hidratados como a etringita ( $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ), silicato de cálcio hidratado (CSH) e gipsita/sulfato de cálcio ( $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Além disso, tem-se a calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) proveniente de parte do processo de carbonatação de hidróxidos de cálcio (CH) (FILHO et al., 2017; IBRAHIM et al., 2018).

A substituição parcial de cimento por metacaulim e cinza volante, proporcionaram picos elevados e fortemente distinguidos, principalmente para o quartzo ( $\text{SiO}_2$ ). Isto se deve ao fato que o mineral possui baixa reatividade frente outros compostos da matriz e assim, mostra-se com alta cristalinidade mesmo após os processos de hidratação (MIKHAILENKO et al., 2018; KILMESCH; RAY, 1998).



Figura 33 – Resultado da análise de DRX da matriz cimentícia após 28 dias de cura.



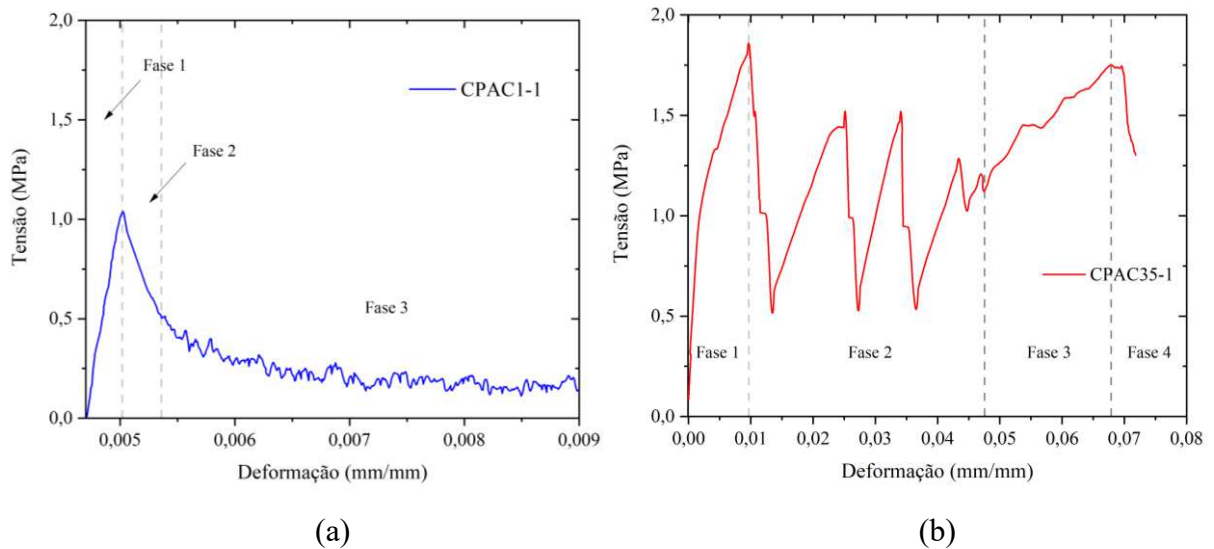
Fonte: O autor (2022).

#### 4.5 COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM TECIDOS PLANOS DE JUTA

A partir da análise das características estruturais de tecidos planos de juta e dos tratamentos superficiais, foram produzidos corpos-de-prova para ensaio de tração uniaxial direta. Assim, a matriz foi constituída conforme dosagem proposta na seção 3.2.4. No intuito de encontrar a fração volumétrica adequada de reforço têxtil e assim, prosseguir com a realização do ensaio mecânico de resistência à tração direta, testes foram realizados com 1 %, 3 % e 3,5 % que correspondem a uma, três e cinco camadas de tecidos, respectivamente. A Figura 33-a e b demonstra a curva de tensão *versus* deformação das duas frações com desempenho inferior. É importante comentar que a matriz de referência utilizada apresentou 65 MPa de resistência após 28 dias de cura, dado obtido a partir do ensaio de resistência à compressão.

Nota-se duas curvas distintas, cada qual contendo características particulares de desempenho para compósitos cimentícios reforçados com têxteis. A Figura 34-a representa o resultado obtido para fração volumétrica com 1 % de reforço, com cerca de 1 MPa de tensão de ruptura e 0,005 mm/mm de deformação. Neste caso, a curva representou o comportamento *strain softening*, com três fases características: i),tem-se a zona elástica do material, sem danos; ii) inicia-se o mecanismo de falha com quebra das fibras do tecido, surgimento de fissuras na matriz e delaminação, resultando na redução do suporte de carga, como também, do módulo de elasticidade do material; iii) tem-se a abertura da fissura principal da matriz, no qual, o tecido tende a perder totalmente a capacidade de transmissão de tensões para a matriz até a falha final (ZOBEIRY; VAZIRI; POURSAARTIP; 2015).

Figura 34 – Curva de tensão *versus* deformação para corpos-de-prova com fração volumétrica: 1 %, CPAC1-1 (a); 3,5 %, CPAC35-1 (b).



Fonte: O autor (2022).

É conveniente comentar que o surgimento da macro fissura foi demasiadamente rápido, bem como a falha final do material. Isto se deve ao fato que a fração volumétrica de 1 % (CPAC1-1) corresponde a uma camada única de tecido empregada como reforço e tal volume é baixo frente à necessidade adequada de aplicação. O mesmo ocorreu para a amostra CPAC35-1, que embora a quantidade de camadas utilizadas passou a ser cinco e a altura do corpo-de-prova alterado de 10 para 15 mm, a fração volumétrica ainda se mostrou baixa. Para este caso, a resistência à tração foi em média 1,8 MPa, valor superior ao CPAC1-1. Em seus estudos

Olivito et al. (2014), utilizando tecidos planos de sisal e linho, comentam que o aumento da fração volumétrica contribui para o desenvolvimento da ductibilidade do compósito cimentício. Os autores empregaram 2,9 e 2,1 % reforço, em placas com 5 e 8 mm de espessura, respectivamente. Os resultados demonstraram que a resistência foi impulsionada com a menor espessura (5 mm) e maior fração volumétrica (2,9 %), com cerca de 3,83 e 3,87 MPa para compósitos com linho e sisal, respectivamente. A fim de comparação, a maior espessura obteve redução de 40 % dos níveis de tensão.

A Figura 34-b mostra a curva de tensão *versus* deformação do corpo-de-prova com cinco camadas de tecido plano de juta (CPAC35-1). Nota-se que o comportamento mecânico foi diferente da amostra com uma camada (CPAC1-1). Neste caso, tem-se quatro zonas que descrevem o desempenho de tensão, conhecida como *strain hardening*. A Fase 1 caracteriza-se pela ausência de fissuras, visto que a matriz cimentícia e o tecido encontram-se em zona linear elástica. A Fase 2 corresponde ao surgimento da primeira fissura e outras subsequentes, o que não interrompe o suporte de carga do material num todo, já que o reforço cumpre com sua função, distribuindo as tensões ao longo da matriz. Além disso, entende-se que o espaçamento entre as fissuras formadas vai reduzindo até o final da zona de propagação citada. A Fase 3 tem início com o fim do processo de fissuração anterior. Nesta região, o tecido não é mais capaz de transferir as cargas até a tensão máxima, o que resulta no rompimento do corpo-de-prova e formação da macro fissura, local onde ocorre o arrancamento do tecido. Por fim, a Fase 4 ocorre após a tensão máxima, aumentando progressivamente a fissura principal e conseqüentemente, reduzindo a tensão (TEIXEIRA; CARDOSO; SILVA, 2021). O comportamento *strain hardening* descrito também ocorreu nos corpos-de-prova do tipo CPAC3 e CPAS3, discutidos adiante.

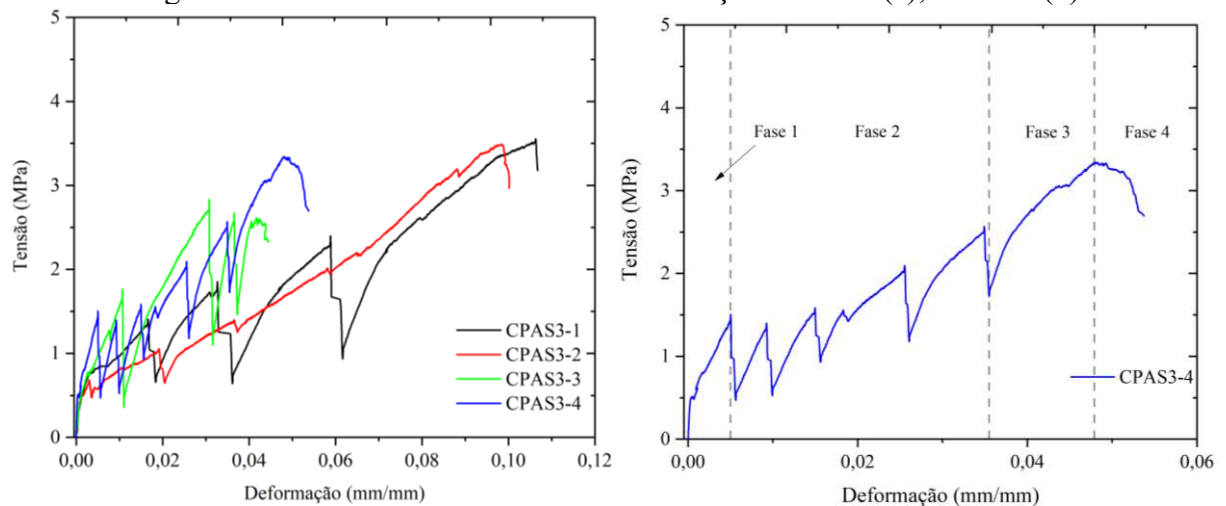
A Tabela 10 sumariza a média dos dados obtidos para o ensaio de tração direta para os quatro compósitos cimentícios estudados. Observa-se que o material produzido com 10 mm de espessura e 3 % de reforço com tratamento superficial de copolímero (CPAC3) atingiu resultados promissores. Comenta-se que  $F_m$  é a força máxima (N);  $\sigma_m$ , a tensão máxima de ruptura (MPa);  $\varepsilon_m$ , a máxima deformação (mm/mm);  $E_1$ ,  $E_2$  e  $E_3$ , o módulo de elasticidade (GPa) para cada região 1, 2 e 3 da curva de tensão *versus* deformação, respectivamente.

Tabela 10 – Ensaio de resistência à tração direta de compósitos cimentícios têxteis.

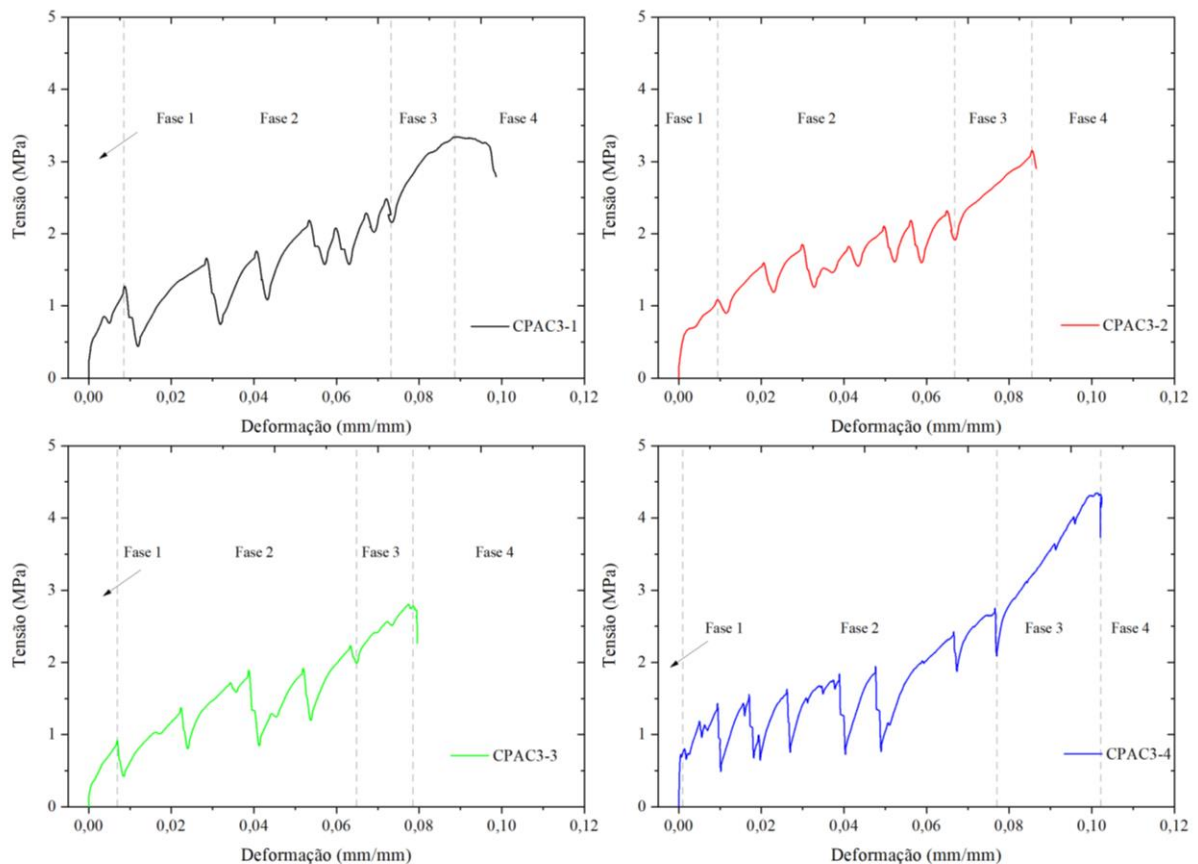
Corpo-de-prova	$F_m$ (N)	$\sigma_m$ (MPa)	$\varepsilon_m$ (mm/mm)	$E_1$ (GPa)	$E_2$ (GPa)	$E_3$ (GPa)
CPAC1	750,9	1,04	0,01	2,87	0,074	0,015
CPAC35	1693,8	1,88	0,09	0,05	0,014	0,026
CPAC3	2063,1	3,44	0,10	0,15	0,033	0,037
CPAS3	1678,6	2,78	0,04	0,41	0,091	0,058

Fonte: O autor (2022).

A investigação seguiu-se usando fração volumétrica de 3 % com tecidos planos de juta com revestimento de estireno-butadieno (CPAC3) e sem tratamento superficial (CPAS3), no intuito de analisar a influência deste sobre o desempenho do compósito. Os dados descritos na Tabela 10 confirmam que o tratamento contribuiu para o desenvolvimento mecânico, justamente porque há melhora no comportamento à tração do material. A fim de comparação a tensão máxima obtida foi de 3,44 e 2,78 MPa, para CPAC3 e CPAS3, respectivamente. A amostra CPAC1 demonstrou maior módulo de elasticidade na Fase 1 (2,87 GPa). Entretanto, rompe-se quase que instantaneamente sob tração e não apresenta o comportamento *strain hardening*, ao contrário do que ocorre com as outras amostras em análise. A Figura 35-a e b demonstram as curvas de tensão *versus* deformação de amostras CPAS3 e CPAC3, respectivamente.

Figura 35 – Curvas de tensão *versus* deformação: CPAS3 (a); CPAC3 (b).

(a)



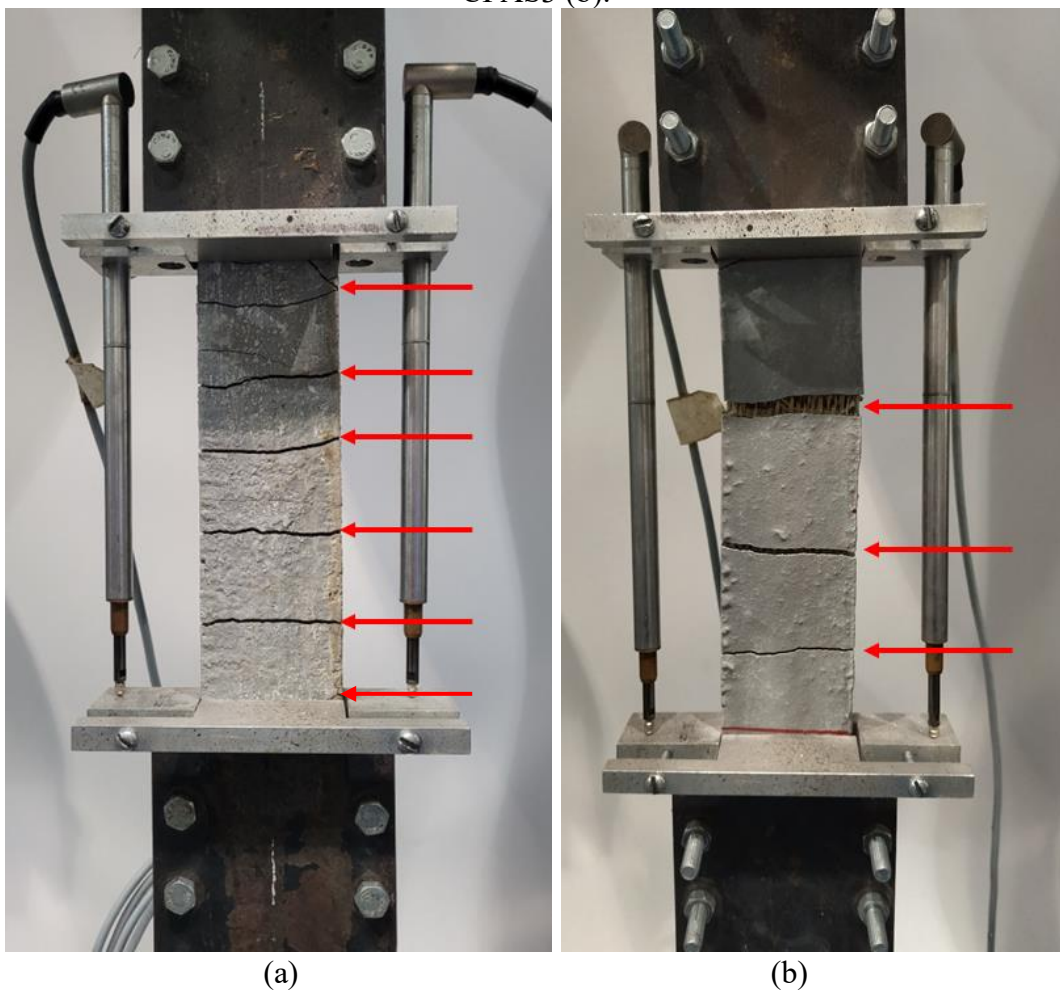
(b)

Fonte: O autor (2022).

É preciso reconhecer que as amostras CPAS3 (Figura 35-a) e CPAC3 (Figura 35-b), possuem diferenças quanto à regularidade das curvas obtidas. Os corpos-de-prova com reforço têxtil tratado demonstraram tendência similar de desempenho, enquanto as amostras sem tratamento tiveram variabilidade de comportamento à tração. Entretanto, mesmo com divergências, sustenta-se que em ambos os casos foi possível identificar as quatro regiões que descrevem o típico padrão de comportamento à tração de compósitos cimentícios têxteis. Principalmente na Fase 2 identifica-se a formação da primeira fissura e em sequência, o padrão das outras trincas de forma quase regular. Tal fato pode ser visualizado na Figura 36, que demonstra corpo-de-prova CPAC3 após o ensaio, com indicação do padrão de fissuração obtido. Em média, as amostras formaram entre 6 a 10 fissuras, com espaçamento de 30,6 mm entre as mesmas. Comenta-se que a aferição dos espaços foi realizada com auxílio do *software* ImageJ (versão 1.53k). Por outro lado, amostras CPAS3 obtiveram 3 a 4 fissuras e espaçamento

de 43,3 mm por área de ensaio. A hipótese considerada para diferença entre a fissuração baseia-se no fato que o maior número de fissuras ocorre em materiais que possuem maior ductibilidade, como também maior afinidade de adesão entre matriz-reforço. Assim, entende-se que o revestimento com copolímero aprimorou não somente as características mecânicas dos tecidos de juta, como contribuiu para o desenvolvimento do comportamento à tração do compósito (GONG et al., 2020).

Figura 36 – Padrão de fissuras de compósitos após ensaio de tração direta: CPAC3 (a); CPAS3 (b).



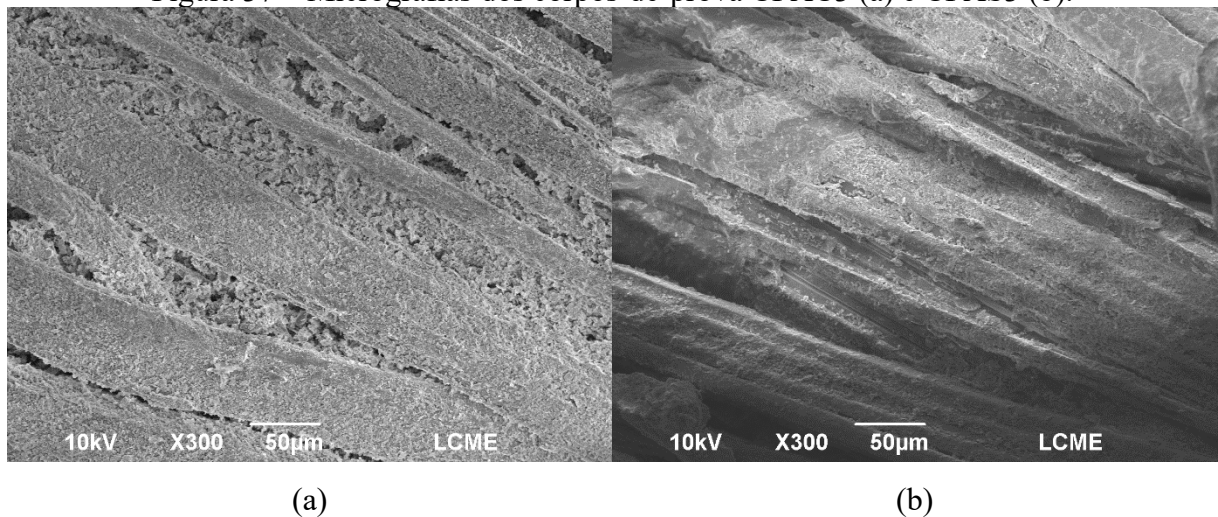
Fonte: O autor (2022).

#### 4.5.1 Aderência matriz-reforço

Para verificar a aderência matriz-reforço, foi utilizada a análise de MEV das amostras CPAC3 (Figura 37-a) e CPAS3 (Figura 37-b). Nota-se que o reforço com tratamento de estireno butadieno (CPAC3) impulsionou a adesão entre as duas fases do compósito, tendo em vista, que o conteúdo de cimento se mostra com distribuição uniforme ao redor dos fios dos tecidos. Isto se deve ao fato que a modificação do copolímero sobre as fibras permitiu a melhora da capacidade de adesão entre reforço e matriz (FIDELIS et al., 2016).

Outras investigações sugerem que o tratamento com copolímero contribui de forma significativa para evitar o fenômeno de inchamento das fibras, no qual, o revestimento polimérico inviabiliza o excesso de absorção de água e, assim, reduz as variações de volume do material têxtil (SAWSEN et al., 2015). Além disso, considera-se que o copolímero origina uma ponte entre o reforço e a matriz, constituindo forte ligação interfacial entre as fases. Neste sentido, o tratamento contribui para o aprimoramento do comportamento mecânico, bem como, a durabilidade do material compósito (FERREIRA et al., 2015).

Figura 37 – Micrografias dos corpos-de-prova CPAC3 (a) e CPAS3 (b).



Fonte: O autor (2022).

## 5. CONCLUSÃO

O trabalho desenvolvido buscou avaliar raportes de tecidos planos de juta para aplicação como reforço de compósitos cimentícios. A investigação permeou diferentes parâmetros, especificações, tratamentos superficiais e comportamento mecânico dos substratos têxteis. Como também, analisou-se o desenvolvimento do material compósito baseado na estrutura de tecido de melhor performance frente às características e propriedades previamente estudadas.

Dentre os raportes estudados, a estrutura *basket* (amostra A) obteve comportamento mecânico promissor devido às características do substrato, tendo em vista especificações do próprio tecido que se sobressaíram às outras duas amostras, como título, densidade e diâmetro dos fios, bem como o frisado do tecido. Principalmente, considerando a direção do urdume do tecido (AU). Portanto, entende-se que a utilização de modelos geométricos como o proposto por Peirce, contribuem para a desenvolvimento, análise e compreensão do material têxtil. Mais ainda, quando o produto é considerado insumo para aplicações técnicas, como no caso dos compósitos cimentícios.

Outro aspecto verificado foi a necessidade de tratamento superficial dos tecidos. Entende-se que por conta das características químicas da fibra de juta, a inserção das mesmas em meios alcalinos como matrizes cimentícias resultam na redução do seu desempenho como material de reforço. Portanto, os tratamentos superficiais tornam-se primordiais para impulsionar o seu rendimento. Assim, dentre as técnicas de modificação empregadas, tratamentos à base de água (hornificação e hidrotérmico) contribuíram para a melhora do comportamento à tração uniaxial dos tecidos. Entretanto, não resultaram na performance predominante frente aos dados obtidos utilizando estireno-butadieno. Sendo este o tratamento determinado para posterior desenvolvimento do compósito (AUC).

Em decorrência de todos os aspectos levantados, os compósitos cimentícios foram fabricados utilizando AUC como reforço, avaliados em três frações volumétricas distintas. A partir de ensaios de tração direta dos corpos-de-prova, o tipo CPAC3 (reforço 3 %) obteve resultados superiores dentre todas as amostras investigadas. Isto se deve ao fato que o material exibiu comportamento *strain-hardening* adequado, diferentemente de outros corpos-de-prova (CPAC1-1, CPAC35-1 e CPAS3). Ademais, mostrou-se como material de maior ductibilidade,



visto o padrão de fissuração preponderante, além de apresentar melhor adesão entre matriz-reforço.

Por fim, salienta-se como a compreensão de têxteis técnicos favorece o desenvolvimento de novos produtos para os mais diversos setores. Investigações considerando diferentes substratos fibrosos (tecidos planos, malhas e não tecidos) são alternativas prósperas para inovações tecnológicas. Principalmente por conta das características singulares dos materiais têxteis, como flexibilidade e leveza. Além disso, o reconhecimento de matéria-prima de origem natural, como a juta, contribui para o conhecimento técnico-científico, como também, para o desenvolvimento social, econômico e ambiental.

## 6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir do estudo realizado, sugere-se algumas opções para trabalhos futuros.

Análise de outras estruturas de tecidos planos, com variações de seus parâmetros e especificações. Bem como, a utilização de outros modelos geométricos, como por exemplo, o modelo de Grosberg.

Produção de substratos têxteis adequados para a utilização como reforço.

Investigações sobre o tratamento superficial utilizando copolímero, a fim de aprimorar o processo, avaliando ciclos de imersão na solução polimérica e secagem.

Estudo da quantidade de camadas de reforço e dimensões dos corpos-de-prova adequados para a produção e posterior, análise do comportamento mecânico dos compósitos cimentícios têxteis. Neste sentido, considerando outros métodos de ensaios mecânicos para além da resistência à tração direta.

## REFERÊNCIAS

- ABDELMOULEH, M. et al. Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibres loading. **Composites Science and Technology**, v. 67, n. 7–8, p. 1627–1639, jun. 2007.
- ABNT. Têxteis - Propriedades de tração de tecidos Parte 1: Determinação de força máxima e alongamento à força máxima utilizando o método de tira. 2016.
- ADIGOPULA, V. K. et al. Mechanistic Analysis of Subgrade Soil Reinforced with Modified Jute Geotextile. In: [s.l: s.n.]. p. 164–178.
- AGOPYAN, V. et al. Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 5, p. 527–536, maio 2005.
- AHMAD, J. et al. Mechanical, Durability and Microstructure Analysis Overview of Concrete Made with Metakaolin (MTK). **Buildings**, v. 12, n. 9, p. 1401, 7 set. 2022.
- AHMAD, S.; ULLAH, T.; ZIAUDDIN. Fibers for Technical Textiles. In: [s.l: s.n.]. p. 21–47.
- YIN, R.; TAO, X. M.; XU, B. G. Mathematical Modeling of Yarn Dynamics in a Generalized Twisting System. *Scientific Reports*, v. 6, n. 1, p. 24432, 15 abr. 2016.
- ALI, A. et al. Comparison of Flexural Performance of Lightweight Fibre-reinforced Concrete and Normalweight Fibre-reinforced Concrete. **Periodica Polytechnica Civil Engineering**, 23 jan. 2017.
- ALI-BOUCETTA, T. et al. Treatment of date palm fibres mesh: Influence on the rheological and mechanical properties of fibre-cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 273, p. 121056, mar. 2021.
- ALOMAYRI, T.; SHAIKH, F. U. A.; LOW, I. M. Mechanical and thermal properties of ambient cured cotton fabric-reinforced fly ash-based geopolymer composites. **Ceramics International**, v. 40, n. 9, p. 14019–14028, nov. 2014.
- ANDRADE NETO, J. DA S.; DE LA TORRE, A. G.; KIRCHHEIM, A. P. Effects of sulfates on the hydration of Portland cement – A review. **Construction and Building Materials**, v. 279, p. 122428, abr. 2021.
- ARAÚJO, M. .; FANGUEIRO, R.; HONG, H. **Technical Textiles: Materials for the New Millennium - Vol. II: Applications, Technologies and Testing**. Braga, Portugal: [s.n.].
- 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, mar. 2015.
- ASTM. D1059 - 17: Standard Test Method for Yarn Number Based on Short -Length Specimens. 2019.

AVANAKI, M. J.; JEDDI, A. A. A. Theoretical estimation of structural parameters in 2/2 twill woven structures. **Fibers and Polymers**, v. 15, n. 9, p. 1956–1965, 10 set. 2014.

AZIMPOUR-SHISHEVAN, F.; AKBULUT, H.; MOHTADI-BONAB, M. A. Effect of thermal cycling on mechanical and thermal properties of basalt fibre-reinforced epoxy composites. **Bulletin of Materials Science**, v. 43, n. 1, p. 88, 1 dez. 2020.

BAI, X. et al. Weathering of geotextiles under ultraviolet exposure: A neglected source of microfibers from coastal reclamation. **Science of The Total Environment**, v. 804, p. 150168, jan. 2022.

BAKARE, I. O. et al. Mechanical and thermal properties of sisal fiber-reinforced rubber seed oil-based polyurethane composites. **Materials & Design**, v. 31, n. 9, p. 4274–4280, out. 2010.

BALLESTEROS, J. E. M. et al. Synergic effect of fiber and matrix treatments for vegetable fiber reinforced cement of improved performance. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 52–60, abr. 2019.

BEHERA, B. K.; HARI, P. K. The basics of woven fabric structure. In: **Woven Textile Structure**. [s.l.] Elsevier, 2010. p. 3–8.

BENALLEL, A. et al. Design and thermophysical characterization of new thermal insulation panels based on cardboard waste and vegetable fibers. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 48, p. 101639, dez. 2021.

BÉRUBÉ, D.; SAUNIER, P. Manufacturing process of geotextiles. In: **Geotextiles**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 25–60.

BILBA, K.; ARSENE, M.-A. Silane treatment of bagasse fiber for reinforcement of cementitious composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 39, n. 9, p. 1488–1495, set. 2008.

BISWAS, A. K. et al. Influence of Coatings on Tensile Properties of Glass Fiber. **Materials Science**, v. 20, n. 1, 2 abr. 2014. ABNT. **NBR 10591: Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis**, 2008.

BLEDZKI, A. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, v. 24, n. 2, p. 221–274, maio 1999.

BOONG SOO JEON; SO YEON CHUN; CHEOL JAE HONG. Structural and Mechanical Properties of Woven Fabrics Employing Peirce's Model. **Textile Research Journal**, v. 73, n. 10, p. 929–933, 2 out. 2003.

CARADA, P. T. D. L.; FUJII, T.; OKUBO, K. **Effects of heat treatment on the mechanical properties of kenaf fiber**. 2016Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4949604>>

CARNEIRO, J. R.; MIRANDA CARLOS, D.; DE LURDES LOPES, M. Laboratory Degradation of a Reinforcement PET-PP Geocomposite Under Accelerated Weathering

Conditions. **International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering**, v. 7, n. 3, p. 71, 15 set. 2021.

CARVALHO, R.; FANGUEIRO, R.; NEVES, J. Durability of Natural Fibers for Geotechnical Engineering. **Key Engineering Materials**, v. 634, p. 447–454, dez. 2014.

CELINA, M. et al. Extended use of face masks during the COVID-19 pandemic - Thermal conditioning and spray-on surface disinfection. **Polymer Degradation and Stability**, v. 179, p. 109251, 1 jun. 2020.

CHEN, W. et al. **Adopting recycled aggregates as sustainable construction materials: A review of the scientific literature** **Construction and Building Materials** Elsevier Ltd, , 10 set. 2019.

CHOU, T. W. .; KO, F. K. Textile structural composites. In: **Composite Materials Series**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier, 1989.

DE ARAÚJO, M. Natural and man-made fibres: Physical and mechanical properties. In: **Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 3–28.

DE SANTIS, S. et al. Test methods for Textile Reinforced Mortar systems. **Composites Part B: Engineering**, v. 127, p. 121–132, out. 2017.

DENTON, M. J.; DANIELS, P. N. **Textile Terms and Definitions**. 11th. ed. Manchester, UK: The Textile Institute, 2002.

DESAI, A. N.; KANT, R. Geotextiles made from natural fibres. In: **Geotextiles**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 61–87.

DIXIT, A.; MALI, H. S. Modeling techniques for predicting the mechanical properties of woven-fabric textile composites: a Review. **Mechanics of Composite Materials**, v. 49, n. 1, p. 1–20, 9 mar. 2013.

DOS SANTOS, V. et al. Fiber-cement composites hydrated with carbonated water: Effect on physical-mechanical properties. **Cement and Concrete Research**, v. 124, p. 105812, out. 2019.

EL MESSIRY, M.; FADEL, N. Tailoring the Mechanical Properties of Jute Woven/Cement Composite for Innovation in the Architectural Constructions. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 8, p. 1181–1193, 3 ago. 2021.

ELMOGAHZY, Y. E. Textile fabrics. In: **Engineering Textiles**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 249–274.

EURATEX. **Facts & Key Figures 2020**. Disponível em: <<https://euratex.eu/facts-and-key-figures/>>. Acesso em: 15 jul. 2020.

- EVANGELINE, S. Y.; SAYIDA, M. K.; GIRISH, M. S. Long-Term Performance of Rural Roads Reinforced with Coir Geotextile – A Field Study. **Journal of Natural Fibers**, v. 18, n. 10, p. 1419–1436, 3 out. 2021.
- FADARE, O. O.; OKOFFO, E. D. Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 140279, 1 out. 2020.
- FANGUEIRO, R.; SOUTINHO, F. Textile structures. In: **Fibrous and Composite Materials for Civil Engineering Applications**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 62–91.
- FARUK, O. et al. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552–1596, nov. 2012.
- FERREIRA, S. R. et al. Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 551–561, maio 2017.
- FERREIRA, S. R. et al. Effect of Sisal Fiber Hornification on the Fiber-Matrix Bonding Characteristics and Bending Behavior of Cement Based Composites. **Key Engineering Materials**, v. 600, p. 421–432, mar. 2014.
- FIDELIS, M. E. A. et al. Interface characteristics of jute fiber systems in a cementitious matrix. **Cement and Concrete Research**, v. 116, p. 252–265, fev. 2019. .
- FIDELIS, M. E. A.; DE ANDRADE SILVA, F.; TOLEDO FILHO, R. D. The Influence of Fiber Treatment on the Mechanical Behavior of Jute Textile Reinforced Concrete. **Key Engineering Materials**, v. 600, p. 469–474, mar. 2014.
- FONSECA, R. P. DA; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Influence of Different Types of Treatments on Amazonian Vegetable Fibers on the Performance of Mortars Based on Portland Cement, Metakaolin and Fly Ash. **Materials Research**, v. 24, n. suppl 2, 2021.
- GHOSH, M.; SAHA, R.; DAS, M. Application of Jute–Polypropylene Blended Geotextile in Black Cotton Soil Subgrade for Low Volume Road Construction. **International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering**, v. 7, n. 3, p. 53, 3 set. 2021.
- GONG, H.; OZGEN, B. Fabric structures: Woven, knitted, or nonwoven. In: **Engineering of High-Performance Textiles**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 107–131.
- GONG, T. et al. Tensile behavior of hybrid fiber reinforced composites made of strain-hardening cement-based composites (SHCC) and carbon textile. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120913, nov. 2020.
- GONG, X.; CHEN, X.; ZHOU, Y. Advanced weaving technologies for high-performance fabrics. In: **High-Performance Apparel**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 75–112.

GÜMÜSKAYA, E.; USTA, M.; KIRCI, H. The effects of various pulping conditions on crystalline structure of cellulose in cotton linters. **Polymer Degradation and Stability**, v. 81, n. 3, p. 559–564, jan. 2003.

HAN, W. et al. Study on the modification of bleached eucalyptus kraft pulp using birch xylan. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 2, p. 719–725, abr. 2012.

HARI, P. K. Types and properties of fibres and yarns used in weaving. In: **Woven Textiles**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 3–34.

HEARLE, J. W. S. Fibre structure: its formation and relation to performance. In: **Handbook of Textile Fibre Structure**. [s.l.] Elsevier, 2009. p. 3–21.

HOPPE FILHO, J. et al. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte II): Índice de atividade pozolânica com cimento Portland (IAP), difração de raios-X (DRX) e termogravimetria (TG/DtG). **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 22, n. 3, 10 ago. 2017.

HOSSAIN, M. M.; ABDULLA, F. Jute Production in Bangladesh: A Time Series Analysis. **Journal of Mathematics and Statistics**, v. 11, n. 3, p. 93–98, 1 mar. 2015.

HRIBERNIK, S. et al. Tuning of cellulose fibres' structure and surface topography: Influence of swelling and various drying procedures. **Carbohydrate Polymers**, v. 148, p. 227–235, set. 2016.

IBRAHIM, S. S. et al. Metakaolin as an Active Pozzolan for Cement That Improves Its Properties and Reduces Its Pollution Hazard. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, v. 06, n. 01, p. 86–104, 2018.

ISLAM, M. S.; AHMED, S. J. Influence of jute fiber on concrete properties. **Construction and Building Materials**, v. 189, p. 768–776, nov. 2018.

ISLEY, F. The Use of High Performance Textiles in Construction Projects. **Journal of Industrial Textiles**, v. 31, n. 3, p. 205–217, 24 jan. 2002.

IYER, N. R. An overview of cementitious construction materials. In: **New Materials in Civil Engineering**. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 1–64.

JAHAN I. Effect of Fabric Structure on the Mechanical Properties of Woven Fabrics. *Adv Res Text Eng*. 2017; 2(2): 1018.

JEON, B. S. Evaluation of the structural properties of plain fabrics woven from various fibers using Peirce's model. **Fibers and Polymers**, v. 13, n. 1, p. 130–134, 18 jan. 2012.

JIN, R.; YUAN, H.; CHEN, Q. **Science mapping approach to assisting the review of construction and demolition waste management research published between 2009 and 2018** *Resources, Conservation and Recycling* Elsevier B.V., , 1 jan. 2019.

JINIRAJ, R. B.; JAYASREE, P. K.; ANUSHA, S. P. Effect of Surface Modification on the Performance of Natural Fibres—A Review. In: [s.l: s.n.]. p. 609–615.

JO, B. W.; CHAKRABORTY, S.; KIM, H. Efficacy of alkali-treated jute as fibre reinforcement in enhancing the mechanical properties of cement mortar. **Materials and Structures**, v. 49, n. 3, p. 1093–1104, 31 mar. 2016.

KABIR, M. M. et al. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883–2892, out. 2012.

KILINC, A. C. et al. Manufacturing and characterization of vine stem reinforced high density polyethylene composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 91, p. 267–274, abr. 2016.

KLIMESCH, D. S.; RAY, A. Autoclaved Cement-Quartz Pastes with Metakaolin Additions. **Advanced Cement Based Materials**, v. 7, n. 3–4, p. 109–118, abr. 1998.

KÖHNKE, T. et al. Kraft pulp hornification: A closer look at the preventive effect gained by glucuronoxylan adsorption. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 2, p. 226–233, jun. 2010.

KUMAR, B.; HU, J. Woven fabric structures and properties. In: **Engineering of High-Performance Textiles**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 133–151.

KUNDU, S. P.; CHAKRABORTY, S.; CHAKRABORTY, S. Effectiveness of the surface modified jute fibre as fibre reinforcement in controlling the physical and mechanical properties of concrete paver blocks. **Construction and Building Materials**, v. 191, p. 554–563, 2018.

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, n. 1, p. 25–33, 17 fev. 2007.

LI, Y. et al. Fabrication of composite polyamide/Kevlar aramid nanofiber nanofiltration membranes with high permselectivity in water desalination. **Journal of Membrane Science**, v. 592, p. 117396, 15 dez. 2019.

LUO, X. L. et al. Effects of wet-pressing-induced fiber hornification on enzymatic saccharification of lignocelluloses. **Cellulose**, v. 18, n. 4, p. 1055–1062, 12 ago. 2011.

MARTYS, N. S.; FERRARIS, C. F. Capillary transport in mortars and concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 27, n. 5, p. 747–760, maio 1997.

MATHER, R. R.; WARDMAN, R. H. **The Chemistry of Textile Fibres**. Second ed. [s.l.] Royal Society of Chemistry, 2015.

MATTHEWS, K. **Encyclopaedic Dictionary of Textile Terms: Volume 4**. 2018.

MCCARTHY, B. J. An overview of the technical textiles sector. In: **Handbook of Technical**



**Textiles.** [s.l.] Elsevier, 2016. p. 1–20.

MELO FILHO, J. DE A.; SILVA, F. DE A.; TOLEDO FILHO, R. D. Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems. **Cement and Concrete Composites**, v. 40, p. 30–39, jul. 2013.

MENGHE MIAO. Mechanisms of Yarn Twist Blockage. *Textile Research Journal*, v. 68, n. 2, p. 135–140, 2 fev. 1998.

METHACANON, P. et al. Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1090–1096, nov. 2010.

MIAO, M. Yarn spun from carbon nanotube forests: Production, structure, properties and applications. *Particuology*, v. 11, n. 4, p. 378–393, ago. 2013.

MIAO, M.; CHEN, R. Yarn Twisting Dynamics. **Textile Research Journal**, v. 63, n. 3, p. 150–158, 2 mar. 1993.

MIKHAILENKO, P. et al. Influence of physico-chemical characteristics on the carbonation of cement paste at high replacement rates of metakaolin. **Construction and Building Materials**, v. 158, p. 164–172, jan. 2018.

MILITKÝ, J.; MISHRA, R.; VENKATARAMAN, M. Geotextiles and Environmental Protection Textiles. In: **High Performance Technical Textiles**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2019. p. 239–278.

MISHRA, U. C.; SARSAIYA, S.; GUPTA, A. A systematic review on the impact of cement industries on the natural environment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 13, p. 18440–18451, 17 mar. 2022.

MUTHALAGU, R. et al. Extraction and Effects of Mechanical Characterization and Thermal Attributes of Jute, Prosopis Juliflora Bark and Kenaf Fibers Reinforced Bio Composites Used for Engineering Applications. **Fibers and Polymers**, v. 22, n. 7, p. 2018–2026, 26 jul. 2021.

MWAIKAMBO, L. Y.; ANSELL, M. P. Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 84, n. 12, p. 2222–2234, 20 jun. 2002.

NAGAMADHU, M.; JEYARAJ, P.; MOHAN KUMAR, G. C. Influence of textile properties on dynamic mechanical behavior of epoxy composite reinforced with woven sisal fabrics. **Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences**, v. 45, n. 1, p. 1–10, 1 dez. 2020.

NAIK, R. A. Failure Analysis of Woven and Braided Fabric Reinforced Composites. *Journal of Composite Materials*, v. 29, n. 17, p. 2334–2363, 27 nov. 1995.

PAGE, J. et al. Using linseed oil as flax fibre coating for fibre-reinforced cementitious composite. **Industrial Crops and Products**, v. 161, p. 113168, mar. 2021.

PAIVA, M. et al. Alfa fibres: Mechanical, morphological and interfacial characterization. **Composites Science and Technology**, v. 67, n. 6, p. 1132–1138, maio 2007.

PATRA, S.; BERA, A. K. Development of Design Chart for Jute Geotextiles Reinforced Low Volume Road Section by Finite Element Analysis. **Transportation Infrastructure Geotechnology**, v. 8, n. 1, p. 88–113, 8 mar. 2021.

PEIRCE, F. T. 5—THE GEOMETRY OF CLOTH STRUCTURE. **Journal of the Textile Institute Transactions**, v. 28, n. 3, p. T45–T96, mar. 1937.

PICKERING, K. L.; EFENDY, M. G. A.; LE, T. M. A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 83, p. 98–112, abr. 2016.

PRAMBAUER, M. et al. Biodegradable geotextiles – An overview of existing and potential materials. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 47, n. 1, p. 48–59, fev. 2019.

QIAN, S. et al. Effect of hydrothermal pretreatment on the properties of moso bamboo particles reinforced polyvinyl chloride composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 82, p. 23–29, dez. 2015.

QUAZI, S. et al. Fiber reinforced composites. In: **Fiber-reinforced composites**. [s.l.] New York: Nova Science, 2012. p. 1–56.

RAJESH, M.; PITCHAIMANI, J. Dynamic mechanical analysis and free vibration behavior of intra-ply woven natural fiber hybrid polymer composite. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 35, n. 3, p. 228–242, 8 fev. 2016.

RAJESH, M.; SINGH, S. P.; PITCHAIMANI, J. Mechanical behavior of woven natural fiber fabric composites: Effect of weaving architecture, intra-ply hybridization and stacking sequence of fabrics. **Journal of Industrial Textiles**, v. 47, n. 5, p. 938–959, 25 jan. 2018.

RAMESH, M. Hemp, jute, banana, kenaf, ramie, sisal fibers. In: **Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 301–325.

RAMESH, M. Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) fibre based bio-materials: A review on processing and properties. **Progress in Materials Science**, v. 78–79, p. 1–92, jun. 2016.

RAMZAN, M. B. et al. Fibers for Geotextiles. In: [s.l.: s.n.]. p. 129–149.

RAWAL, A.; SHAH, T.; ANAND, S. Geotextiles: production, properties and performance. **Textile Progress**, v. 42, n. 3, p. 181–226, 15 set. 2010.

RAY, D.; SARKAR, B. K. Characterization of alkali-treated jute fibers for physical and mechanical properties. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 80, n. 7, p. 1013–1020, 16 maio 2001.

RAZMI, A.; MIRSAYAR, M. M. On the mixed mode I/II fracture properties of jute fiber-

reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 148, p. 512–520, set. 2017.

REVAIAH, R. G.; KOTRESH, T. M.; KANDASUBRAMANIAN, B. Technical textiles for military applications. **Journal of the Textile Institute**, v. 111, n. 2, p. 273–308, 2020.

ROCHA FERREIRA, S. et al. The influence of carboxylated styrene butadiene rubber coating on the mechanical performance of vegetable fibers and on their interface with a cement matrix. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120770, nov. 2020.

ROCHA FERREIRA, S. et al. The influence of carboxylated styrene butadiene rubber coating on the mechanical performance of vegetable fibers and on their interface with a cement matrix. **Construction and Building Materials**, v. 262, p. 120770, nov. 2020.

ROMBALDO, C. F. S. et al. Brazilian natural fiber (jute) as raw material for activated carbon production. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 4, p. 2137–2144, dez. 2014.

ROUT, J. et al. The influence of fibre treatment on the performance of coir-polyester composites. **Composites Science and Technology**, v. 61, n. 9, p. 1303–1310, jul. 2001.

ROWELL, R. M.; STOUT, H. P. Jute and Kenaf. In: **Handbook of Fiber Chemistry**. [s.l: s.n.]. p. 1056.

RUANO, G. et al. Mechanical behaviour of cementitious composites reinforced with bagasse and hemp fibers. **Construction and Building Materials**, v. 240, p. 117856, abr. 2020.

SABIR, T. Fibers used for high-performance apparel. In: **High-Performance Apparel**. [s.l.] Elsevier, 2018. p. 7–32.

SADIQ, K. M.; BZENI, D. K. H.; SHAIKH, F. U. A. Deflection hardening behaviour of jute strands reinforced lightweight cementitious composite. **Construction and Building Materials**, v. 96, p. 102–111, out. 2015.

SAHA, P. et al. Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 9, p. 3182–3187, maio 2010.

SANTANA, H. A. et al. Vegetable fibers behavior in geopolymers and alkali-activated cement based matrices: A review. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 103291, dez. 2021.

SANYAL, T. Jute, Jute Fiber, and Jute Yarn. In: [s.l: s.n.]. p. 7–17.

SATHISHKUMAR, T. et al. Characterization of natural fiber and composites – A review. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 32, n. 19, p. 1457–1476, 8 out. 2013.

SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, n. 7, p. 1694–1709, jul.

2007.

SAWSEN, C. et al. Effect of flax fibers treatments on the rheological and the mechanical behavior of a cement composite. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 229–235, mar. 2015.

SEKI, Y. et al. Characterization of Flax, Jute, and Sisal Fibers after Sodium Perborate Modification. **AATCC Journal of Research**, v. 6, n. 6, p. 25–31, nov. 2019.

SELLAMI, A.; MERZOUD, M.; AMZIANE, S. Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 1117–1124, out. 2013.

SEN, T.; JAGANNATHA REDDY, H. N. Strengthening of RC beams in flexure using natural jute fibre textile reinforced composite system and its comparative study with CFRP and GFRP strengthening systems. **International Journal of Sustainable Built Environment**, v. 2, n. 1, p. 41–55, jun. 2013.

SHAHINUR, S. et al. Effect of Rot-, Fire-, and Water-Retardant Treatments on Jute Fiber and Their Associated Thermoplastic Composites: A Study by FTIR. **Polymers**, v. 13, n. 15, p. 2571, 1 ago. 2021.

SHAHZAD, A. Hemp fiber and its composites – a review. **Journal of Composite Materials**, v. 46, n. 8, p. 973–986, 15 abr. 2012.

SHI, T. et al. Research progress on CNTs/CNFs-modified cement-based composites – A review. **Construction and Building Materials**, v. 202, p. 290–307, mar. 2019.

SHIRAZI, M. G. et al. Investigation of tensile strength on alkaline treated and untreated kenaf geotextile under dry and wet conditions. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 47, n. 4, p. 522–529, ago. 2019.

SILVA, G. et al. Natural fibers as reinforcement additives for geopolymers – A review of potential eco-friendly applications to the construction industry. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 23, p. e00132, abr. 2020.

SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion**. [s.l.] Elsevier, 2015.

SLISERIS, J.; YAN, L.; KASAL, B. Numerical modelling of flax short fibre reinforced and flax fibre fabric reinforced polymer composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 89, p. 143–154, mar. 2016.

SREENIVASA MURTHY, H. V. **Introduction to Textile Fibres**. [s.l.] WPI Publishing, 2018.

STANKARD, S. Yarn to Fabric. In: **Textiles and Fashion**. [s.l.] Elsevier, 2015. p. 255–287.

STEFFENS, F. et al. Military textiles - An overview of new developments. **Key Engineering**

**Materials**, v. 812 KEM, p. 120–126, 2019.

STRAUB, J. **Identifying positioning-based attacks against 3D printed objects and the 3D printing process**. (M. S. Alam, Ed.) 16 jun. 2017 Disponível em: <<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.2264671>>

TABOR, J.; GHOSH, T. Building and Construction Textiles. In: **High Performance Technical Textiles**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2019. p. 319–352.

TAN, H. et al. Behavior of sisal fiber concrete cylinders externally wrapped with jute FRP. **Polymer Composites**, v. 38, n. 9, p. 1910–1917, set. 2017.

TAO, X. M. ; XU, B. G. Manufacturing method and apparatus for torque-free singles ring spun yarns, 2005.

TECHTEXTIL. **Application areas**. Disponível em: <<https://techtextil.messefrankfurt.com/frankfurt/en/profile.html#application>>. Acesso em: 14 jul. 2020.

TEIXEIRA, R. S. et al. Impact of content and length of curauá fibers on mechanical behavior of extruded cementitious composites: Analysis of variance. **Cement and Concrete Composites**, v. 102, p. 134–144, set. 2019.

TOLÊDO FILHO, R. D. et al. Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 2, p. 185–196, fev. 2003.

TOLÊDO FILHO, R. D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 22, n. 2, p. 127–143, abr. 2000.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 6, p. 2409–2420, jun. 2009.

TRINDADE, A. C. C. **Desenvolvimento e comportamento mecânico de compósitos geopoliméricos têxteis reforçados com fibra de juta**. [s.l.] PUC-RJ, 2017.

TRINDADE, A. C. C. et al. Influence of Elevated Temperatures on the Mechanical Behavior of Jute-Textile-Reinforced Geopolymers. **J. Ceram. Sci. Technol.**, v. 8, n. 3, p. 389–398, 2017.

TRUONG, V. D.; KIM, D. J. A review paper on direct tensile behavior and test methods of textile reinforced cementitious composites. **Composite Structures**, v. 263, p. 113661, maio 2021.

TSERKI, V. et al. A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 36, n. 8, p. 1110–1118, ago. 2005.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for

bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 31 dez. 2010.

VASSILIADIS, S. et al. Mechanical Analysis of Woven Fabrics: The State of the Art. In: **Advances in Modern Woven Fabrics Technology**. [s.l.] InTech, 2011.

VENKATARAJAN, S. et al. Mechanical properties of natural cellulose fibers reinforced polymer composites – 2015–2020: A review. **Materials Today: Proceedings**, v. 47, p. 1017–1024, 2021.

VENKATESH, B.; THYAGARAJ, T. Effect of Reinforcement Form on Bearing Capacity of Sand. In: [s.l.: s.n.]. p. 179–186.

WANG, H. et al. Effect of Jute Fiber Modification on Mechanical Properties of Jute Fiber Composite. **Materials**, v. 12, n. 8, p. 1226, 15 abr. 2019.

WEI, J.; MEYER, C. Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research**, v. 73, p. 1–16, jul. 2015.

WIEWEL, B. V.; LAMOREE, M. Geotextile composition, application and ecotoxicology—A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 317, p. 640–655, nov. 2016.

WTO. **World Trade Statistical Review 2018**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: [https://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/wts2018\\_e/wts18\\_toc\\_e.htm](https://www.wto.org/english/res_e/statis_e/wts2018_e/wts18_toc_e.htm).

WU, H. et al. Review of Application and Innovation of Geotextiles in Geotechnical Engineering. **Materials**, v. 13, n. 7, p. 1774, 10 abr. 2020.

XU, H.; VAN DEVENTER, J. S. J. The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. **International Journal of Mineral Processing**, v. 59, n. 3, p. 247–266, jun. 2000.

YAN, L.; CHOUW, N. Experimental study of flax FRP tube encased coir fibre reinforced concrete composite column. **Construction and Building Materials**, v. 40, p. 1118–1127, mar. 2013.

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: Engineering**, v. 92, p. 94–132, maio 2016.

YU, C. Natural Textile Fibres. In: **Textiles and Fashion**. [s.l.] Elsevier, 2015. p. 29–56.

ZAFAR, M. et al. Potential of Electrospun Nanofibers for Biomedical and Dental Applications. **Materials**, v. 9, n. 2, p. 73, 26 jan. 2016.

ZAKARIA, M. et al. Scope of using jute fiber for the reinforcement of concrete material. **Textiles and Clothing Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 11, 1 jan. 2017.

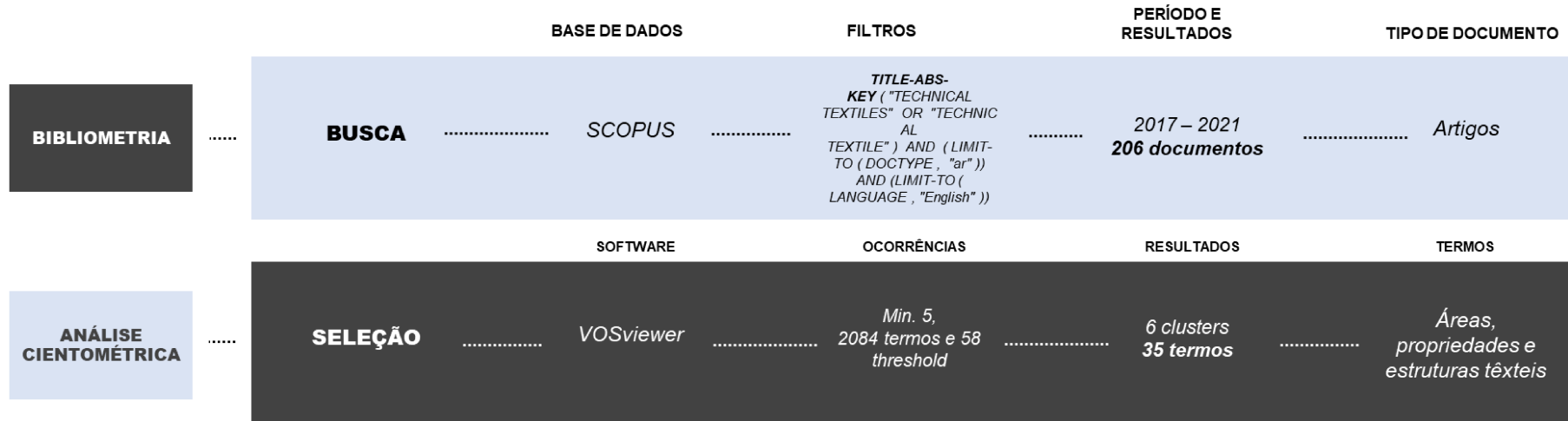
ZHANG, Y. et al. **Global trends and prospects in microplastics research: A bibliometric analysis** *Journal of Hazardous Materials* Elsevier B.V., , 5 dez. 2020.

ZHAO, L. et al. Nanomaterials for treating emerging contaminants in water by adsorption and photocatalysis: Systematic review and bibliometric analysis. **Science of the Total Environment**, v. 627, p. 1253–1263, 15 jun. 2018.

ZHENG, T. et al. Geometric structure model of plain woven fabric based on progressive spring-slide mechanics. **Textile Research Journal**, v. 84, n. 17, p. 1803–1819, 15 out. 2014.

ZUGENMAIER, P. **Crystalline Cellulose and Derivatives**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.

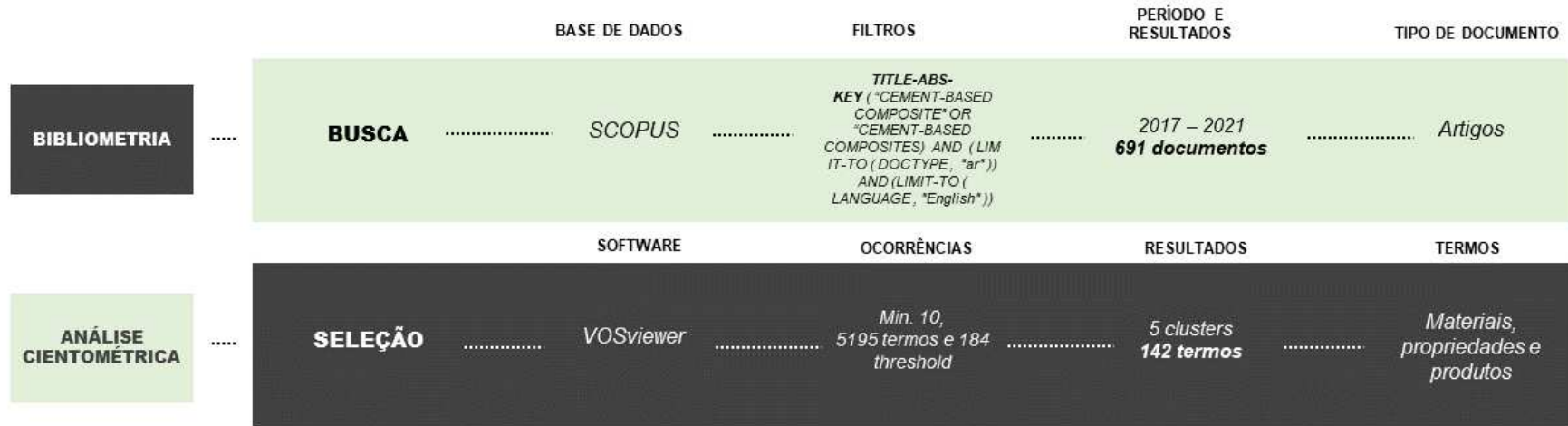
**ANEXO A – *Technical textiles* estrutura da análise bibliométrica e cientometria**



Fonte: O autor (2021).

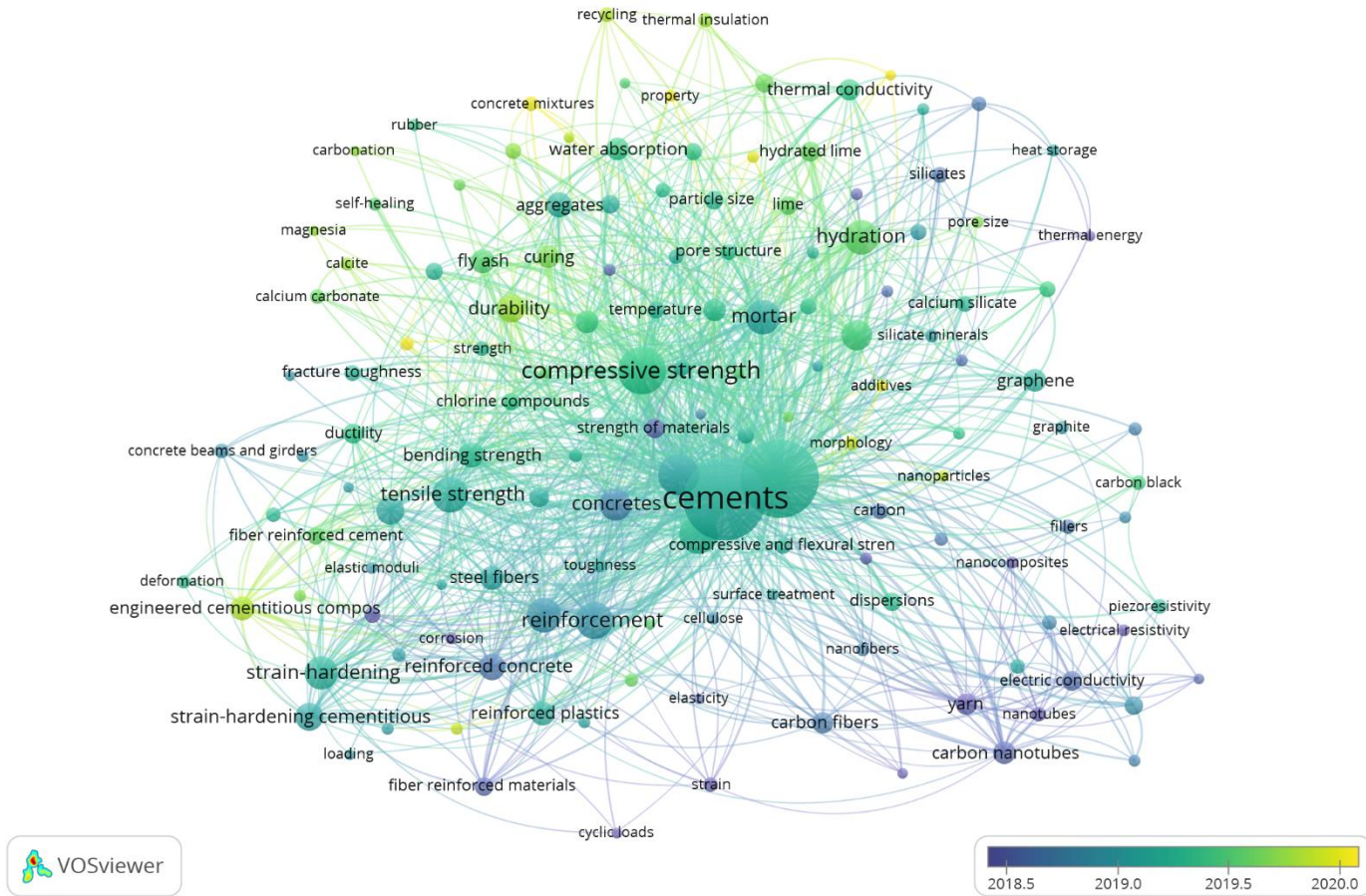


**ANEXO B – *Cement-based composites* estrutura da análise bibliométrica e cientometria.**



Fonte: O autor (2022).

**ANEXO C - Mapa de visualização de sobreposição das palavras-chave para compósitos à base de cimento entre 2017 e 2021.**



Fonte: VOSviewer (versão 1.6.18).