

Renan Felinto dos Santos

**COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM RESÍDUO
TÊXTIL E FIBRA DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharias Campus Blumenau da
Universidade Federal de Santa
Catarina para obtenção do Grau de
Bacharelado em Engenharia Têxtil.
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Fernanda
Steffens.
Coorientador: Prof. Dr. Fernando
Ribeiro Oliveira.

Blumenau
2018

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

dos Santos, Renan Felinto
Compósitos cimentícios reforçados com residuo têxtil
e fibra de carbono / Renan Felinto dos Santos ;
orientadora, Fernanda Steffens, coorientador,
Fernando Ribeiro Oliveira, 2018.
83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau,
2018.

Inclui referências.

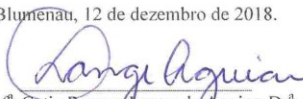
1. Engenharia Têxtil. 2. Compósitos cimentícios.
3. Residuo têxtil. 4. Fibra de carbono. 5.
Resistência à compressão . I. Steffens, Fernanda .
II. Oliveira, Fernando Ribeiro. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia
Têxtil. IV. Título.

Renan Felinto dos Santos

**COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM RESÍDUO
TÊXTIL E FIBRA DE CARBONO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para
obtenção do Título de Engenheiro Têxtil, e aprovado em sua forma final
pelo Curso de Engenharia Têxtil

Blumenau, 12 de dezembro de 2018.



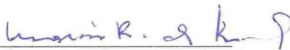
Prof.^a Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr.^a
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

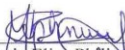


Prof.^a Fernanda Steffens, Dr.^a
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Marcio Roberto da Rocha, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.^a Maria Elisa Philippsen Missner, Dr.^a
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a todos da minha família, em especial, minha mãe e irmã, que tanto me apoiaram durante essa jornada.

Como também, dedico aos queridos amigos que carinhosamente fazem parte da família “trinta e dois”, por nunca terem deixado de ser meu conforto longe de casa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, aos meus familiares por todo o incentivo na busca das minhas realizações.

À minha mãe, Angela Zumba, e minha irmã, Rafaela Felinto, por todo amor e carinho, e por serem as mulheres da minha vida.

Às minhas queridas companheiras de casa, Laura Palermo e Larissa Theodoro, por serem as melhores amigas que alguém possa ter, pessoas especiais que me acompanharam em todos os dias felizes e tristes durante essa caminhada.

Aos meus primeiros orientadores, Prof.^a Dr.^a Cintia Marangoni, Prof.^a Catia Rosana Lange de Aguiar e Prof. Dr. José Alexandre Borges Valle, por depositarem em mim confiança para a execução de seus projetos de Iniciação Científica, pelos ensinamentos e conselhos dados durante a graduação.

Aos meus singulares orientadores, Prof.^a Dr.^a Fernanda Steffens e Prof. Dr. Fernando Ribeiro Oliveira, por todo o suporte e conselhos, assim como todo o entusiasmo, que me inspiraram e incitaram a executar este trabalho.

Aos docentes da Engenharia Têxtil, que desde o início foram determinantes na minha formação acadêmica, como nos aprendizados que serão levados para toda a vida.

Ao corpo docente da Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, em especial ao Prof. Dr. Marcio Roberto da Rocha, Prof.^a Dr.^a Larissa Nardini Carli, Prof. Dr. Leonardo Ulian Lopes e Prof.^a Dr.^a Claudia Merlini, por disponibilizarem os espaços e recursos para a realização de ensaios deste trabalho.

Aos técnicos, Liliana do Amaral Soares e Henrique Hunger Moresco, pelo auxílio na operação dos equipamentos e os conselhos dados.

Aos Laboratórios de Meio Ambiente (LABMAM), Tecidos e Malhas (LABTEC), Ensaios Mecânicos (LEM) e Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE), pelo espaço cedido para a realização do trabalho.

Ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), pelas análises de MEV.

Ao Laboratório de Têxteis Funcionais do Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, da Universidade do Minho em Portugal, pelas análises de FTIR/ATR e DSC.

Ao querido colega, Diogo Guimarães, pela disposição em me ajudar na realização deste trabalho.

A todos aqueles que aos poucos foram fazendo parte da família “trinta e dois”, Jéssica Tavares, Mariana Moreno, Thaisa Garrozi, Lucas Hebbel e todos os outros, pela amizade, companheirismo e vibrações positivas.

A toda a comunidade acadêmica da UFSC-BNU, que me apoiaram durante toda a graduação.

A todos, muito obrigado.

Trate as pessoas com gentileza.

Harry Styles

RESUMO

O setor têxtil tem como característica do seu processo industrial a geração de grandes volumes de residual sólido e líquido. Considerando a tendência de redução dos impactos ambientais, é importante o emprego de recursos até o seu total ou quase esgotamento. Desta forma, é importante buscar alternativas para a valoração do resíduo, por meio de inovações na gestão dos materiais de descarte. Não obstante, a construção civil vem continuamente avaliando estudos que desenvolvam formas inéditas de impulsionar a tecnologia dos materiais de construção, proporcionando ao setor a substituição de métodos consolidados da produção de cimento e concreto. Ambas as engenharias, têxtil e civil, têm como visão a sustentabilidade atrelada ao progresso industrial. Neste sentido, o intuito do trabalho foi avaliar as propriedades obtidas de um compósito cimentício com reforço de resíduo têxtil (viscose) e fibra de carbono. A metodologia consistiu primeiramente na caracterização do material fibroso precursor com a utilização de diferentes técnicas, nomeadamente, MEV, FTIR, DSC e TGA. Posteriormente, ocorreu a preparação, moldagem, cura e ensaios dos corpos-de-prova, verificando a resistência à compressão e a análise estrutural dos compósitos desenvolvidos. Os resultados obtidos mostraram-se favoráveis a adição de fibras como reforço. A massa de resíduo com maior resistência à compressão foi de 0,5%, adquirindo resistência progressiva ao longo dos 28 dias de cura dos corpos-de-prova. Além disso, a adição de fibras permite a não desagregação da matriz cimentícia após a carga máxima de ruptura. Foi possível constatar a capacidade das fibras de evitar a propagação das fissuras formadas.

Palavras-chave: Compósito cimentício. Resíduo têxtil. Celulose regenerada. Fibra de carbono. Resistência à compressão.

ABSTRACT

The textile industry has as a characteristic of generation a large volume of solid and liquid waste. Considering the trend of decrease environmental impacts, it's important to use resources until it depleted or almost depleted. In this way, researching for alternatives that bring valuation of waste, through innovations in the management of waste materials. Although, civil construction's been continuously evaluating studies that develop new paths of boosting the technology of building materials. Providing for industry, the replacement of consolidated methods of cement and concrete production. Both engineering, textile and civil, have as vision sustainability connected to industrial progress. In this regard, the purpose of this work was evaluate the properties obtained from a cementitious composite with textile waste and carbon fiber reinforcement. The methods consisted of characterization precursor fibrous materials by different techniques, SEM, FTIR, DSC and TGA. After, preparing, shaping, curing and testing of specimens for compressive strength and analyze composite structure. The results showed favorable to fiber addition as reinforcement. Mass of waste with higher compressive strength was with 0,5%, reaching constant resistance over 28 days curing. Its clear that, in fact fiber addition allowed matrix cement non-disintegration even after rupture maximum loading. Perhaps, it's observed the ability of fibers to maintain composite structure, avoid the crack propagation.

Keywords: Composite cement. Textile waste. Regenerated cellulose. Carbon fiber. Compressive strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.	32
Figura 2 – Fibra de viscoso: seção transversal (a) e longitudinal (b)	34
Figura 3 – Fibra de carbono (a) e resíduo de viscoso proveniente da peluciadeira (b).....	43
Figura 4 – Dispositivo para ensaio mecânico.....	45
Figura 5 – Desenho esquemático das atividades executadas.....	46
Figura 6 – Fluxograma das etapas realizadas para a produção e teste dos corpos-de-prova.	49
Figura 7 – Corpos-de-prova após desmoldagem.....	50
Figura 8 – Equipamento utilizado para ensaios de resistência à compressão.	51
Figura 9 – MEV das amostras de resíduo com ampliações de (a) 200 e (b) 2000 vezes.....	53
Figura 10 – Análise por MEV da fibra de carbono com ampliações de (a) 200 e (b) 2000 vezes.....	54
Figura 11 – Espectro de FTIR/ATR da amostra de resíduo e fibra de carbono.	55
Figura 12 – Curva de DSC da amostra de resíduo têxtil e fibra de carbono.	57
Figura 13 – TGA das amostras em estudo: resíduo (a); fibra de carbono (b); Cimento Portland - II (c); compósito cimentício reforçado com resíduo 2% (d) e compósito cimentício reforçado com carbono 2% (e).....	58
Figura 14 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova em estudo. 62	
Figura 15 – Falha macroestrutural após ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova com cura de 28 dias: CP (a); CR0 (b), CR1 (c), CR2 (d) e CR4 (e); C2C (f) e C4C (g)	63
Figura 16 – Falhas após ensaio de compressão doscorpos-de-prova com 28 dias de cura: CP (a) e (b); CR0 (c) e (d); CR1 (e) e (f); CR2 (g) e (h); CR4 (i) e (j); C2C (k) e (l); C4C (m) e (n). 65	
Figura 17 – MEV da dispersão de fibras na argamassa, CR4 (a) e CR0 (b), ambas com ampliação de 200 vezes.....	67
Figura 18 – Massa específica das diferentes dosagens de fibra e cura de 28 dias.....	68
Figura 19 – Seção transversal dos corpos-de-prova com 28 dias de cura: CP (a); CR0 (b); CR1 (c), CR2 (d), CR4 (e), C2C (f) e C4C (g)	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros estruturais e propriedades físicas para fibras de carbono comerciais com base nos precursores	36
Tabela 2 – Proporções de materiais utilizados na produção das argamassas	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C2C	Compósito cimentício reforçado com carbono 2,0%
C3A	Aluminato de cálcio
C4C	Compósito cimentício reforçado com carbono 4,0%
CP	Cimento Puro
CR0	Compósito cimentício reforçado com resíduo 0,5%
CR1	Compósito cimentício reforçado com resíduo 1,0%
CR2	Compósito cimentício reforçado com resíduo 2,0%
CR4	Compósito cimentício reforçado com resíduo 4,0%
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
FTIR/ATR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
LABMAM	Laboratório de Meio Ambiente
LABTEC	Laboratório de Tecidos e Malhas
LCME	Laboratório Central de Microscopia Eletrônica
LEM	Laboratório de Ensaaios Mecânicos
LTE	Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MPP	Piche
PAN	Poliacrilonitrila
PNRS	Plano Nacional de Resíduos Sólidos
TGA	Análise Termogravimétrica
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UMINHO	Universidade do Minho

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da seção transversal do corpo-de-prova [mm ²];
D	Diâmetro [μm];
E	Módulo de Young [GPa];
F	Força máxima [N];
<i>l_c</i>	Comprimento crítico;
ρ	Densidade [g.cm ⁻³];
σ	Resistência à compressão [MPa];
σ ₀	Força [GPa].

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	OBJETIVOS	28
1.1.1	Objetivo Geral.....	28
1.1.2	Objetivos Específicos	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1	FIBRAS TÊXTEIS.....	31
2.2	FIBRAS MANUFATURADAS.....	32
2.2.1	Artificiais.....	32
2.2.1.1	Viscose.....	33
2.2.2	Inorgânicas	34
2.2.2.1	Fibra de carbono	35
2.3	TÊXTEIS TÉCNICOS	37
2.4	RESÍDUOS DA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	37
2.5	COMPÓSITOS	38
2.5.1	Compósitos reforçados com fibras para construção civil... 40	40
2.5.1.1	Cimento portland	41
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1	MATERIAIS.....	43
3.1.1	Fibras	43
3.1.2	Cimento Portland.....	44
3.1.3	Moldes	44
3.1.4	Tanque de água saturada de óxido de cálcio (cal)	44
3.1.5	Dispositivo para equipamento de ensaio mecânico	45
3.2	MÉTODOS	45
3.2.1	Caracterização.....	46
3.2.1.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	46
3.2.1.2	Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier com reflexão atenuada (FTIR/ATR)	47
3.2.1.3	Calorimetria exploratória diferencial (DSC).....	47
3.2.1.4	Análise termogravimétrica (TGA)	47
3.2.2	Fabricação dos compósitos	48
3.2.2.1	Método de mistura para a argamassa	49
3.2.2.2	Moldagem dos corpos-de-prova.....	49
3.2.2.3	Cura.....	50
3.2.2.4	Ensaio de resistência à compressão.....	51

3.2.2.5	Análise visual das falhas	52
3.2.2.6	Massa específica dos corpos-de-prova	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
4.1	ANÁLISE MORFOLÓGICA DO RESÍDUO TÊXTIL E FIBRA DE CARBONO	53
4.2	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO DAS FIBRAS	55
4.3	ANÁLISE TÉRMICA DAS AMOSTRAS.....	56
4.3.1	Calorimetria exploratória diferencial.....	56
4.3.2	Análise termogravimétrica	58
4.4	PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS	59
4.4.1	Mistura da argamassa e cura dos corpos-de-prova.....	59
4.4.2	Resistência à compressão.....	60
4.4.3	Análise Visual de Falhas	62
4.4.4	Massa específica dos compósitos	67
4.4.5	Análise da seção transversal dos corpos-de-prova	68
5	CONCLUSÃO	71
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

O cenário mundial cada vez mais busca processos industriais que estejam de acordo com meio ambiente, ou seja, produções que atendam as demandas atuais sem que comprometam os recursos das gerações futuras, ou seja, conceito relacionado ao termo de desenvolvimento sustentável (SHAH, 2008). A sustentabilidade é firmada na integração entre três bases principais: proteção ambiental, crescimento econômico e equidade social, sendo assim, a indústria que se dispõe a inovar de maneira sustentável deve respeitar as características ao qual se assentam o desenvolvimento sustentável (BOONS et al., 2013).

Neste sentido, a indústria têxtil, como um dos maiores setores de transformação, acumula responsabilidades ambientais, econômicas e sociais. Segundo dados da Associação Brasileira da Indústria Têxtil, a confecção brasileira produz em média 8,9 bilhões de peças anualmente, possui 1,5 milhões de colaboradores diretos e 8 milhões de indiretos, atingindo o posto de 2º maior empregador da indústria de transformação (ABIT, 2018). Apesar disso, a produção têxtil soma prejuízos ambientais, em termos de consumo de energia, água, químicos e insumos (NORUP et al., 2018). Desta forma, a gestão de recursos e descarte de resíduos deve ser cuidadosamente avaliada.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), referente a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), diz sobre a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos (CORREIA, 2018). Sendo assim, as empresas devem aproveitar ao máximo o que sobra de suas operações industriais antes de serem destinadas para aterros. Seguindo a mesma linha de considerações, é relevante salientar a quantidade de insumo inserido nas fábricas e o volume gerado de resíduos, visto que em 2014, a produção nacional de tecidos de algodão foi de 752,9, contra 310,3 e 11,8 milhões de toneladas, de poliéster e viscose, respectivamente, correspondendo ao segundo e terceiro lugar das fibras mais empregadas na manufatura de substratos têxteis (AMARAL et al., 2018).

Uma das possibilidades de aplicação dos resíduos provenientes de fibras têxteis é a incorporação desse material na produção de compósitos para a construção civil. Segundo afirmações de Jiang e seus colaboradores, há uma demanda mundial crescente na busca de materiais alternativos para serem incorporados ao cimento e concreto, em substituição aos insumos naturais convencionalmente utilizados na produção (JIANG et al., 2018). Em números, 362 milhões de toneladas de produtos à base de cimento são consumidos no Brasil anualmente,

conforme relatado por John (2010), que também atribui ao concreto de cimento Portland, o material de maior consumo pela população.

As fibras têxteis empregadas como reforço em matrizes de cimento, são altamente investigadas por serem um atrativo ao aumento das propriedades a serem adquiridas pelo produto final (TOUTANJI et al., 1994), superiores aos níveis de materiais de construção comumente utilizados. Além disso, o material de reforço serve como substituição ao aço, insumo largamente empregado em estruturas de concreto armado.

A este respeito, é conveniente salientar que com o volume de construções aumentando a cada dia, faz-se necessário a utilização de cimento e concreto de forma inovadora e inteligente (SCRIVENER, 2016; SCHMIDT et al., 2017), a fim de tornar a construção civil um setor de desenvolvimento sustentável. Shi e Xu estimaram que, aproximadamente, 239 milhões de toneladas de resíduo de concreto seriam produzidos em 2010 e 638 milhões de toneladas de resíduos de concreto serão gerados em 2020 na China, causando problemas na disposição final desse material (SHI E XU, 2006). Dessa forma, torna-se relevante a investigação da aplicação de resíduo fibroso têxtil como reforço de compósitos cimentícios.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a produção de um compósito de matriz cimentícia, reforçado com resíduo têxtil e fibra de carbono, por meio da comparação entre o material utilizado convencionalmente e o produto gerado neste trabalho. Além de investigar as diferentes concentrações de fibras inseridas, assim como, a influência das propriedades inerentes a cada material precursor no desempenho do compósito.

1.1.2 Objetivos Específicos

- (a) Caracterizar morfológicamente os materiais utilizados como reforço do compósito, a partir de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR/ATR);
- (b) Caracterização térmica das fibras por meio de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Análise Termogravimétrica (TGA);

- (c) Estudar e definir as proporções de cimento e agregados para a produção de compósitos, assim como o método para mistura, moldagem e cura dos corpos-de-prova;
- (d) Avaliação das propriedades mecânicas do compósito utilizando o método de ensaio de resistência à compressão;
- (e) Análise visual da formação de fissuras após rompimento mecânico na estrutura dos corpos-de-prova.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Capítulo dedicado ao estado da arte do tema abordado neste trabalho de conclusão de curso. Primeiramente, são apresentadas informações sobre a classificação de fibras têxteis, destacando-se a viscose e o carbono, que são as matérias-primas utilizadas no trabalho. Em seguida, são relatados alguns conceitos sobre têxteis técnicos e os resíduos gerados no setor têxtil. Por fim, são apresentados os compósitos e suas aplicações na construção civil, bem como uma breve discussão sobre Cimento Portland, e estudos relativos a introdução de materiais fibrosos no desenvolvimento de compósitos cimentícios.

2.1 FIBRAS TÊXTEIS

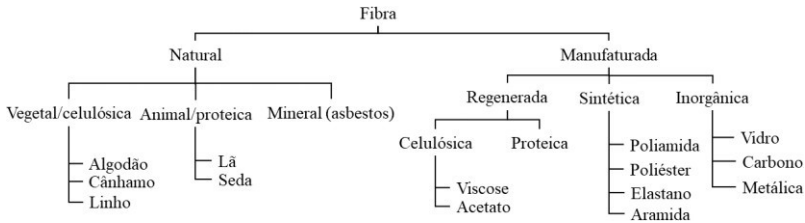
As fibras têxteis são substratos filiformes, caracterizados por sua flexibilidade, finura e grande relação entre comprimento e a sua seção transversal. De acordo com Araújo, as fibras podem ser materiais altamente resistentes, visto que possuem elevada proporção entre superfície e volume (ARAÚJO, 2011). Além disso, segundo o mesmo autor, as fibras possuem em sua composição, moléculas longas e similares, também conhecidas como macromoléculas ou polímeros, de características orgânicas ou inorgânicas (ARAÚJO, 2011).

As propriedades das fibras são resultantes, principalmente, da sua estrutura morfológica. Parte-se do princípio que as moléculas podem se agrupar de forma rigorosamente alinhadas e orientadas, formando regiões cristalinas; ou não se agrupando, organizadas de forma aleatória e originando regiões amorfas. Sendo assim, o grau de cristalinidade de uma fibra é um fator de grande relevância para a determinação da utilidade desse material para uma aplicação particular, visto que regiões cristalinas proporcionam força e rigidez, enquanto as amorfas são responsáveis pela flexibilidade e reatividade das fibras (ARAÚJO, 2011). Sendo a última característica citada, fator importante para o processo de beneficiamento, onde a tingibilidade é influenciada pela disposição de regiões amorfas.

As fibras têxteis podem ser classificadas em naturais e em manufaturadas, onde a última é subdividida em artificiais (derivadas de polímeros naturais regenerados), sintéticas (oriundas de reações de polimerização) e inorgânicas, conforme ilustrado na figura 1. As fibras naturais podem ser provenientes de animais, vegetais ou minerais, destacando-se o algodão e o linho (vegetal), seda e lã (animal) e, como

as mais aplicadas no setor têxtil (ALCÂNTARA; DALTIM, 1996; SINCLAIR, 2015).

Figura 1 – Classificação das fibras têxteis.



Fonte: Adaptado de Sinclair (2015).

2.2 FIBRAS MANUFATURADAS

2.2.1 Artificias

As fibras artificiais, também conhecidas como polímeros naturais regenerados, possuem duas formas de produção: via material celulósico ou proteico (COOK, 2001). Segundo Mariano et al., (2018), a celulose é o polímero natural mais abundante na Terra. Sua extração ocorre a partir da madeira, especificamente da polpa, onde após o processamento da celulose solúvel, essa é direcionada a produção de fibras, filmes, ésteres e éteres de celulose (GANSTER; FINK, 2009). Dentre as fibras celulósicas destacam-se a viscose, acetato e Lyocell.

A aplicação de celulose para a produção em maior escala de fibra têxtil é relacionada ao ano de 1890, a partir da fabricação da “seda Chardonnet”, onde o nome se referenciava ao dono da fábrica, o conde francês Hilaire de Chardonnet (ANDREOLI; FRETI, 2006). Entretanto, a produção só era viabilizada por conta de estudos anteriores, que investigaram a maneira de tratar um insumo insolúvel e inflamável em solvente, ou seja, a celulose, com ácido nítrico, em um processo conhecido como nitrificação. O derivado era dissolvido em soluções de

álcool-éter, resultando em um material adequado para a produção de fibras, por meio de feiras; a última etapa consistia em saponificar o composto nitro (inflamável e explosivo) em banho alcalino, eliminando os riscos mencionados (ANDREOLI; FRETI, 2006).

Desde o estágio inicial de produção, estudos foram realizados para a melhora do processo dessa classe de fibra. Ressaltam-se investigações em novas formas de dissolução da celulose, com o objetivo de desenvolver métodos com menor quantidade de químicos, redução de custos, maior eficiência em equipamentos e, principalmente, processos menos nocivos ao meio ambiente (KOTEK, 2007; DYER, J. e DAUL, 1981). Conforme citado por Chen, as fibras regeneradas celulósicas assemelham-se esteticamente a seda, visto que possuem toque suave e aparência brilhante, além de possuírem excelente capacidade de absorção de água, similaridade essa encontrada na fibra de algodão, após os tratamentos primários (CHEN, 2014).

Fibras celulósicas regeneradas caracterizam-se por apresentarem elevada resistência em combinação com elevada tenacidade (GRAUPNER et al., 2018). Além de apresentarem excelentes propriedades mecânicas, são biocompatíveis e possuem reduzido custo de produção. Desta forma, as propriedades destes materiais fibrosos tornam-se muito atrativas para aplicações técnicas, especificamente em têxteis médicos (ZEMLJIC et al., 2017; LIU et al., 2018) e artigos para proteção contra agentes bacterianos (EL-GABRY et al., 2013).

2.2.1.1 Viscose

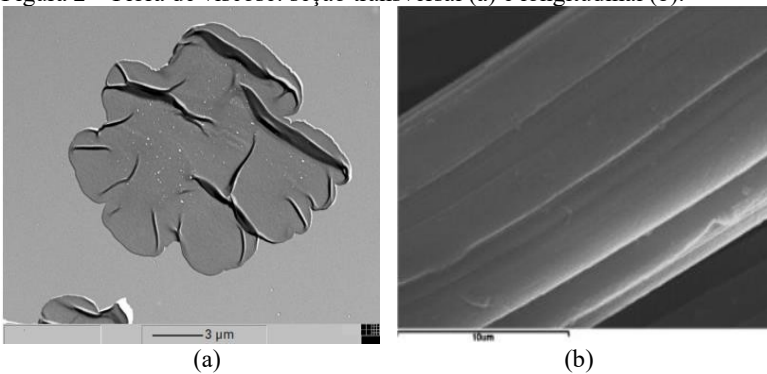
A viscose é uma das fibras artificiais regeneradas mais populares. Segundo Ganster e Fink (2009), sua produção para aplicações comuns e técnicas atingiram 363000 toneladas em 2006. Comparado a penúltima década com a atual, a produção de fibras de viscose aumentou 223% (AIZENSHTEIN, 2016), correspondendo a 93% do mercado de fibras regeneradas celulósicas (CHEN, 2014).

A fibra de viscose é manufaturada a partir da celulose oriunda da polpa de madeira. Por meio de processos químicos resulta em um material caracterizado por apresentar uma seção transversal semelhante a um círculo distorcido e um superfície lisa com a presença de estrias e, conforme a figura 2 (a) e (b), respectivamente.

Como fibra artificial, a viscose caracteriza-se por dar origem a produtos com excelente absorção de umidade, toque macio e suave, bom caimento e respirabilidade (SOBREIRA E DELGADO, 2016; REHAN et al., 2018). Considerando as propriedades mecânicas da fibra, a

viscose, quando comparada em meio seco, apresenta reduzido alongamento em condições úmidas (CHEN, 2014; SOBREIRA E DELGADO, 2016), sendo um percentual de 17 - 25% e 23 - 32%, respectivamente, antes da ruptura da fibra (COOK, 2001; CHEN, 2014). A tenacidade de fibras de viscose varia de 350 a 785 MPa para fios do mesmo material (GANSTER E FINK, 2009). Chen (2014), afirma que por conta de sua alta densidade, $1,52 \text{ g.cm}^{-3}$, a manufatura produzida com viscose é mais pesada do que produções com fibras naturais e a maioria das sintéticas.

Figura 2 – Fibra de viscose: seção transversal (a) e longitudinal (b).



Fonte: Ganster e Fink (2009); Kramar et al. (2013).

Ressalta-se ainda que a produção de viscose é reconhecida como uma operação muito versátil (GANSTER E FINK, 2009). A partir da determinação de novas condições e controle para os parâmetros de fabricação, é possível a manufatura de variações do produto convencional com propriedades melhoradas, como a viscose HWM (*high wet modulus*) (MATHER E WARDMAN, 2011; GANSTER E FINK, 2009; CHEN; 2014) e a viscose HT (*high tenacity*).

2.2.2 Inorgânicas

As fibras sintéticas são oriundas do processamento de derivados da indústria petroquímica (ALCÂNTARA E DALTIM, 1996). A produção deste tipo de fibra teve seu surgimento com os estudos de Wallace H. Carothers, a partir da inserção da poliamida no mercado mundial (DEOPURA E PADAKI, 2014). Basicamente, o processamento ocorre pela conversão do polímero em uma solução líquida,

posteriormente extrudada para a formação de filamentos contínuos do polímero precursor (MATHER E WARDMAN, 2011). Entretanto, existem fibras que mesmo provenientes de polímeros orgânicos, são categorizadas como fibras manufaturadas não-poliméricas ou inorgânicas (SHIOYA E KIKUTANI, 2014).

2.2.2.1 Fibra de carbono

Classificada como fibra manufaturada inorgânica, a fibra de carbono também é enquadrada nos insumos têxteis de elevado desempenho. Conforme citado por Qian et al., a produção ocorre a partir da poliacrilonitrila (PAN) ou a partir do piche e da viscose (QIAN et al., 2018). Entretanto, a produção utilizando celulose regenerada é muito pouco aplicada, visto a dificuldade de controle do processo em escala industrial (INTRATEC, 2016).

O processamento da fibra de carbono é realizado em três fases principais: estabilização oxidativa, carbonização e grafitação (MATHER E WARDMAN, 2011). A produção gera um material quase inteiramente composto por átomos de carbono, caracterizado por baixa densidade, elevada rigidez e excelente resistência mecânica (BEBER, 2003; PARIS E PETERLINK, 2009; ARAÚJO, 2002).

A fibra de carbono é largamente utilizada na produção de compósitos estruturais de matriz polimérica (BURAKOWSKI E REZENDE, 2001; DILSIZ E WIGHTMAN, 1999), sendo aplicada como reforço. Conforme citado por Rezende e seus colaboradores, os polímeros reforçados com fibras de carbono atingem níveis mais elevados de resistência mecânica e rigidez entre os materiais disponíveis no mercado, tornando-se muito atrativos para diversas áreas industriais, como aeroespacial, automotiva, construção civil, esportiva, dentre outras (FERRARI et al., 2002; REZENDE et al., 2011; CHUNG, 2017; MAZZOCHETTI et al., 2018).

As propriedades da fibra de carbono dependem, principalmente, da estrutura morfológica do material, resultante do próprio método de processamento da fibra, como tipo de insumo precursor, temperatura de tratamento térmico e alongamento durante a etapa térmica. Por exemplo, a resistência à tração do material pode aumentar em processos onde o tratamento térmico é realizado entre 1300-1500 °C, entretanto, acima dessa faixa de operação, as propriedades mecânicas da fibra de carbono são reduzidas (SHIOYA E KIKUTANI, 2014). Na tabela 1, é possível observar propriedades relacionadas as fibras de carbono com diferentes precursores.

Tabela 1 – Parâmetros estruturais e propriedades físicas para fibras de carbono comerciais com base nos precursores PAN e MPP.

Fibra [precursor]	D [μm]	ρ []	E [GPa]	E [GPa]
K321 (MPP)	10,50	1,90	136,00	0,99
E35 (MPP)	9,70	2,10	197,00	1,71
FT500 (MPP)	10,00	2,11	380,00	2,49
K137 (MPP)	9,50	2,12	500,00	1,69
HTA7 AR (PAN)	6,80	1,77	198,00	2,73
HTA7 1800 (PAN)	7,30	1,77	273,00	2,20
HTA7 2100 (PAN)	6,40	1,71	332,00	2,20
HTA7 2400 (PAN)	6,20	1,91	349,00	2,23

Fonte: Adaptado de Paris e Peterlink (2009).

onde:

MPP = piche;

PAN = poliacrilonitrila;

D = diâmetro [μm];

ρ = densidade [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$];

E = módulo de Young [GPa];

σ_0 = força [GPa].

Caracterizadas como fibras de elevado desempenho, é oportuno salientar que as propriedades mecânicas do material são atrativos ao emprego deste como reforço estrutural. Yamane (2016) cita que com a baixa massa específica (1,7 a 2,2 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), larga faixa de módulos (230 a 966 GPa), boa estabilidade e outras características proporcionam a utilização da fibra de carbono em compósitos com diferentes propriedades mecânicas. A resistência à compressão e à fluência podem

atingir elevados valores com a inserção da fibra de carbono (ZHOU et al., 2009).

2.3 TÊXTEIS TÉCNICOS

A crescente demanda por novas tecnologias interfere no desenvolvimento de todos os setores industriais, impulsionando a investigação de materiais e processos que tenham seu desempenho melhorado, além de propor a redução de custos e dos impactos ambientais. Neste sentido, a indústria têxtil também passa por constantes transformações. Inicialmente, o setor se caracterizava exclusivamente pela manufatura de materiais dedicados ao vestuário e artefatos para o lar. A partir de novas necessidades e a busca por inovações, considerando ainda as propriedades únicas (mecânicas, morfológicas, estruturais, químicas, funcionais, inteligentes, entre outras) proporcionadas pelos materiais fibrosos, originou-se os denominados têxteis técnicos.

A definição de têxteis técnicos compreende os materiais e produtos destinados, principalmente, para aplicações que vão além da estética e decoração, deste modo, empregados por sua singularidade em termos de propriedades e desempenho, cita McCarthy (2000) a partir da definição no livro *Textile Terms and Definition* (1994). Desta forma, os têxteis técnicos são desenvolvidos para atender necessidades específicas dos mais variados setores, como agroindústria, vestuário, geotêxteis, casa, indústria, proteção, medicina, esportes, meio ambiente, embalagens, mobilidade e construção civil (BYRNE, 2000; TECHTEXTIL, 2018).

A produção de têxteis técnicos é a que mais cresce atualmente no segmento têxtil. Conforme citado pela National Composites Network (2018), 40% do consumo de fibras em países desenvolvidos são aplicados na produção de têxteis técnicos, ilustrando o tamanho e a expansão do mercado destinado a esse tipo de material.

2.4 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA TÊXTEL

A manufatura de artigos têxteis é basicamente dividida em três etapas: fiação, responsável pela transformação de fibras em fios; tecelagem ou malharia, processos que convertem os fios em uma superfície têxtil; beneficiamento, encarregado de agregar valor aos substratos. Cada processo dispõe de diferentes materiais e métodos para a formação do produto final.

Não distante de qualquer outro setor industrial, o mercado têxtil também possui responsabilidades para com o meio ambiente. O volume de resíduos gerado, entre sólidos e líquidos, pode abranger imensas quantidades, nos diferentes processos que englobam a cadeia fabril. A indústria têxtil brasileira e de confecção é considerada uma das maiores a nível mundial (ZONATTI, 2016), sendo o 4º maior produtor de malhas do mundo e o único país ocidental com toda a cadeia têxtil completa (ABIT, 2018). Desta forma, a responsabilidade com o descarte adequado dos resíduos gerados deve ser de elevada prioridade, visto que, o processamento têxtil é um dos maiores contaminadores do meio ambiente (JÚNIOR, 2013).

Existem diferentes tipos de resíduos gerados na indústria têxtil, como exemplo, pode-se citar os restos de fibras e fios provenientes da fiação; cones, resíduos de goma, restos de tecidos, óleos, fibrilas, resultantes da tecelagem e/ou da malharia; banhos de tingimento e acabamento contendo residual de químicos, oriundos dos processos de beneficiamento (BASTIAN, 2009; QUEIROZ et al., 2016). Como qualquer fonte geradora, a indústria é responsável pelo gerenciamento do material de descarte (Júnior (2013).

Com a crescente preocupação entre a relação entre homem e meio ambiente, a necessidade de processos mais eficazes para a gestão de resíduos é fundamental. Desta forma, novos estudos focalizam na ponderação de atividades que absorvem de forma correta esse material. Como exemplo, pode-se citar a construção civil como um setor indicado para a incorporação de resíduo industrial, dado que utiliza um elevado volume de insumos naturais (JÚNIOR, 2013; GIFFONI, 2005). Visto que, considerando a substituição do aço, material de alto custo, grande quantidade de energia consumida e um recurso não renovável, a adição de fibras nas construções objetiva a redução dos impactos ambientais e problemas relacionados, como corrosão de estruturas e a própria durabilidade do material (TORGAL E JALALI, 2011).

2.5 COMPÓSITOS

Os compósitos são caracterizados pela combinação de dois ou mais materiais distintos, associados no intuito de aperfeiçoar as propriedades de ambos os constituintes. As particularidades resultantes têm melhor desempenho que os materiais de partida separados (REZENDE et al., 2011; AGARWAL et al., 2018).

O princípio da manufatura de compósitos não é recente, visto que, instintivamente, comunidades antigas já se baseavam na ideia de

produzirem materiais a partir da combinação de outros para atingir artefatos com propriedades diferenciadas (REZENDE et al., 2011; CHAWLA, 2012; MATTHEWS E RAWLINGS, 2008; BOURMAUD et al., 2018). Além disso, a própria natureza usufrui do mesmo conceito. Conforme assinalado por Matthews e Rawlings (2008), a madeira é um exemplo de compósito natural, já que a composição interna de suas células longitudinais é constituída com fibras de celulose espiraladas, associadas em conjunto pela lignina, que acompanham todo o crescimento da árvore.

Com a constante demanda por materiais de elevado desempenho nas mais diversas áreas, estudos buscam unir constituintes cada vez mais compatíveis. Cada componente tem uma função específica na produção de um compósito, sendo distinguidos em duas ou mais fases, conhecidas como matriz e reforço, separados por uma interface.

A matriz é a fase que terá suas propriedades melhoradas a partir da incorporação de outro material (MATTHEWS E RAWLINGS, 2008). Ela é a responsável por agregar e proteger o constituinte interno, assim como transmitir o esforço aplicado sobre o elemento adicionado, no caso, o reforço (REZENDE et al., 2011). O reforço, como o próprio nome diz, é responsável por proporcionar a melhora das propriedades mecânicas da matriz, e a partir de sua geometria determinará o sucesso ou não do material em desenvolvimento (AGARWAL et al., 2011).

Em compósitos poliméricos, materiais fibrosos são utilizados para exercer a função de reforço (JAVADIAN et al., 2016; PATTERSON et al., 2018; LI et al., 2018), caracterizando-se por ser o principal encarregado pelas propriedades mecânicas resultantes do material. Kaw (2006) em seu estudo cita a importância de quatro fatores que favorecem o desempenho do compósito com reforço fibroso: orientação, comprimento, forma e tipo de material. Os parâmetros citados correspondem, diretamente, no aumento da rigidez, resistência ao impacto, força, módulo de elasticidade, dentre outros aspectos do compósito desenvolvido.

A interface (região compreendida entre matriz e reforço) influencia no desempenho do compósito, pois é o meio em que ocorre a transferência dos esforços entre a matriz e o reforço (PILATO E MICHNO, 1994; REZENDE et al., 2011; BATISTA E DRZAL, 2018).

Estudos visando o desenvolvimento de compósitos poliméricos englobam as mais diversas áreas. Aeronáutica (BORBA et al., 2018; MATHIJSEN, 2017), construção civil (SUI et al., 2018; KAISH et al., 2018; MARTUSCELLI et al., 2018) e transporte (KILINÇ et al., 2018) são áreas que se destacam no desenvolvimento de compósitos que

necessitam ter excelentes propriedades mecânicas. Outras indústrias, como aeroespacial, química, doméstica, elétrica e lazer (HULL, 1981; MATTHEWS E RAWLINGS, 2008) também são foco de diversas investigações.

O mercado de materiais compósitos vem cada vez mais ganhando espaço. Em sua investigação, Mathes (2018) afirma que em 2016 a produção de compósitos reforçados com materiais fibrosos foi de 9 milhões de toneladas. Além disso, também comenta que o dado apresentado é surpreendente, visto que, comparado a produção de outros materiais empregados na construção civil (aço, alumínio e concreto), a produção de compósitos poliméricos com reforço de fibras ainda é pequeno, mas se mostra um material com grande potencial e em pleno desenvolvimento (MATHES, 2018).

2.5.1 Compósitos reforçados com fibras para construção civil

O aço é convencionalmente o insumo mais largamente aplicado no reforço de estruturas de concreto, agregando força e rigidez às construções (GRIES et al., 2016). No entanto, mesmo contribuindo para o melhor desempenho de estruturas, o aço está suscetível ao processo de corrosão, que afeta tanto sua seção transversal como também o comportamento na interface entre o material e o concreto (JIANG et al., 2018). Além disso, a União Européia, como forma de atingir meios de construção mais sustentáveis, delimitou o uso de materiais brutos e seus resíduos em 30% e 40%, respectivamente, do consumo atual (TORGAL E JALALI, 2011). Desta forma, o concreto armado como grande gerador de material não renovável é uma barreira a redução de resíduos na construção civil. Sendo assim, a inserção de materiais fibrosos em substituição ao aço, comumente utilizado, tem como objetivo melhorar as estruturas de concreto e viabilizar construções sustentáveis.

Neste sentido, a inserção de compósitos poliméricos no mercado a partir de reforços fibrosos surge como alternativa na busca por materiais com propriedades que não somente impulsionam o desempenho, como também são possibilidades para solucionar problemas relacionados aos de estruturas de concreto. O uso de têxteis demonstra-se como potencial aplicado à construção civil em suas várias formas: malhas, tecidos, entrançados e nãootecidos, justificado pelas diferentes propriedades das fibras (matéria-prima, orientação, estrutura e tipo) empregadas na produção de cada manufatura citada (FANGUEIRO E SOUTINHO, 2011).

De início é interessante destacar os inúmeros estudos que investigam a produção de compósitos com materiais fibrosos aplicados ao setor de construção civil, como: a importância da distribuição de fibras na massa de cimento (CAO et al., 2018; MARTINIE E ROUSSEL, 2011); diferentes tipos de insumo na composição do material, como fibra de carbono (CHEN et al., 2018; CHUANG et al., 2017); utilização da fibra de vidro (MELO et al., 2018); uso de matéria- prima de origem vegetal, como fibra de coco (KHAN E ALI, 2018; WANG E CHOUW, 2017) e curauá (ZUKOWSKI et al., 2018), além de outros materiais fibrosos provenientes do reino animal e mineral (ONUAGULUCHI E BANTHIA, 2016).

Ressalta-se que para que uma fibra possa ser aplicada em determinada função, é necessário que alguns fatores sejam considerados para assegurar o desempenho do material. Conforme citado por Milwich, a composição química, sua geometria e processos de fiação das fibras irão delinear as suas propriedades, como temperatura de transição vítrea, combustibilidade, resistência elétrica, tingibilidade, solubilidade, características mecânicas, dentre outras (MILWICH, 2010).

2.5.1.1 Cimento portland

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), o cimento Portland é definido como um insumo na forma de pó fino, com atributos de aglomeração, aglutinação ou ligação de outros componentes, a fim de combinar e servir como precursor na produção de pastas, argamassas e concreto. Em uma mistura, a proporção dos materiais empregados é fundamental para o desempenho do que se deseja produzir. A partir do momento inicial de produção, o cimento e a água reagem de forma irreversível, obtendo resistência mecânica com o passar do tempo (HELENE E ANDRADE, 2010).

As argamassas são caracterizadas pela mistura de cimento, areia e água. Entretanto, visando a melhoria contínua da tecnologia de estruturas, demais materiais, denominados aditivos, podem ser adicionados a produção de argamassas, como pigmentos, fibras, agregados especiais e minerais (HELENE E ANDRADE, 2010).

O mercado oferece diferentes tipos de Cimento Portland, no intuito de abranger diversas aplicações e composições. As propriedades variam de acordo com cada tipo de cimento. Em seu estudo, Castro e seus colaboradores citam que pode haver contraste entre as características na produção de um concreto de alto desempenho, visto

que a resistência mecânica obtida pode ser adequada, atingindo os níveis estabelecidos, porém, o comportamento reológico será comprometido, influenciando o lançamento (deposição no local onde será aplicado) e adensamento do material (CASTRO et al., 2011). O inverso, também pode ocorrer, devendo-se assim atentar a escolha do insumo correto. Além disso, o mesmo autor afirma que os mais variados fatores motivam as propriedades resultantes do material, como área superficial e distribuição granulométrica (características físicas); resistência ao fogo, o teor e a morfologia do C3A (composto químico na composição do cimento); o teor de álcalis e o tipo de sulfato de cálcio adicionado ao clínquer (AITCIN et al., 1994). Neste sentido, o desempenho do material produzido, no caso, argamassas e concretos, não pode ser atribuído avaliando uma única variável e sim, a correlação entre várias delas, como as citadas anteriormente.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado no estado da arte, destaca-se a relevância no estudo de produção de compósitos cimentícios reforçados com materiais fibrosos, sobretudo no enobrecimento de resíduos industriais têxteis, destinados ao emprego no setor da construção civil e não, ao simples descarte.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

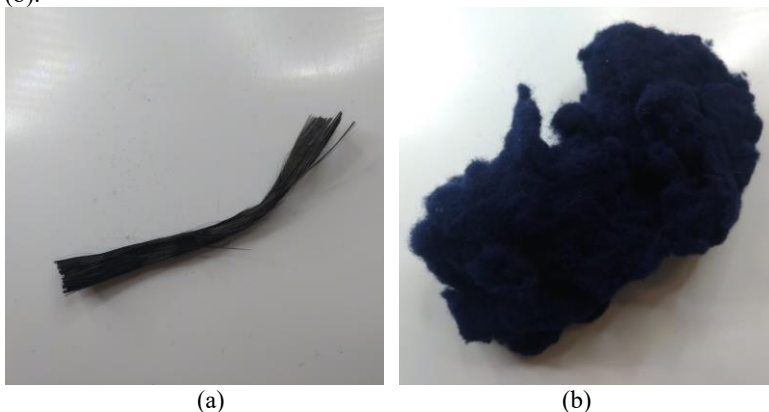
Neste capítulo são apresentados os materiais e métodos empregados para a produção de compósitos utilizados na construção civil, empregando como reforço fibras têxteis. Três etapas foram realizadas para análise do estudo em questão: caracterização das fibras; produção dos corpos-de-prova; e ensaios de compressão.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Fibras

Para a realização do procedimento experimental, duas fibras foram determinadas para exercerem o papel de reforço nos compósitos para a construção civil: a primeira é resíduo de malha de viscose, proveniente do processo físico de peluciação de moletons de uma indústria têxtil do Norte Catarinense; já a segunda são fibras de elevado desempenho provenientes de multifilamentos de carbono de 1600 Tex.

Figura 3 – Fibra de carbono (a) e resíduo de viscose proveniente da peluciadeira (b).



Fonte: O autor (2018).

Para a produção de corpos-de-prova, as fibras de carbono (Figura 3-a) foram cortadas em comprimentos entre 5 e 15 mm (SUN et al., 2015; CHUANG et al., 2017), dimensões próximas ao tamanho das fibras no adensado de resíduo. O resíduo de viscose foi separado de forma a desagregar o aglomerado de fibras (conforme verificado na

figura 3-b), visto que, como são provenientes de um processo industrial, as fibras cortadas são aglomeradas durante a passagem da malha pela peluciadeira. Sendo assim, as fibras do resíduo de viscose não possuem regularidade em seus comprimentos e foram, portanto, dispostas aleatoriamente na produção da argamassa.

3.1.2 Cimento Portland

Para a produção dos corpos-de-prova, o cimento utilizado foi o Cimento Portland CP II-E-32 da marca Votoran®. Como agregado miúdo, utilizou-se areia fina com granulometria de 2 mm e água destilada para a mistura da argamassa.

3.1.3 Moldes

Os moldes cilíndricos utilizados no estudo foram produzidos de acordo com as dimensões especificadas pela NBR 7215 (1996), elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com diâmetro interno de 50 mm e altura de 100 mm. A norma também especifica o material do molde, entretanto, em virtude da não disponibilidade do material, o mesmo foi substituído por moldes de PVC, com superfície interna lisa e 50 mm de diâmetro. Para o desmolde do corpo-de-prova, foi empregado vaselina, da marca ADV, líquido mineral e de baixa viscosidade (conforme indicações da mesma norma).

3.1.4 Tanque de água saturada de óxido de cálcio (cal)

De início é interessante destacar a função da cal no processo de cura das amostras. O elemento citado é muito importante para o desenvolvimento das propriedades mecânicas do cimento (LORENZETTI et. al, 2000). Partindo do fato que a cal possui baixa solubilidade, durante o processo de cura o composto irá preencher os vazios existentes no cimento, eliminando a água em excesso (TUTIKIAN E DAMOLIN, 2008). Desta forma, Silva cita que a resistência mecânica obtida é atingida com maior velocidade em decorrência do processo de hidratação do cimento, onde uma estrutura resultante dessa reação interliga a matriz do cimento e os agregados contidos na mistura, proporcionando ao material melhor regularidade estrutural (SILVA, 2009).

Neste sentido, um tanque de água saturada de cal foi desenvolvido para manter os corpos-de-prova em contínuo processo de

hidratação até a “idade” determinada. A cal empregada foi o hidratado CH-III, da marca Cal Cem®. Dois reservatórios com capacidade de 20 L cada, foram preenchidos com água destilada até metade do seu volume. A solubilidade da cal hidratada é de 1,65 g.L⁻¹ a 20 °C (SOUSA E REIS, 2016).

3.1.5 Dispositivo para equipamento de ensaio mecânico

Para que o ensaio de compressão fosse realizado, um dispositivo feito de aço 1045 foi desenvolvido conforme pode ser observado na figura 4, e acoplado ao equipamento universal de ensaios mecânicos.

Figura 4 – Dispositivo para ensaio mecânico.

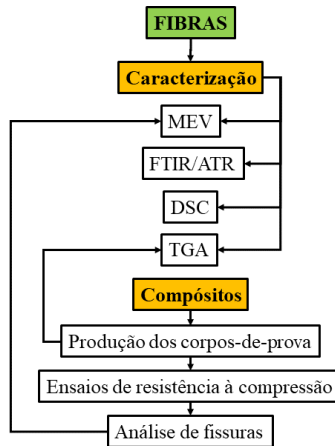


Fonte: O autor (2018).

3.2 MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Meio Ambiente (LABMAM) e Laboratório de Tecidos e Malhas (LABTEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Blumenau. Procedimentos específicos realizados em outros laboratórios serão citados nos seus respectivos métodos. O desenho esquemático das atividades experimentais executadas neste capítulo está apresentado na figura 5.

Figura 5 – Desenho esquemático das atividades executadas.



Fonte: O autor (2018).

3.2.1 Caracterização

As fibras utilizadas como reforço de compósitos cimentícios foram investigadas para obtenção de informações quanto às suas características morfológicas. Para isto foram utilizadas diferentes técnicas, como a Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier. Para a caracterização térmica, técnicas termoanalíticas como Calorimetria Exploratória Diferencial e Análise Termogravimétrica foram aplicadas neste estudo.

3.2.1.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise morfológica de cada tipo de fibra e a análise de fissuras dos compósitos foram realizadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC. O equipamento utilizado tratou-se de um JEOL, modelo JSM-6390LV. As amostras foram, inicialmente, depositadas em um *stub* e recobertas com ouro, por meio da técnica de “*sputtering*” em uma recobridora modelo EM SCD 500, da marca LEICA.

3.2.1.2 Espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier com reflexão atenuada (FTIR/ATR)

Nesta etapa, o procedimento foi realizado visando conhecer cadeias químicas e estruturas moleculares de compostos orgânicos presentes na estrutura do resíduo têxtil e da fibra de carbono. A análise foi realizada no laboratório de Têxteis Funcionais do Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, da Universidade do Minho (UMINHO), Portugal. O equipamento utilizado foi da marca NICOLET-AVATAR 360 com o software OMNIC 5.2. Os espectros foram registrados a temperatura de 20 ± 1 °C, com resolução espectral de $16,0 \text{ cm}^{-1}$ e média de 64 varreduras.

3.2.1.3 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

É possível obter dados relativos a processos endotérmicos e exotérmicos dos materiais fibrosos por meio da técnica DSC. O método indica informações relacionadas a mudanças estruturais e térmicas dos materiais. Para tanto, o equipamento operado foi METTLER TOLEDO, modelo DSC822, do laboratório de Têxteis Funcionais do Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil da UMINHO, com temperaturas e respostas calorimétricas realizadas com padrões metálicos de alta pureza: índio ($156,6 \pm 0,2$ °C) e zinco ($419,5 \pm 0,3$ °C). Para manter o ambiente inerte, foi aplicado nitrogênio a uma vazão de 20 ml.min^{-1} . A massa fibrosa utilizada foi de aproximadamente 3 mg e varrimento de 10 °C min^{-1} .

3.2.1.4 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise térmica foi realizada no Laboratório de Análises Térmicas e Espectroscopia (LTE) da UFSC, campus Blumenau, com equipamento modelo TGA 8000 Thermogravimetric Analyzer, da marca PERKINELMER. Para o ensaio, cinco amostras diferentes foram analisadas: resíduo; carbono; cimento convencional, compósito cimentício com reforço 2% de resíduo têxtil e compósito cimentício com reforço 2% fibra de carbono, todos com tempo de cura de 28 dias. O intervalo de temperatura foi de 30 a 1100 °C , com taxa de aquecimento de 10 °C min^{-1} .

3.2.2 Fabricação dos compósitos

As quantidades dos materiais empregados na produção das massas cimentícias e conseqüentemente, na moldagem dos corpos-de-prova foram definidas com base em dados oriundos de ensaios preliminares e estudos realizados por outros autores (ABDULLAH et al., 2011).

A dosagem para a argamassa convencional (CP) foi elaborada a partir das proporções de 1:1:0:0,55 em massa de *cimento:areia fina:fibra:água*, respectivamente. Para a produção dos compósitos a formulação usada seguiu a mesma relação, exceto pela alteração das quantidades areia de acordo com o percentual de fibras a ser adicionado na mistura. Por exemplo: para CR0, 0,5% de fibra acarretava na redução da mesma quantidade do total de areia fina empregada, ou seja, 0,5%. Sendo assim, a proporção tornou-se 1:0,995:0,005:0,550 em massa de *cimento:areia fina:fibra:água*. Deste mesmo modo, outras formulações foram feitas para as diferentes categorias de compósitos.

As amostras foram divididas em sete categorias distintas, de acordo com a proporção descrita na tabela 2. Além disso, as etapas seguintes ao processo de moldagem podem ser visualizadas na figura 6.

Tabela 2 – Proporções de materiais utilizados na produção das argamassas.

Amostra	Cimento	Areia	Fibra	Água
CP	1,000	1,000	0,000	0,550
CR0	1,000	0,995	0,005	0,550
CR1	1,000	0,990	0,010	0,550
CR2	1,000	0,980	0,020	0,550
CR4	1,000	0,960	0,040	0,550
C2C	1,000	0,980	0,020	0,550
C4C	1,000	0,960	0,040	0,550

Fonte: O autor (2018).

onde:

CP = cimento puro;

CR0 = compósito cimentício reforçado com resíduo 0,5%;

CR1 = compósito cimentício reforçado com resíduo 1,0%;

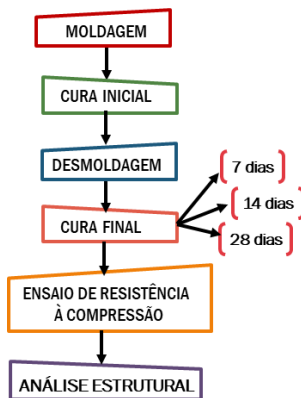
CR2 = compósito cimentício reforçado com resíduo 2,0%;

CR4 = compósito cimentício reforçado com resíduo 4,0%;

C2C = compósito cimentício reforçado com fibra de carbono 2,0%;

C4C = compósito cimentício reforçado com fibra de carbono 4,0%.

Figura 6 – Fluxograma das etapas realizadas para a produção e teste dos corpos-de-prova.



Fonte: o autor (2018).

3.2.2.1 Método de mistura para a argamassa

O procedimento empregado para produzir a argamassa foi realizado de forma manual, utilizando um recipiente com volume adequado para a produção da mistura capaz de preencher, pelo menos, 4 moldes inteiros. Os materiais precursores foram adicionados seguindo recomendações da NBR 7215 (1996), onde primeiro foi colocado a água, seguida da adição do cimento. Com o auxílio de um bastão de metal, a pasta de cimento foi misturada. Após esse processo, a areia foi adicionada de forma gradual, atentando-se para que não houvesse parada durante a operação de mistura da massa.

Para as amostras que continham fibras em sua composição, as mesmas foram adicionadas no mesmo instante que o cimento, de acordo com a porcentagem (%) estabelecida. A argamassa foi agitada até a formação de uma mistura homogênea.

3.2.2.2 Moldagem dos corpos-de-prova

Antes do processo de moldagem, uma fina camada de óleo mineral foi pincelada nas paredes internas do molde, de modo a prevenir que o corpo-de-prova não adesivasse ao mesmo. Cada molde foi

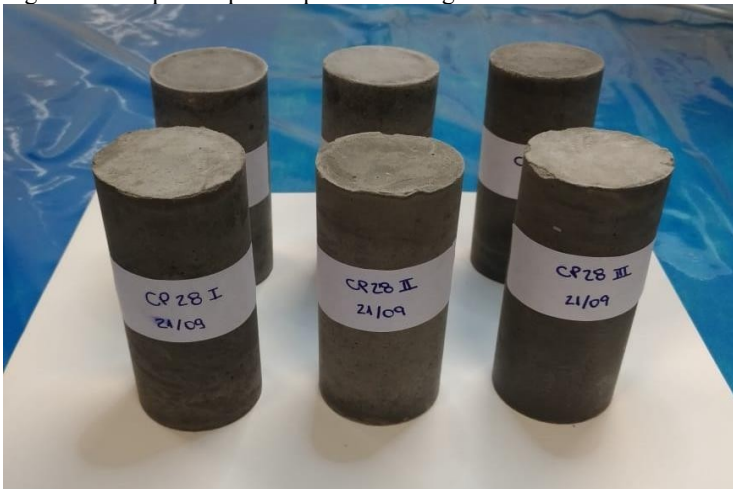
posicionado sobre uma superfície plana, para que fosse garantido paralelismo da base inferior e a estanqueidade.

De imediato ao processo de amassamento da argamassa, os respectivos moldes foram preenchidos. O adensamento foi realizado utilizando uma espátula, com a deposição da argamassa dentro da forma em 4 camadas aproximadamente similares, onde a cada colocação 30 golpes eram dados utilizando um bastão de vidro, de forma a assegurar a uniformidade da saturação do material (NBR 7215 ,1996). Por fim, após o enchimento do molde, a base superior foi acertada utilizando uma espátula, com objetivo de paralelizar a superfície.

3.2.2.3 Cura

Em sequência ao processo de moldagem, os corpos-de-prova permaneceram em suas posições durante o período de 24h, em ambiente com temperatura controlada de 21 °C. Após a cura inicial, o processo de desmoldagem foi realizado, conforme ilustrado na figura 7, e todos os corpos-de-prova foram totalmente submersos em tanque de água saturada de cal e ficaram no local até o momento no qual seriam submetidos ao ensaio.

Figura 7 – Corpos-de-prova após desmoldagem.



Fonte: O autor (2018).

O tempo de cura final para cada conjunto de corpos-de-prova foi determinado para três idades diferentes: 7, 14 e 28 dias. A medida que o

período determinado era atingido, as amostras eram retiradas do tanque e encaminhadas ao ensaio determinado.

3.2.2.4 Ensaio de resistência à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão o equipamento utilizado foi o modelo EMIC 23-100, da marca INSTRON/EMIC (Figura 8), localizado no Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) da UFSC, Campus Blumenau. As amostras retiradas de acordo com as idades definidas do tanque de água saturada com cal, ainda úmidas, foram levadas ao equipamento para ensaio de resistência à compressão.

Figura 8 – Equipamento utilizado para ensaios de resistência à compressão.



Fonte: O autor (2018).

Com o corpo-de-prova no local adequado, o carregamento do equipamento foi configurado para uma aproximação de 1 mm.min^{-1} e indicação de parada com tolerância de 500 kN abaixo da carga máxima de ruptura. O cálculo para a determinação da resistência à compressão foi obtido a partir da equação 1.

$$\sigma = F/A \quad (1)$$

onde:

σ = resistência à compressão [MPa];

F = Força máxima [N];

A = área da seção transversal do corpo-de-prova [mm²].

3.2.2.5 Análise visual das falhas

A avaliação das fissuras nos corpos-de-prova foi realizada a partir de constatação visual das falhas oriundas do ensaio de compressão. Além disso, para melhor visualização das fraturas obtidas, foi utilizado um microscópio digital e uma câmera com elevada resolução, com posterior análise por meio das imagens de MEV (item 3.2.1).

3.2.2.6 Massa específica dos corpos-de-prova

Utilizando os corpos-de-prova com 28 dias de cura, a massa específica [g.cm⁻³] foi determinada a partir da relação entre massa [g] e do volume [cm³] das amostras, analisadas em suas diferentes categorias (CP, CR0, CR1, CR2, CR4, C2C e C4C). Os dados relativos a cada amostra tiveram seu comprimento e diâmetro medidos com paquímetro universal e massa avaliada em balança digital. Foram utilizados 4 espécimes de cada tipo para a determinação da massa específica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

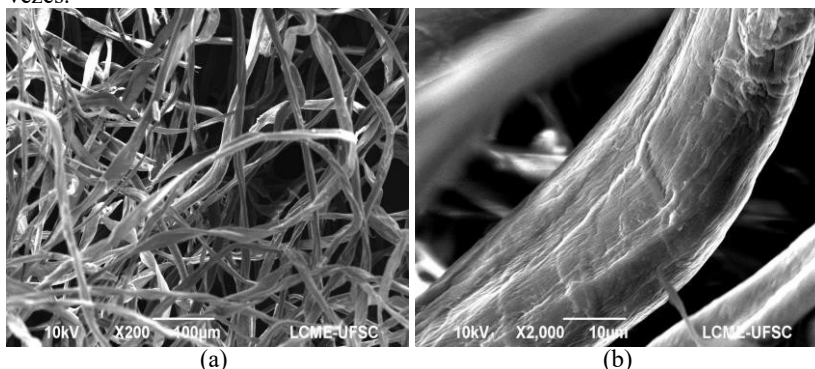
O conteúdo apresentado nessa etapa envolverá a descrição dos resultados. Primeiramente, discutindo os dados obtidos para a caracterização das fibras utilizadas neste estudo, seguido das considerações adquiridas com base nos ensaios de compressão do compósito produzido.

4.1 ANÁLISE MORFOLÓGICA DO RESÍDUO TÊXTIL E FIBRA DE CARBONO

Com o objetivo de identificar a estrutura das fibras empregadas na produção do compósito cimentício, a análise de Microscopia Eletrônica de Varredura, para os dois materiais aplicados como reforço na produção de compósito cimentício, foi realizada.

A aparência longitudinal da fibra, ilustrada na figura 9 (a) e (b), com diferentes magnitudes, corresponde a fibra de viscose, relacionada ao resíduo cedido pela empresa. Observa-se a presença de estrias ao longo de toda a extensão da fibra, característica associada às fibras oriundas da regeneração da celulose. Este fato corresponde a citação de Mather e Wardman (2011), que justificam a existência de estrias por conta da retração do núcleo do próprio material fibroso durante o processo de regeneração, dando origem a um substrato com superfície enrugada (MATHER E WARDMAN, 2011).

Figura 9 – MEV das amostras de resíduo com ampliações de (a) 200 e (b) 2000 vezes.

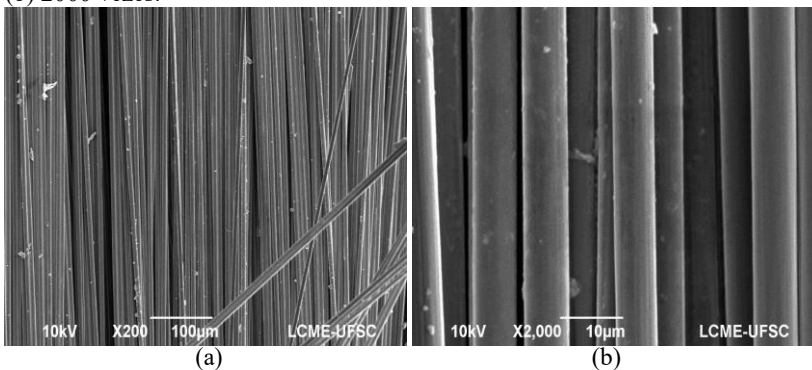


Fonte: O autor (2018).

Analisando a figura 9 (a) com menor nível de ampliação, considera-se a existência do emaranhado de fibras devido ao processo efetuado na indústria de origem do resíduo. Visto que, como a etapa de peluciação tem como objetivo cortar as laçadas para dar origem ao peluciado da parte interna de malhas como moletom, o residual sólido proveniente é composto pela disposição irregular do material fibroso. Desta forma, as fibras ficam aleatoriamente dispostas na massa de resíduo, ou seja, emaranhadas, apresentando também comprimentos bastante variados. Sendo assim, as dimensões obtidas, eram de 5 a 15 mm, similares ao padrão estabelecido para as fibras de carbono (item 3.1.1).

Para a fibra de carbono, a análise por MEV mostradas na figura 10 (a) e (b) permite visualizar a regularidade do material. Diferente da fibra anterior avaliada, o insumo carbonoso utilizado é um fio multifilamento com elevada uniformidade da superfície na direção longitudinal, visto que, os monofilamentos que compõem o fio de carbono estão todos paralelizados com aparentemente mesmo diâmetro ao longo de todas as seções transversais.

Figura 10 – Análise por MEV da fibra de carbono com ampliações de (a) 200 e (b) 2000 vezes.



Fonte: O autor (2018).

A estrutura organizada da fibra de carbono é determinada pela fase final de processamento do material, a partir do processo de grafitação. Conforme citado por Alagirusamy e Das (2011), a referida operação ordena os átomos de carbono, organizando-os em uma estrutura cristalina de camadas. Desta forma, segundo afirmações dos mesmos autores, uma fibra de elevado desempenho é caracterizada,

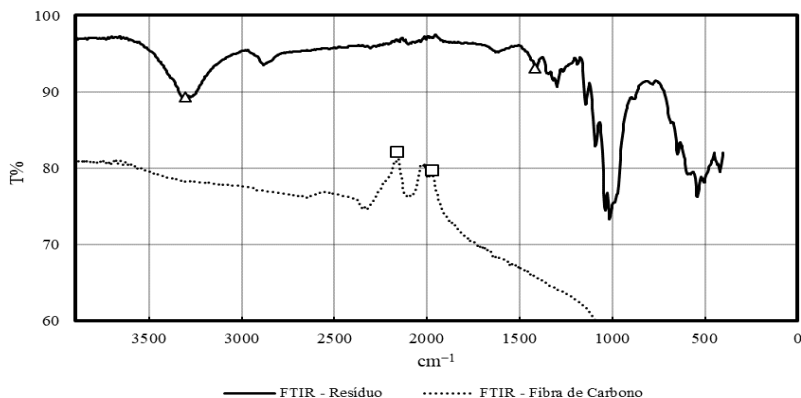
principalmente, por conta das camadas cristalinas orientadas na direção do eixo da fibra (ALAGIRUSAMY E DAS, 2011).

4.2 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO DAS FIBRAS

A técnica utilizada baseia-se na diferença da radiação no infravermelho transmitida ao comparar uma operação com e sem amostra. O resultado obtido é compilado como bandas de absorção, traduzidas como informação quantitativa e estrutural em nível molecular da amostra (FRINGELI, 2017), ou seja, os grupos funcionais presentes na estrutura das fibras em estudo.

Os dados referentes às bandas de absorção percebidas pelo método FTIR/ATR do resíduo, podem ser observados na figura 11. Considera-se vibrações relativas a fibra de viscose, faixas espectrais amplas em 3321 e 1416 cm^{-1} , conforme base teórica (INSTITUTE OF CHEMISTRY UNIVERSITY OF TARTU, 2015). Entretanto, identifica-se nos resultados obtidos, bandas em $3329 - 3294$ e 1427 cm^{-1} , para os pontos próximos a literatura citada. Neste sentido, atribui-se os valores obtidos ao grupo O-H alongado em ligações H intra e intermoleculares, H-C-H e O-C-H em acoplamento planar, respectivamente (COMNEA-STANCU *et al.*, 2017).

Figura 11 – Espectro de FTIR/ATR da amostra de resíduo e fibra de carbono.



Fonte: O autor (2018).

É oportuno salientar que certas informações compreendidas na figura 11 são, também, características presentes em insumos naturais,

como o algodão. A fibra citada possui bandas em 3333 e 1428 cm^{-1} (INSTITUTE OF CHEMISTRY UNIVERSITY OF TARTU, 2015), valores próximos aos observados. Porém, tendo em vista que a ambos os materiais fibrosos argumentados são de base celulósica, a similaridade entre os mesmos é inevitável. Além disso, a empresa responsável pelo resíduo, tem em seu processo fabril cerca de 90% de artigos produzidos com viscose, o que leva a considerar os outros 10% pertencentes a produção utilizando outras fibras.

Os grupos funcionais relativos as fibras de carbono são também identificados na figura 11, por meio da análise obtida de FTIR/ATR da amostra. As bandas espectrais mais significativas, correspondem aproximadamente a faixa entre 2300 e 1900 cm^{-1} , no qual a absorção nessa região é atribuída à deformação axial de tripla ligação $\text{C}\equiv\text{N}$ (2260 - 2200 cm^{-1}) em alta intensidade e dupla ligação de $\text{C}=\text{O}$ (1820 - 1760 cm^{-1}), essa por sua vez, com menor pico de energia. Entre 1400 - 1000 cm^{-1} tem-se a banda referente aos grupos $\text{C}-\text{O}-\text{C}$, $\text{C}-\text{N}-\text{C}$ ou $\text{C}-\text{N}$ (WANG et al., 2016).

4.3 ANÁLISE TÉRMICA DAS AMOSTRAS

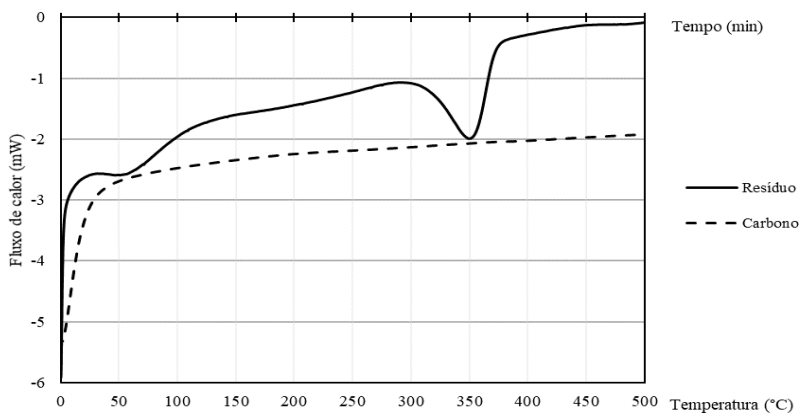
As análises foram realizadas no intuito de investigar os acontecimentos relacionados às mudanças físicas dos materiais. Duas técnicas são largamente utilizadas para o fornecimento de tais informações: DSC e TGA. A primeira, assenta-se na diferença de energia entre a amostra e um material de referência inerte (DENARI E CAVALHEIRO, 2012), onde as mudanças possibilitam a compreensão das transições relativas às amostras, como entalpia, fusão, transição vítrea, dentre outros (GABBOTT, 2008). Por outro lado, o segundo método empregado (TGA), consiste na variação da massa da amostra em função da temperatura ou tempo de processo (BOTTOM, 2008). Canevarolo em seus estudos, referindo-se a tal procedimento, cita a viabilidade de identificação de intervalos de temperatura no qual os compostos assumem composição química fixa, definida e constante, temperatura de decomposição, curso de reações de desidratação, oxidação, combustão, entre outros (CANEVAROLO, 2003).

4.3.1 Calorimetria exploratória diferencial

A figura 12 apresenta a curva obtida a partir do método DSC para a amostra de resíduo e de carbono. É observado o início do processo endotérmico perto de 30 °C, com final e pico máximo em

aproximadamente 120 °C. Cabe citar o trabalho de Gurudatt e Tripathi (1998), que considera a etapa sinalizada, decorrente da evaporação da água absorvida presente na amostra. Os dados descritos aproximam-se dos resultados dos mesmos autores, correspondendo a 50 - 100 °C durante o processo endotérmico. Além disso, Carrillo e seus colaboradores (2004) também discutem o fato, atribuindo o comportamento a hidrofiliidade de polímeros de base celulósica, uma das principais características da fibra de viscose.

Figura 12 – Curva de DSC da amostra de resíduo têxtil e fibra de carbono.



Fonte: O autor (2018).

Em aproximadamente 285 °C, tem-se o começo da reação exotérmica, por conta da degradação da celulose, com final da etapa em, aproximadamente, 385 °C. A decomposição do material na faixa de temperatura descrita é explicada por Gurudatt e Tripathi, como sendo efeito da despolimerização da celulose (GURUDATT E TRIPATHI, 1998). Assim como citado no trabalho de SUÑOL et al., que atribuíram acima de 250 °C, reações térmicas referentes a decomposição das unidades glicosiladas e a oxidação dos produtos, em decorrência do aumento de temperatura do processo (SUNÑOL et al., 2007).

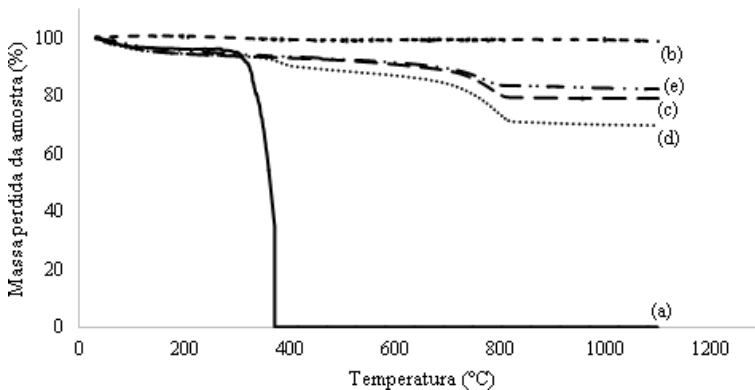
Para a amostra de carbono, a figura 12 não indica transformações físicas e térmicas expressivas na estrutura do material. Entretanto, os dados obtidos para a fibra de carbono podem ser comparados aos resultados do estudo realizado por Furushima et al., que avaliaram a fusão e a cristalização da PAN (poliacrilonitrila), material precursor das ligas de carbono. O autor obteve um pico em 236 °C e, posteriormente,

uma nova expressão de dados em 280 °C e temperatura máxima de 291 °C (FURUSHIMA et al., 2014), porém, estes picos não foram verificados nos resultados apresentados neste trabalho, o que indica que o material estudado está convertido em fibra de carbono.

4.3.2 Análise termogravimétrica

A investigação acerca do comportamento térmico dos materiais em estudo foi realizada por meio da análise de TGA. A figura 13 corresponde aos dados obtidos para cinco amostras distintas. A caracterização térmica mostrou perto dos 100 °C um declínio na curva, justificado pela evaporação da umidade presente nas amostras (KARACAN E SOY, 2013), exceto para o substrato (b), representado pela fibra de carbono, que não obteve alteração na faixa descrita. O resíduo têxtil manifestou maior porcentagem de perda de massa entre 200 e 400 °C, fato não surpreendente, visto que na literatura valores próximos são citados para a decomposição da fibra de viscose (KARACAN E SOY, 2013; SCHOLZ et al., 2017).

Figura 13 – TGA das amostras em estudo: resíduo (a); fibra de carbono (b); Cimento Portland - II (c); compósito cimentício reforçado com resíduo 2% (d) e compósito cimentício reforçado com carbono 2% (e).



Fonte: O autor (2018).

As amostras avaliadas (c), (d) e (e), foram avaliadas com idade de 28 dias. A partir disso, a análise termogravimétrica apontou comportamento, relativamente, parecido entre as três, com perda de massa significativa entre 15 - 20, 10 - 20 e 10 - 15% de material

decomposto, respectivamente. Para a amostra (b), referente a fibra de carbono, em todo varrimento avaliado, apenas 1,14% da massa total foi degradada, apresentando maior taxa de decomposição próximo ao final do procedimento, em 1085 °C, o que reforça a excelente propriedade térmica deste substrato. É preciso reconhecer que a faixa de temperatura determinada não foi a mais indicada, uma vez que quatro do total de amostras não obtiveram sua decomposição em termos expressivos.

4.4 PRODUÇÃO DOS COMPÓSITOS

Até o momento, foram apresentados os resultados que dizem respeito a caracterização dos materiais. Nesta etapa, serão indicados detalhes referentes a produção dos compósitos cimentícios com reforço de material fibroso, assim como algumas propriedades mecânicas e estruturais dos corpos-de-prova desenvolvidos.

4.4.1 Mistura da argamassa e cura dos corpos-de-prova

O procedimento de mistura seguiu como o descrito anteriormente (item 3.2.2), entretanto, durante a execução desta etapa foi evidente a dificuldade em dispersar a massa de fibras na pasta de cimento. Deste modo, 12 e 17 ml de água foram adicionadas à preparação das amostras com 2 e 4% de massa, respectivamente. Situação semelhante também ocorreu nos estudos realizados por Lourenço e seus colaboradores, conforme relatado sobre a inserção de fibra de algodão e poliéster (LOURENÇO et al., 2005). Deve-se ter em mente que o material têxtil precursor, principalmente a viscose, possui alta capacidade de adsorção de água (PERSIN et al., 2002). Em decorrência disto, para que a mistura obtivesse a consistência esperada, necessitou-se adicionar maior volume de água à argamassa durante a operação.

Ao referir-se a tal fato, cabe considerar que durante a primeira etapa da cura, relativa às primeiras 24h de idade do compósito, foi observado uma diminuição de cerca de 5% na altura dos corpos-de-prova nas amostras com reforço de fibras provenientes dos resíduos. O comportamento deve-se ao fato anteriormente comentado, sobre a características das fibras de viscose em adsorver/absorver água e contrair-se.

4.4.2 Resistência à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão, oitenta e quatro corpos-de-prova, distribuídos entre os diferentes tipos de fibra e concentrações de reforço, foram produzidos. Os resultados obtidos para o compósito cimentício com resíduo e fibra de carbono, além do cimento puro estão demonstrados na figura 14. Com 7 dias de idade, as amostras contendo 0,5% de resíduo têxtil foram as que atingiram maior resistência à compressão, $14,03 \pm 0,62$ MPa. Por outro lado, a menor resistência à compressão foi de $6,04 \pm 0,55$ MPa para o compósito cimentício com reforço de resíduo 4%. Vale ressaltar a uniformidade obtida nos resultados de compressão, com coeficientes de variação de 4,38% e 9,14% para as amostras com 0,5% e 4% de resíduo, respectivamente.

A figura 14, indica a compressão para as idades de 14 e 28 dias, onde os dados obtidos atribuem ao CR0 os maiores níveis de resistência, $16,79 \pm 2,26$ e $19,52 \pm 0,18$ MPa, respectivamente. Nota-se que a resistência a compressão teve aumento entre as idades 7, 14 e 28 dias de cura. Além disso, percebe-se que a maior massa de resíduo, presente como reforço no compósito, não necessariamente levar a um aumento na resistência, visto a variação encontrada. Chen e seu grupo de investigação (2018), afirmam que a interação da estrutura entre partícula-partícula no interior do compósito é reforçada pela adição de fibras, resultando em melhora da resistência, por outro lado o reforço gera uma superfície com estrutura fraca no interior do material. Ainda nesta mesma linha de considerações, o autor cita que quando sujeito à compressão externa, a falha do compósito pode ocorrer antes da carga de ruptura máxima, em consequência ao arranjo interno frágil (CHEN et al., 2018).

A fragilidade do material está associada a massa de fibras superior ao limite adequado. Em níveis acima da capacidade ideal, vazios contendo ar podem ser formados durante a mistura. Como a quantidade de fibras é elevada, as mesmas formam uma teia que impede a passagem do ar para fora, desta forma, acarretando na redução nas propriedades mecânicas do material (WU, 2002).

Neste sentido, ainda cabe destacar uma questão importante, a relação entre comprimento/diâmetro da fibra. A tensão exercida sobre a matriz será transferida para o reforço por meio da interface, em nível distinto por assumir-se que existe diferença entre o módulo de tensão dos materiais. O reforço, quando alinhado paralelamente à direção de carregamento, tem a tensão distribuída sentida em quase toda a área

relativa ao seu comprimento, em direção ao eixo, exceto nas extremidades da fibra. Deste modo, uma área longitudinal grande permite a fibra suportar cargas maiores, visto a melhor distribuição de tensão ao longo da superfície (MATTHEWS E RAWLINGS, 2008). Desta forma, pode-se considerar que possivelmente as dimensões do resíduo não estejam de fato uniformes e assim, resultaram em diferenças nos ensaios de compressão, visto o estado do residual aglomerado utilizado como material precursor.

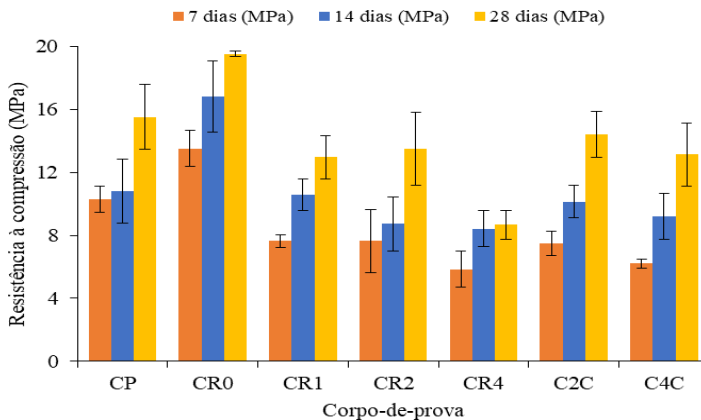
A transferência de tensões entre matriz e reforço em um compósito são influenciados pelo comprimento crítico das fibras. Assim como anteriormente comentado, as dimensões do material fibroso irão afetar as resistências do compósito, visto que caso o comprimento da fibra seja menor que o comprimento crítico, a ancoragem não será eficiente e causará o escoamento ou ruptura nas fibras, descolando da matriz, não exercendo a função prevista de reforço, conforme relato por Silva et al. (2014). O contrário também acarreta em redução das propriedades, ou seja, quando o comprimento é maior que o crítico, a falha ocorrerá pelo aglomerado de fibras no material (SILVA et al., 2014). Neste sentido, Matthews e Rawlings (2008), definem o comprimento crítico " l_c " como sendo o comprimento mínimo de fibra para determinado diâmetro que permitirá a falha de tensão da fibra ao em vez da falha de cisalhamento da interface. Ou seja, o menor comprimento necessário para o desenvolvimento máximo de tensões (SILVA FILHO E GARCEZ, 2007; SILVA et al., 2014).

Os ensaios referentes a resistência à compressão do compósito produzido com reforço de fibra de carbono têm os resultados, também, representados na figura 14. Assim como o resíduo, o comportamento do material de carbono teve regularidade na obtenção de resistência ao longo do período progressivo de cura dos corpos-de-prova, atingindo resistência máxima de $14,41 \pm 1,43$ MPa e $13,12 \pm 1,99$ MPa, para C2C e C4C, com 28 dias de idade em ambas as amostras avaliadas.

Na literatura, dados apontam o aumento na quantidade de fibras inseridas na matriz como fator importante para o aumento da resistência, porém, há um limite de adição. Entretanto, como previamente citado, ao referir-se a tal assunto, Wang et al. (2008) também argumentam em seus estudos que concentrações maiores que 0,6% favorecem o surgimento de bolhas de ar no compósito, fenômeno conhecido como fasciculação. Outro aspecto levantado é sobre a dispersão de fibras; o autor explica que quando não efetuada de forma adequada, causa redução das cargas máximas suportadas pelo material (WANG et al., 2008).

Deste modo, mesmo que a resistência alcançada com C2C tenha sido maior que a carga atingida com C4C, deve-se investigar outras concentrações a fim de se verificar a possibilidade de se obter resultados mais expressivos quanto a resistência à compressão. Vale ressaltar que ensaios de flexão e tração não foram investigados neste trabalho. Visto que, a fibra de carbono é um material de alto desempenho, pressupõe-se resistência à compressão superior que os dados obtidos para o resíduo. É propício afirmar que o material precursor ao corte de fibras de carbono era um cabo multifilamento e, conseqüentemente, a uniformidade para obtenção de fibras em tamanho adequado facilmente proporcionada. A comparação entre os resultados obtidos para os corpos-de-prova para CP, CR0, CR1, CR2, CR4 e C2C e C4C, com seus respectivos períodos de cura podem ser observados na figura 14.

Figura 14 – Resistência à compressão dos corpos-de-prova em estudo.



Fonte: O autor (2018).

Com base na figura 14, observa-se que os dados foram favoráveis a adição de resíduo com 0.5% de concentração. Uma vez que, além de obter a resistência à compressão maior que o C2C, também ultrapassou a força máxima atingida pelo CP, de $15,51 \text{ MPa} \pm 2,07$ com 28 dias de cura.

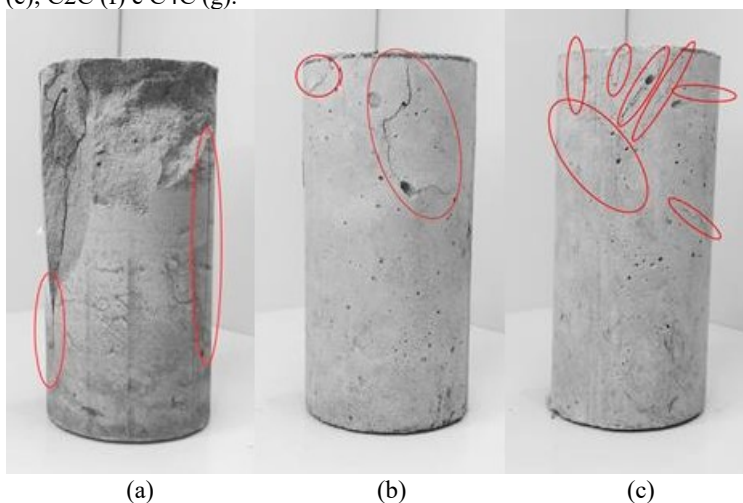
4.4.3 Análise Visual de Falhas

Um importante fator para avaliação das fraturas do material cimentício é o conhecimento do modo de fissuração dos corpos-de-

prova, por meio de observação macroestrutural. Em observação à figura 15 (a), (b), (c), (d), (e), (f) e (g) é possível verificar os pontos de falha das amostras após exposição a carga de ruptura máxima. É inegável reconhecer que o CP, figura 15 (a), teve o maior dano à estrutura, contendo fraturas com desprendimento de frações consideráveis de massa, além de fissuras ao longo de toda sua extensão, representadas pelas áreas destacadas nas imagens.

A adição de fibras ao material, manteve a estrutura agregada, mesmo com a formação de pequenas falhas, como mostra a figura 15 (b), (c), (d), (e), (f) e (g). O material fibroso contribuiu para manter as trincas unidas por meio da descolagem e deslizamento das mesmas contra a matriz. Impedindo a propagação das trincas por meio de estabilização e aplicação de tração para fechamento da superfície das fendas. Desta forma, dificultando o rompimento prematuro da estrutura, por meio do aumento nos níveis de força e deformação do compósito (LIN E LI, 1997; CHEN et al., 2018).

Figura 15 – Falha macroestrutural após ensaio de resistência à compressão dos corpos-de-prova com cura de 28 dias: CP (a); CR0 (b), CR1 (c), CR2 (d) e CR4 (e); C2C (f) e C4C (g).

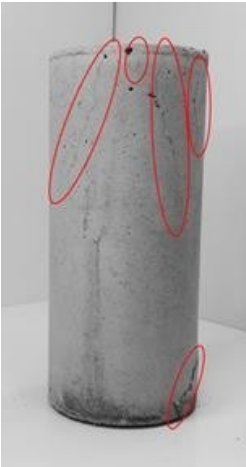




(d)

(e)

(f)



(g)

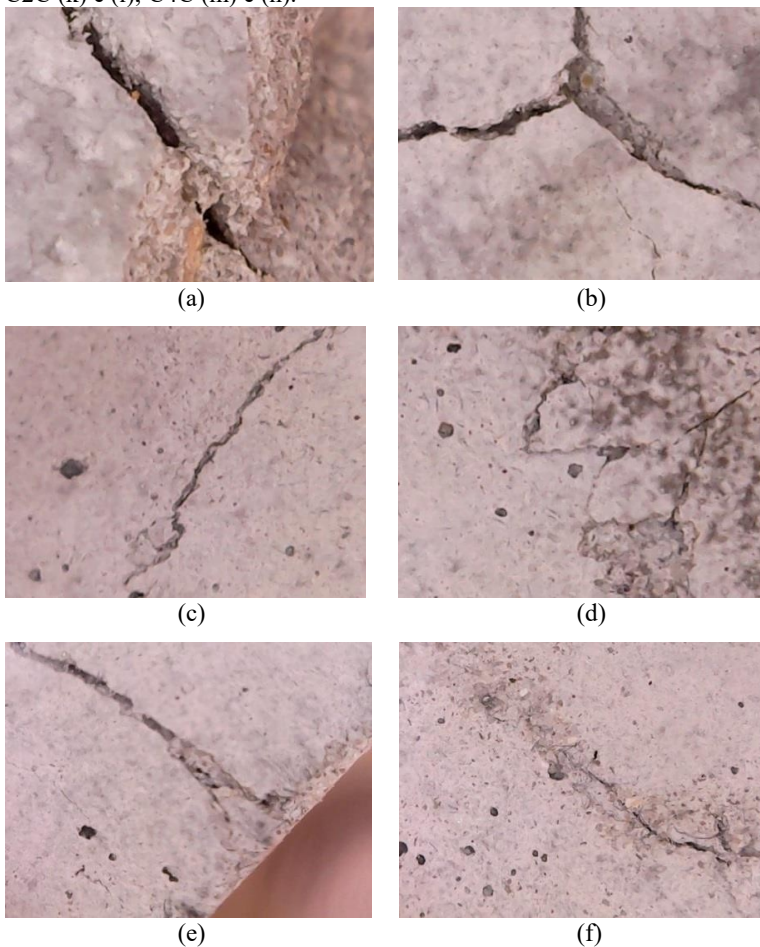
Fonte: O autor (2018).

É interessante verificar que as amostras com menor quantidade de aberturas, 15 (b), (d) e (f), correspondem aos espécimes com reforço de maiores resistências à compressão: CR0, CR2 e C2C. Desta forma, torna-se oportuno ressaltar novamente a importância do teor e a dispersão das fibras, a partir do fato que a dosagem adequada propicia propriedades mecânicas atrativas como resistência à ruptura, absorção de energia de impacto, ductilidade e estabilidade dimensional

(LARSON et al., 1990). Por outro lado, o excesso reflete o inverso, ou seja, a diminuição das propriedades desejadas (WANG et al., 2007).

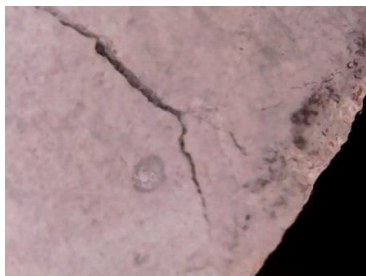
Para uma melhor visualização das fraturas obtidas para cada amostra supracitada, após ensaio de compressão, foi utilizado um microscópio digital e uma câmera com alta resolução. A figura 16 ilustra as imagens obtidas.

Figura 16 – Falhas após ensaio de compressão dos corpos-de-prova com 28 dias de cura: CP (a) e (b); CR0 (c) e (d); CR1 (e) e (f); CR2 (g) e (h); CR4 (i) e (j); C2C (k) e (l); C4C (m) e (n).

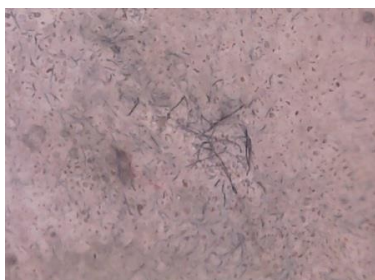




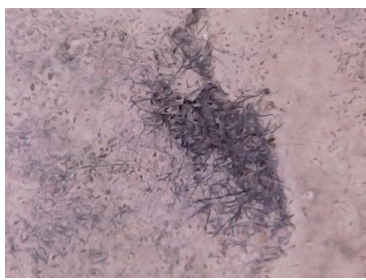
(g)



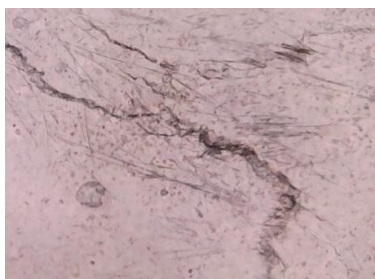
(h)



(i)



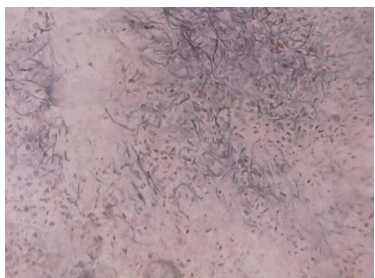
(j)



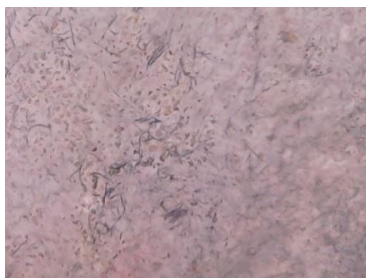
(k)



(l)



(m)

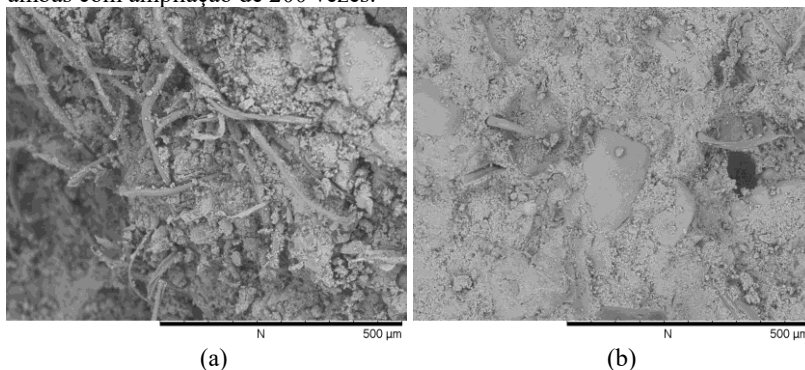


(n)

Através das imagens obtidas pelo microscópio, fica aparente as fraturas formadas nas amostras de CP, expostas na figura 16 (a) e (b). As mesmas são demasiadamente maiores que as fissuras dos compósitos com reforços fibrosos. É inegável as contribuições que as fibras têxteis trazem ao cimento. A figura 16 (j) e (m) mostram manchas escuras na superfície dos corpos-de-prova, CR4 e C4C, respectivamente. Isso ilustra um aglomerado de fibras, decorrente da possível concentração acima da capacidade ideal de reforço.

A imagem obtida por MEV, representada na figura 17 (a), permite melhor visualização da massa de viscoso (CR4) que não dispersou de forma homogênea na massa de cimento, para a amostra com 4% de reforço. Visto que, é possível reafirmar o constatado visualmente, fibras adensadas em um grande volume em pontos específicos do corpo-de-prova. Por outro lado, na figura 17 (b) observa-se que o menor percentual de agregado (CR0) obteve desempenho mecânico superior, por estar com melhor dispersão de fibras que amostras com maior inserção de reforço.

Figura 17 – MEV da dispersão de fibras na argamassa, CR4 (a) e CR0 (b), ambas com ampliação de 200 vezes.



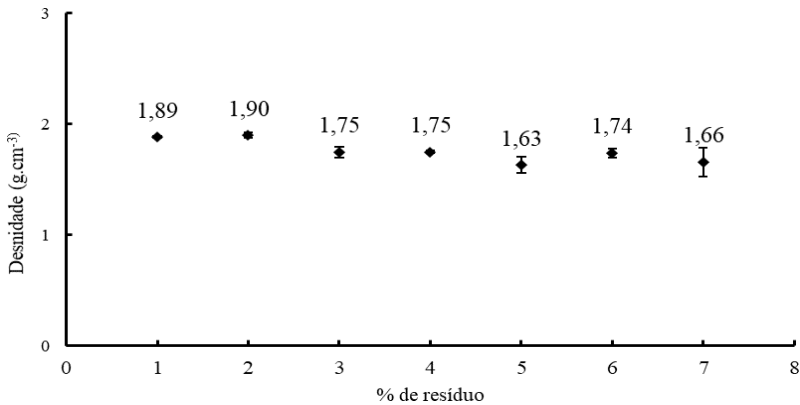
Fonte: O autor (2018).

4.4.4 Massa específica dos compósitos

Dentre todas as avaliações feitas a partir da análise das propriedades do compósito, relata-se também a massa específica obtida das amostras em estudo. Conforme observado na figura 18, observa-se que com o aumento da dosagem de fibras, há redução na massa do material compósito. Nota-se o valor de 1,89 e 1,90 g.cm⁻³, para as amostras de CP e CR0, respectivamente. O resultado obtido é

semelhante ao encontrado na literatura para cimento convencional, $1,88 \text{ g.cm}^{-3}$ (CHENG et al., 2018). É comum considerar que o aumento na massa de fibras em dispersão, reduza a densidade do material. Em seus estudos, Xie et al. (2015), avaliaram as características da adição de fibras celulósicas na mistura para a argamassa de cimento. Os dados obtidos pelo autor, demonstraram gradualmente a diminuição até 37,31% de massa com 16% de fibra no compósito (XIE et al., 2015).

Figura 18 – Massa específica das diferentes dosagens de fibra e cura de 28 dias.



Fonte: O autor (2018).

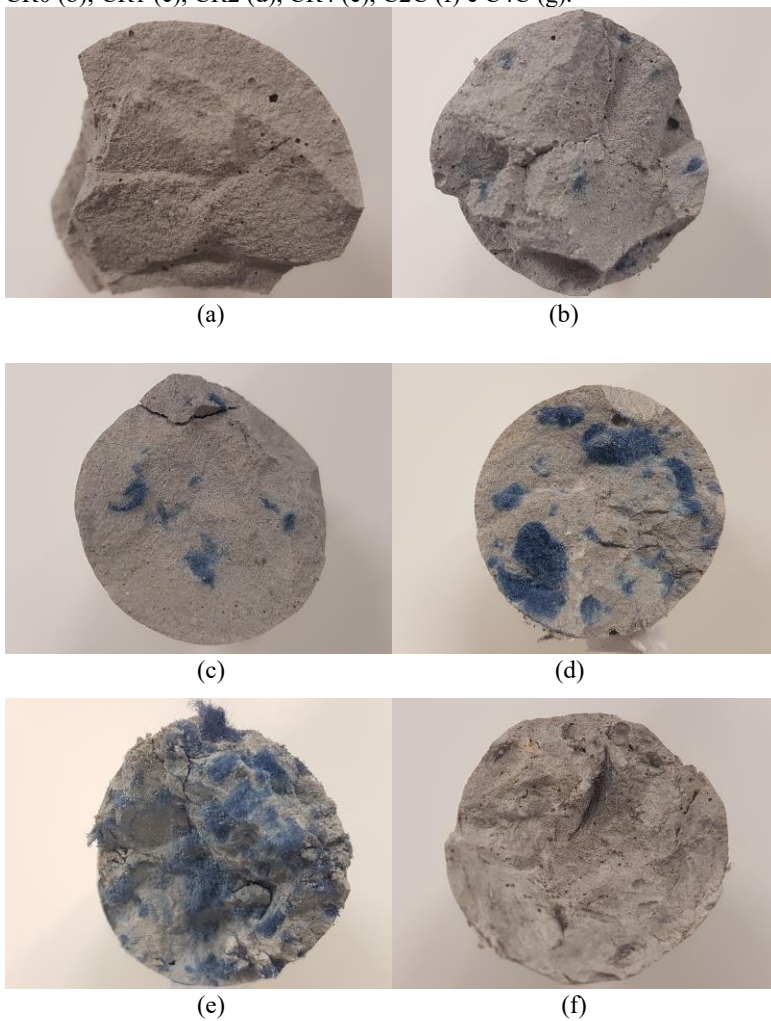
A redução alcançada a partir dos resultados experimentais deste trabalho, obteve percentual máximo de 7,41% de redução para o resíduo como reforço (CR2 e CR4) e 12,17% para os compósitos com fibras de carbono.

4.4.5 Análise da seção transversal dos corpos-de-prova

Com a finalidade de observar a dispersão das fibras no interior dos compósitos cimentícios, imagens da seção transversal foram realizadas. A figura 19 apresenta as ilustrações obtidas para cada categoria de corpos-de-prova. A partir das imagens com baixa ampliação é significativo observar que a concentração de 4% de resíduo apresentou um percentual bastante elevado de fibras na seção transversal, conforme verificado na figura 19 (e). Ou seja, houve problemas quanto à dispersão das fibras no cimento. Por outro lado, o mesmo não ocorre para a distribuição da fibra de carbono, que é pouco

evidente a partir das imagens referentes aos compósitos com esse reforço inserido (Figura 19-f e 19-g).

Figura 19 – Seção transversal dos corpos-de-prova com 28 dias de cura: CP (a); CR0 (b); CR1 (c), CR2 (d), CR4 (e), C2C (f) e C4C (g).





(g)

Fonte: O autor (2018).

Para que a seção transversal dos espécimes fosse obtida, foi necessário a ruptura do corpo-de-prova, realizada de forma manual. O que se percebeu durante a realização dessa ação, foi o difícil rompimento das amostras, em vista do já citado (item 4.4.3), mecanismo de formação da estrutura, ou seja, a interação fibra-cimento do compósito.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise morfológica do resíduo têxtil por meio do MEV, verificou-se que o material possui estrias em toda a sua superfície longitudinal, sinal característico de matérias celulósicas ou regeneradas. Além disso, é possível verificar que a massa da amostra está toda aglomerada e arranjada randomicamente. Por outro lado, as imagens do MEV da amostra de fibra de carbono ilustram uma superfície lisa, com elevada regularidade dimensional, devido a sua organização cristalina e seu processo de fabricação.

Durante o processo de mistura da argamassa, foi verificada dificuldade em obter consistência adequada na pasta cimentícia reforçada com o resíduo, sendo necessário adicionar um volume maior de água. Acredita-se que tal fato é resultante da alta hidrofilidade da viscosa. Por conta disso, após a cura inicial de 24h, houve uma pequena retração na altura dos corpos-de-prova, justificada pela água destinada a hidratação do cimento.

Os ensaios de compressão demonstraram aumento na capacidade de resistência após período de 28 dias de cura dos corpos-de-prova. Para as diferentes frações de massa de reforço inserido, 0,5% foi o melhor resultado obtido para a adição de resíduo. Ressalta-se também a importância da dimensão das fibras inseridas como reforço, pois o seu comprimento e diâmetro são importantes fatores na obtenção das propriedades desejadas do compósito.

A avaliação visual das amostras após os ensaios de resistência à compressão mostrou resultados satisfatórios para a inserção de fibras, quando se considera as fissuras formadas no material. Ficou aparente o desprendimento de massa exagerada da estrutura padrão, além de falhas com aberturas bastante evidentes. Para os corpos-de-prova CR0, CR2 e C2C, que além de serem as amostras com maior resistência à compressão, também evidenciaram a menor quantidade de aberturas em suas respectivas superfícies, demonstrando a capacidade das fibras de manter a matriz cimentícia agregada, evitando a propagação das falhas.

Salienta-se a importância do tema discutido neste trabalho, a partir da possibilidade da valoração de um resíduo têxtil na produção de materiais para a construção civil com melhor desempenho mecânico. A sinergia entre as áreas de engenharia têxtil e civil na busca de alternativas sustentáveis para substratos que comumente são descartados é sem dúvida um aspecto relevante e que deve ser considerado no desenvolvimento de soluções para a sociedade.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir das respostas obtidas com o trabalho realizado, é apropriado sugerir opções para investigações futuras.

Estudos a respeito da escolha das propriedades das fibras para reforço, suas dimensões, formas de dispersão e concentrações (por exemplo fibras de carbono com concentrações inferiores).

Análises microestruturais das amostras, para melhor conhecimento dos fenômenos de hidratação, decomposição e formação interna estrutural, como forma de obter dados a respeito do desempenho do compósito.

Estudo de outras propriedades mecânicas, tais como: resistência à flexão, resistência à tração, resistência ao impacto dentre outras.

Estudo das propriedades termoacústicas dos materiais reforçados com fibras, como forma de emprego do material além dos atributos mecânicos.

REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A.; JAMALUDIN, S. B.; NOOR, M. M.; HUSSIN, K. Composite cement reinforced coconut fiber: physical and mechanical properties and fracture behavior. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, p. 1228-1240, 2011.
- AGRWAL, B. D.; BROUTMAN, L. J.; CHANDRASHEKHARA, K. Analysis and performance of fiber composites. **Wiley**, 2018.
- AITCIN, P. C.; JOLICOEUR, C.; MACGREGOR, J. C. Superplasticizers: how they work and why they occasionally don't, **Concrete Int.** v. 16, p. 45-52, 1994.
- AIZENSHTEIN, E. M. Global production and consumption of chemical fibres in 2016. **Fibre Chemistry**, v. 50, n. 1, p. 73-78, 2016.
- ALAGIRUSAMY, R. E DAS, A. IN FANGUEIRO, R. Fibrous and composite materials for civil engineering applications. **Woodhead Publishing**, 2011.
- ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química nova**, v. 19, n. 3, p. 350-330, 1996.
- AMARAL, M. C.; ZONATTI, W. F.; SILVA, K. L.; JUNIOR, K. D.; NETO, A. J.; RAMOS, J. B. Reciclagem industrial e ereuso têxtil no Brasil: estudo de caso e considerações referentes à economia circular. **Gest. Prod.**, São carlos, v. 25, n. 3, p. 431-443, 2018.
- ANDREOLI, C.; FRETI, F. Man-made fibres – reference books of textile technologies. **Fondazione Acimit**, 2006.
- ARAÚJO, C. M. Reforço de vigas de concreto à flexão e ao cisalhamento com tecidos de fibra de carbono. **Tese**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.
- ARAÚJO, M. Fibrous and composite materials for civil engineering applications. **Woodhead Publishing**, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL. **Perfil do setor**. Disponível em: < <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>> acessado em 04 de nov. de 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia básico de utilização de cimento portland**. 7 ed., São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215**: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, p. 1-8, 1996.

BASTIAN, E. Y. O. Guia técnico ambiental da indústria têxtil. São Paulo: CETESB; **SINDITEXTIL**, 2009.

GIFFONI, P. O.; LANGE, L. C. A utilização de borra de fosfato como matéria-prima alternativa para a fabricação de tijolos. **Revista Engenharia Sanitária e ambiental**, v. 10, n. 2, 2005.

BATISTA, M. D. R.; DRZAL, L. Carbon fiber/epoxy matrix composite interphases modified with cellulose nanocrystals. **Composites Science and Technology**, v. 164, p. 274-281, 2018.

BEBER, A. J. Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono. **Tese**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

BOONS, F.; MONTALVO, C.; QUIST, J.; WAGNER, M. Sustainable innovation, business models and economic performance: an overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 45, p. 1-8, 2013.

BORBA, N. Z.; BLAGA, L.; SANTOS, J. F.; FILHO, S. T. A. Direct-friction rivetinf of polymer composite laminates for aircraft applications. **Materials Letters**, v. 215, p. 31-34, 2018.

BOTTOM, R. EM GABBOTT, P. Principles and applications of thermal analysis. **Blackwell Publishing**, 2008.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Brasília, DF, ago 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 23 nov. 2018.

BURAKOWSKI, L. REZENDE, M. C. Modificação da rugosidade de fibras de carbono por método químico para aplicação em compósitos poliméricos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 11, nº 2, p. 51-57, 2001.

BYRNE, C. EM HORRCKS, A. R.; ANAND, S. C. Handbook of technical textile. **Woodhead Publishing**, 2000.

CANEVAROLO, S. V. Técnicas de caracterização de polímeros. **Artliber** Editora, 2003.

CAO, M.; MAO, Y.; KHAN, M.; SI, W.; SHEN, S. Different testing methods for assessing the synthetic fiber distribution in cement-based composites. **Construction and Building Materials**, v. 184, p. 128-142, 2018.

CARRILIO, F.; COLOM, X. SUÑOL, J. J.; SAURINA, J. Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres. **European Polymer Journal**, v. 40, p. 2229-2234, 2004.

CASTRO, A. L.; LIBORIO, J. B. L.; PANDOLFELLI, V. C. A influência do tipo de cimento no desempenho de concretos avançados formulados a partir do método de dosagem computacional. **Cerâmica**, v. 57, p. 10-21, 2011.

CHAWLA, K. K. Composite materials: science and engineering. **Springer**, 2012.

CHEN, J. Textiles and Fashion: materials, design and technology. **Woodhead Publishing**, p. 79-96, 2014.

CHEN, X.; SHI, X.; ZHOU, J.; CHEN, Q.; LI, E.; DU, X. Compressive behavior and microstructural properties of tailings polypropylene fibre-reinforced cemented paste backfill. **Construction and Building Materials**, v. 190, p. 211-221, 2018.

CHEN, Z.; ZHOU, X.; WANG, X.; GUO, P. Mechanical behavior of multilayer GO carbon-fiber cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 205-212, 2018.

CHENG, X. W.; KHORAMI, M.; SHI, Y.; LIU, K. Q.; GUO, X. Y.; AUSTIN, S.; SAIDANI, M. A new approach to improve mechanical properties and durability of low-density oil well cement composite reinforced by cellulose fibres in microstructural scale. **Construction and Building Materials**, v. 117, p. 499-510, 2018.

CHUANG, W. GENG-SHENG, J.; BING-LIANG, L.; LEI, P.; YING, F.; NI, G.; KE-ZHI, L. Dispersion of carbon fibers and conductivity of carbon fiber-reinforced cement-based composites. **Ceramics International**, v. 43, p. 15122-15132, 2017.

CHUNG, D. D. L. Processing structure property relationships of continuous carbon fiber polymer-matrix composites. **Materials Science and Engineering**, v. 113, p. 1-29, 2017.

COMNEA-STANCU, I. R.; WIELAND, K.; RAMER, G.; SCHWAIGHOFER, A.; LENDL, B. On the identification of Rayon/Viscose as a major fraction of microplastics in the marine environment: discrimination between natural and manmade cellulosic fibers using fourier transform infrared spectroscopy. **Applied Spectroscopy**, v. 71, p. 939-950, 2017.

COOK, J. G. Handbook of textile fibres. **Woodhead Publishing**, 2001.

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. Princípios e aplicações de análise térmica. **Roteiro**, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2012.

DILSIZ, N. & WIGHTMAN, J. P. **Carbon**, v. 37, p. 1105-1114, 1999.

DYER, J.; DAUL, G. C. **Ind. Eng. Chem., Product R&D**, v. 20, 1981.
EL-GABRY, L.; ALLAM, O.; HAKEIM, O. Surface functionalization of viscose and polyester fabrics toward antibacterial and coloration properties. **Carbohydr Polym**, v. 92, p. 353-359, 2013.

FANGUEIRO, R.; SOUTINHO, F. Fibrous and composite materials for civil engineering applications. **Woodhead Publishing**, 2011.

FERRARI, V. J.; PADARATZ, I. J.; LORIGGIO, D. D. Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem. **Acta Scientiarum**, v. 24, n.6, p. 1783-1791, 2002.

FRINGELI, U. .P. EM LINDON, J. C.; TRANTER, G. E.; KOPPENAL, D. W. Encyclopedia of spectroscopy and spectrometry, ed. 3. **Academic Press**, 2017.

FURUSHIMA, Y.; NAKADA, M.; TAKAHASHI, H.; ISHIKIRIYAMA, K. Study of melting and crystallization behavior of polyacrylonitrile using ultrafast differential scanning calorimetry. **Polymer**, v. 55, p. 3075-3081, 2014.

GABBOTT, P. Principles and applications of thermal analysis. **Blackwell Publishing**, 2008.

GANSTER, J.; FINK, H. P. Handbook of textile fibre structure – Volume 2: Natural, regenerated, inorganic and specialist fibres. **Woodhead Publishing**, p. 201-233, 2009.

GRAUPNER, N.; BASEL, S.; MÜSSIG. Size effects of viscose fibres and their unidirectional epoxy composites: application of least squares Weibull statistics. **Cellulose**, v. 25, p. 3407-3421, 2018.

- GRIES, T.; RAINA, M.; QUADFLIEG, T.; STOLYAROV, O. *IN TRIANTAFILLOU, T. Textile fibre composites in civil engineering. Woodhead Publishing*, 2016.
- GURUDATT, K.; TRIPATHI, V. S. Studies on changes in morphology during carbonization and activation of pretreated viscose rayon fabrics. **Carbon**, v. 36, p. 1371-1377, 1998.
- HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de cimento portland. IBRACON, 2010.
- HULL, D. An introduction to composite materials. **Cambridge University Press**, 1981.
- INSTITUTE OF CHEMISTRY UNIVERSITY OF TARTU. ATR-FT-IR spectrum of viscose (4000-225 cm^{-1}). **Database of ATR-FT-IR spectra of various materials**, 2015.
- INTRATEC SOLUTIONS. Carbon Fiber Production from PAN: Cost Analysis – Carbon fiber E11A. **Intratec Solutions**, 2016.
- JAVADIAN, A.; WIELOPOLSKI, M.; SMITH, I. F. C.; HEBEL, D. E. Bond-behavior study of newly developed bamboo-composite reinforcement in concrete. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 110-117, 2016.
- CORREIA, J. Preparação, caracterização e aplicação de adsorvente carbonoso preparado a partir da pirólise de resíduos de fibras têxteis. Dissertação. **Programa de Pós-graduação em Engenharia Química**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.
- JIANG, C.; WU, Y. F.; DAI, M. J. Degradation of steel-to-concrete bond due to corrosion. **Construction and building materials**, v. 158, p. 1073-1080, 2018.
- JIANG, Y.; LING, T. C.; SHI, C.; PAN, S.Y. Characteristics of steel slags and their use in cement and concrete - a review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 136, p. 187-197, 2018.
- JOHN, V. M. EM ISAIA, G. C.. Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais. **IBRACON**, ed. 2, p. 97-121, 2010.
- JÚNIOR, M. L. Incorporação de lodo têxtil em blocos cerâmicos. Trabalho de Conclusão de Curso. **Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2013.
- QUEIROZ, M. T. A.; LIMA, L. R. P.; ALVIM, L. B.; LEÃO, M. M. D.; AMORIM, C. C. Gestão de resíduos na indústria têxtil e sua relação com a

qualidade da água: estudo de caso. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, v. 8, n. 15, p. 114-135, 2016.

KAISH, A. B. M. A.; JAMIL, M.; RAMAN, S. N.; ZAIN, M. F. M.; NAHAR, L. Ferrocement composites for strengthening of concrete columns: a review. **Construction and building Materials**, v. 160, p. 326-340, 2018.

KARACAN, I.; SOY, T. Structure and properties of oxidatively stabilized viscose rayon fibers impregnated with boric acid and phosphoric acid prior to carbonization and activation steps. **Journal of Materials Science**, v. 48, p. 2009-2021, 2012.

KAW, K. Mechanis of composite materials. **CRC Press**, 2006.

KHAN, M.; ALI, M. Effect of super plasticizer on the properties of medium strenght concrete prepared with coconut fiber. **Construction and Building materials**, v. 182, p. 703-715, 2018.

KILINÇ, A. Ç.; KOKTAS, S.; SEKI, Y.; ATAGUR, M.; DALMIS, R.; ERDOGAN, U. H.; GOKTAS, A. A.; SEYDIBEYOGLU, M. O. Extraction and investigation of lightweight and porous natural fiber from *Conium maculatum* as a potential reinforcement for composite materials in transportation. **Composites Part B**, v. 140, p. 1-8, 2018.

KOTEK, R. Handbook of fiber chemistry – regenerated cellulose fibers. **CRC Press**, 3^a ed., 2007.

KRAMAR, A; PRYSIAZHNYI, V.; DOJCINOVIC, B.; MIHAJLOVSKI, K.; OBRADOVIC, B. M.; KURAICA, M. M.; KOSTIC, M. Antimicrobial viscose fabric prepared by treatment in DBD and subsequente deposition of silver and copper ions – Investigation of plasma aging effect. **Surface and Coatings Technology**, v. 234, p. 92-99, 2013.

LI, H.; MU, R.; QING, L.; CHEN, H.; MA, Y. The influence of fiber orientation on bleeding of steel fiber reinforced cementitious composites. **Cement and Concrete Composites**, v. 92, p. 125-134, 2018.

LI, X. Recycling and reuse of waste concrete in China: Part I - Material behaviour of recycled aggregate concrete. **Resources, conservation and Recycling**, v. 53, p. 36-44, 2008.

LIN, Z; LI, V. C. Crack bridging in fiber reinforced cementitious composites with slip-hardering interfaces. **Journal of the Mechanics and Physics of Solids**, v. 45, p. 763-787, 1997.

LIU, Y.; EDWARDS, V.; PREVOST, N.; HUANG, Y.; CHEN, J. Y. Physico- and bio-activities of nanoscale regenerated cellulose nonwoven immobilized with lysozyme. **Material Science & Engineering C**, v. 91, p. 389-394, 2018.

LORENZETTI, U. V.; FREDEL, M. C.; GLEIZE, P. Efeitos dos procedimentos de cura no comportamento do concreto: resistência à compressão e perda de massa. In: **42º Congresso Brasileiro Do concreto**. Fortaleza, Ceará, 2000.

LOURENÇO, L.; BARROS, J.; SOUTO, P. Composição de betão de resistência melhorada ao fogo para aduelas de túneis - parte I. **Relatório Técnico**, Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering, Universidade do Minho. Portugal, 2005.

MARIANO, M.; KISSI, N. E.; DUFRESNE, A. Cellulose nanomaterials: seize and surface influence on the thermal and rheological behavior. **Polímeros**, 28(2), 93-102, 2018.

MARTINIE, L.; ROUSSEL, N. Simple tools for fiber orientation prediction in industrial practice. **Cement and Concrete Research**, v. 41, p. 993-1000, 2011.

MARTUSCELLI, C. C.; SANTOS, J. C.; OLIVEIRA, P. R.; PANZERA, T. H.; AGUILAR, M. T. P.; GARCIA, C. T. Polymer-cementitious composites containing recycled rubber particles. **Construction and Building Materials**, v. 170, p. 446-454, 2018.

MATHES, V. The composites industry: plenty of opportunities in heterogeneous market. **Reinforced Plastics**, v. 62, n. 1, p. 44-51, 2018.

MATHIJSEN, D. How safe are modern aircraft with carbon fiber composite fuselages in a survivable crash?. **Reinforced Plastics**, v. 62, p. 82-88, 2017.

MATHUR, R. B.; BAHL, O. P.; MITTAL, J. A new approach to thermal stabilization of PAN fibres. **Carbon**, v. 30, p. 657-663, 1992.

MATHUR, R. B.; BAHL, O. P.; MITTAL, J. Advances in the development of high-performance carbon fibres from PAN precursor. **Composites Science and Technology**, v. 51, p. 223-230, 1994.

MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. Composite materials: engineering and science. **Woodhead Publishing**, 2008.

MAZZOCCHETTI, L.; BENELLI, T.; D'ANGELO, E.; LEONARDI, C.; ZATTINI, G.; GIORGINI, L. Validation of carbon fibers recycling by pyro-gasification: the influence of oxidation conditions to obtain clean fibers and

promote fiber/matrix adhesion in epoxy composites. **Composites Part A**, v. 112, p. 504-514, 2018.

McCARTHY, B. J. *EM HORRCKS*, A. R.; ANAND, S. C. Handbook of technical textile. **Woodhead Publishing**, 2000.

MELO, A. B. L.; PANZERA, T. H.; FREIRE, R. T. S. The effect of Portland cement inclusions in hybrid glass fibre reinforced composites based on a full factorial design. **Composite Structures**, v. 2002, p. 233-240, 2018.

MILWICH, M. IN POHL, G. Textiles, polymers and composites for buildings. **Woodhead Publishing**, 2010.

NATIONAL COMPOSITES NETWORK. **Best practice guide**: technical textiles and composite manufacturing. Disponível em:
<<https://compositesuk.co.uk/system/files/documents/Technical%20Textiles.pdf>
> acessado em 05 de out. de 2018.

NORUP, N.; PIHL, K.; DAMGAARD, A.; SCHEUTZ, C. Development and testing of a sorting and quality assessment method for textile waste. **Waste management**, v. 79, p. 8-21, 2018.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. Plant-based natural fibre reinforced cement composites; a review. **Cement and Concrete Composites**, v. 68, p. 96-108, 2016.

PARIS, O; PETERLNK, H. Handbook of textile fibre structure – Volume 2: Natural, regenerated, inorganic and specialist fibres. **Woodhead Publishing**, p. 353-377, 2009.

PATTERSON, B. A.; MALAKOOTI, M. H.; LIN, J.; OKOROM, A.; SODANO, H. A. Aramid nanofibers for multiscale fiber reinforcement of polymer composites. **Composites Science and Technology**, v. 161, p. 92-99, 2018.

PERSIN, Z.; STANA-KLEINSCHEK, K.; KREZE, T. Hydrophilic/Hydrophobic characteristics of different cellulose fibres monitored by tensiometry. **Croatia Chemica ACTA**, v. 75, p. 271-280, 2002.

PILATO, L. A.; MICHNO, M. J. Advanced composite materials. **Springer-Verlag**, 1994.

QIAN, X.; AHI, J.; CHEN, L.; ZHONG, J.; WANG, X.; ZHANG, Y.; SONG, S. Evolution of microstructure and electrical property in the conversion of high

strength carbon fiber to high modulus and ultrahigh modulus carbon fiber.

Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, v. 112, p. 111-118, 2018.

REHAN, M.; KHATTAB, T. A.; BAROHUM, A.; GATJEN, L.; WILKEN, R. Development of Ag/AgX (X=Cl, I) nanoparticles toward antimicrobial, UV-protected and self-cleanable viscose fibers. **Carbohydrate Polymers**, v. 197, p. 227-236, 2018.

REZENDE, M. C.; COSTA, M. L.; BOTELHO, E. C. Compósitos estruturais. **Artliber**, 2011.

SCHMIDT, W.; ALEXANDER, M.; JOHN, V. Education for sustainable use of cement based materials. **Cement and Concrete Research**, 2017.

SCHOLZ, R.; BAUER, D.; HERMANUTZ, F.; INGILDEEV, D.; OTA, A. Carbonization of special viscose fibers. **Reinforced Plastics**, v. 61, p. 163-167, 2017.

SCRIVENER, K. Realistic options to meet the challenge of increasing concrete demand in Africa (apresentação). Apresentada no **2ª Conferência Internacional sobre Avanços na Tecnologia de Cimento e Concreto na África**, Dar es Salaam, Tanzania, 2016.

SHAH, M. M.; Sustainable Development. **Encyclopedia of Ecology**, p. 3443-3446, 2008.

SHI, J.; XU, Y. Estimation and forecasting of concrete debris amount in China. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 49, p. 147-158, 2006.

SILVA FILHO, L. S. P.; GARCEZ, M. R. Compósitos de engenharia de matriz polimérica. In: Isaia, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007.

SILVA, B. A. Análise da influência do tipo de cura na resistência à compressão de corpos-de-prova de concreto. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2009.

SILVA, E. J.; SILVA, P. D.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR,, C. C. M.; GARCIA, F.; LUZARDO, F. H. M. Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1268-1273, 2014.

SINCLAIR, R. Textiles and Fashion: materials, design and technology. **Woodhead Publishing**, 2015.

SOBREIRA, M. A. S.; DELGADO, P. S. Análise comparativa entre as fibras de bambu, algodão e viscose quanto ao potencial sustentável a sua aplicação na indústria de moda. **4º Congresso Científico Têxtil e Moda (CONTEXMOD)**, 2016.

SOUSA, A. C. L; REIS, G. C. Aplicação de cal hidratada em suspensão em um solo laterítico para mitigação de processos erosivos. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2016.

SUI, L.; LUO, M.; YU, K.; XING, F.; LI, P.; ZHOU, Y. CHEN, C. Effect of engineerd cementitious composite on the bond behavior between fiber-reinforced polymer and concrete. **Composite Structures**, v. 184, p. 775-788, 2018.

SUN, M.; LI, J.; WANG, Y.; ZHANG, X. Preparation of carbon fiber reinforced cement-based composites using self-made carbon fiber mat. **Construction and Building Materials**, v. 79, p. 283-289, 2015.

SUÑOL, J. J.; SAURINA, J.; CARRASCO, F.; COLOM, X.; CARRILLO, F. Thermal degradation of lyocell, modal and viscose fiber under aggressive conditions. **Journal of Thermal analysis and Calorimetry**, V. 87, P. 41-44, 2007.

TECHTEXTIL. Application Areas. Disponível em:
<<https://techtexsil.messefrankfurt.com/frankfurt/en/facts-figures.html>> Acesso em: 28 nov. 2018.

THE TEXTILE INSTITUTE. **Textile Terms and Definitions**, ed. 10, Textile Institute, Manchester, 1994.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. IN FANGUEIRO, R.; SOUTINHO, F. Fibrous and composite materials for civil engineering applications. **Woodhead Publishing**, 2011.

TOUTANJI, H. A.; EL-KORCHI, T.; KATZ, R. N. Strength and reliability of carbon-fiber-reinforced cement composites. **Cement & concrete Composites**, v. 16, p. 15-21, 1994.

TUTIKIAN, B.; DAL MOLIN, D. C. Concreto auto-adensável. São Paulo: **PINI**, p. 140, 2008.

WANG, L.; LIU, N.; GUO, Z.; WU, D.; CHEN, W.; CHANG, Z.; YUAN, Q.; HUI, M.; WANG, J. Nitric acid-treated carbon fibers with enhanced hydrophilicity for *Candida tropicalis* immobilization in Xylitol Fermentation. **Materials**, v. 9, p. 1-11, 2016.

WANG, P. H. Aspects on prestretching of PAN precursor: shrinkage and thermal behavior. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 67, p. 1185-1190, 1998.

WANG, W.; CHOUW, N. The behaviour of coconut fibre reinforced concrete (CFRC) under impact loading. **Construction and building Materials**, v. 134, p. 452-461, 2017.

WU, Y. Flexural strength and behavior of polypropylene fiber reinforced concrete beams. **Journal of Wuhan University of Technology**, v. 17, n. 2, p. 54-57, 2002.

XIE, X.; ZHOU, Z.; JIANG, M.; ZU, X.; WANG, Z.; HUI, D. Cellulosic fibers from rice straw and bamboo used as reinforcement of cement-based composites for remarkably improving mechanical properties. **Composite Part B: Engineering**, v. 78, p. 153-161, 2015.

YAMANE, F. O. Fadiga de compósitos de fibra de carbono/epóxi obtidos pelo processo de moldagem por transferência de resina assistida a vácuo. **Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Materias para Engenharia**. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2016.

ZEM LJIC, L. F.; PERSIN, Z.; SAUPERL, O.; RUDOLF, A.; KOSTIC, M. Medical textiles based on viscose rayon fabrics coated with chitosan-encapsulated iodine: antibacterial and antioxidante properties. **Textile Research Journal**, p. 1-13, 2017.

ZHOU, X. H.; SUN, Y. S.; WANG, W. S. Influences of carbon fabric/epoxy composites fabrication process on its friction and wear properties. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, p. 4553-4557, 2009.

ZONATTI, W. F. Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem. **Tese**. Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2016.

ZUKOWSKI, B.; SILVA, F. A.; FILHO, R. D. T. Design os strain hardening cement-based composites with alkali treated natural curaua fiber. **Cement and Concrete Composites**, v. 89, p. 150-159, 2018.