

**Universidade Feevale
Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais
e Processos Industriais**

ROBSON KAUER

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS
TÊXTEIS EM POLÍMEROS DE SBS**

**Novo Hamburgo
2018**

**Universidade Feevale
Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais
e Processos Industriais**

ROBSON KAUER

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS
TÊXTEIS EM POLÍMERO DE SBS**

Dissertação apresentada ao
Mestrado Profissional em Tecnologia
de Materiais e Processos Industriais
como requisito parcial para a
obtenção do título de Mestre em
Tecnologia de Materiais e Processos
Industriais

Orientador: Prof. Dr. Fernando Dal Pont Morisso
Coorientadores: Prof. Dr. Luiz Carlos Robinson
Prof. Dr. Eduardo Luis Schneider

**Novo Hamburgo
2018**

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

Kauer, Robson.

Avaliação da incorporação de resíduos têxteis em polímeros de SBS / Robson Kauer. – 2018.

76 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo-RS, 2018.

Inclui bibliografia.

“Orientador: Prof. Dr. Fernando Dal Pont Morisso ;
Coorientadores: Prof. Dr. Luiz Carlos Robinson, Prof. Dr. Eduardo Luis Schneider”.

1. Resíduo têxtil. 2. Algodão. 3. Poliéster. 4. SBS. 5. Compósito.
I. Título.

CDU 628.4:677

**Universidade Feevale
Mestrado Profissional em Tecnologia de Materiais
e Processos Industriais**

ROBSON KAUER

**AVALIAÇÃO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS
TÊXTEIS EM POLÍMERO DE SBS**

Dissertação de mestrado aprovada pela banca examinadora em 28 de fevereiro de 2018, conferindo ao autor o título de Mestre em Tecnologia de Materiais e Processos Industriais.

Componentes da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Fernando Dal Pont Morisso (Orientador)
Universidade Feevale

Prof. Dr. Carlos Leonardo Pandolfo Carone
Universidade Feevale

Prof. Dr. Tiago Moreno Volkmer
Centro Universitário Franciscano - Unifra

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que me auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho. Em especial, agradeço às pessoas e instituições listadas abaixo.

- Ao professor Dr. Fernando Dal Pont Morisso, pela orientação extremamente dedicada e pela paciência ímpar durante o desenvolvimento desta pesquisa.

- Ao professor e padrinho científico desde a época da graduação Dr. Luiz Carlos Robinson, pelo incentivo, coorientação e auxílio nos ensaios mecânicos.

- Ao professor Dr. Eduardo Luis Schneider, pela coorientação.

- À professora Dra. Vanusca Dalosto Jahno, pela colaboração no desenvolvimento desta pesquisa como parte da banca de qualificação;

- Ao Centro de Tecnologias Limpas (CTL) da Universidade Feevale, representado aqui pela professora Dra. Vanusca Dalosto Jahno e pelas Técnicas em Química, Vanessa Bach e Mayara Closs, pela disponibilidade da estrutura e pelo auxílio em laboratório.

- Ao Laboratório de Estudos Avançados de Materiais, representado aqui pela Técnica em Química Bruna Zorzanello.

- Ao Laboratório de Controle de Qualidade da empresa Paquetá de Sapiranga, pelo auxílio nos ensaios mecânicos.

- À empresa Jotaclass Indústria e Comércio Ltda. pelo incentivo e apoio na realização desta pesquisa.

- À minha esposa Daiane dos Santos Ferreira e meu filho Victor Luiz Ferreira Kauer, pelo apoio incondicional, no meu desenvolvimento pessoal.

RESUMO

Há tempos a problemática da geração de resíduos vem sendo estudada de forma a se obter soluções para a sua minimização sob diversos pontos de vista. Dentre eles, destacam-se a diminuição dos impactos ambientais, o aumento da produtividade e a diminuição dos custos de produção, visto que os resíduos foram gerados por materiais comprados a preço de matéria-prima, consumiram insumos como água e energia no processamento e continuam a consumir nos gastos com tratamento e armazenamento. Inseridas neste contexto, estão as empresas do *cluster* calçadista do Vale dos Sinos, que iniciaram suas atividades no século 19. Atualmente com o desenvolvimento de novas tecnologias são utilizados mais de 40 tipos de componentes na construção do calçado. Entre estes estão os têxteis de algodão e poliéster. Levando em consideração estes aspectos, esta dissertação tem como objetivo utilizar resíduos têxteis de algodão e poliéster no desenvolvimento de compósitos a base de SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) com potencial para ser aplicado na construção de calçados. Para tanto os resíduos foram moídos em moinho de facas e, a partir destes, foram elaboradas formulações com diferentes percentuais de produto da moagem. Em seguida, o material foi aglutinado em extrusora monorosca. Este processo foi repetido três vezes para posterior obtenção de pellets. Os resíduos moídos, o SBS e os compósitos obtidos, foram caracterizados por Microscopia Ótica, Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (IV) e Reometria de torque. A microscopia ótica revelou em todos os casos, fibras em forma de feixes e fibras soltas com orientação aleatória, apresentando uma distinção no diâmetro e brilho das fibras. A microscopia eletrônica de varredura evidenciou o recobrimento das fibras têxteis em ambos os casos, o que sugere compatibilidade entre a matriz polimérica e as cargas. A espectroscopia no infravermelho mostrou que as cargas foram efetivamente incorporadas à matriz polimérica. O comportamento reológico evidenciou aumento da viscosidade dos compósitos na medida em que se aumentou a quantidade de carga têxtil. Através de processo de injeção foram produzidos os corpos de prova para os ensaios mecânicos. As propriedades de densidade e dureza obtiveram um aumento proporcional ao teor de resíduo, porém sem uma influência significativa. A propriedade de tração obteve um incremento de resistência quando do aumento do teor de têxteis em sua formulação, enquanto que de forma inversa, o alongamento na ruptura diminuiu quando comparado ao polímero virgem. O ensaio de resistência ao desgaste por abrasão revelou, como esperado, que este diminui com o incremento dos resíduos, independente da natureza dos mesmos, porém dentro dos limites aceitáveis para utilização na construção do calçado. Por fim, pode-se concluir que o presente trabalho apresentou viabilidade técnica para a preparação dos compósitos com rejeitos têxteis, com possibilidade de reintrodução destes como alternativa na produção de componentes no próprio cluster industrial gerador do resíduo.

Palavras-chave: Resíduo Têxtil, Algodão, Poliéster, SBS, Compósito.

ABSTRACT

For some time the problem of waste generation has been studied in order to obtain solutions for its minimization from different points of view. Among them, the reduction of environmental impacts, the increase of productivity and the reduction of production costs are highlighted, since the waste was generated by materials purchased at the price of raw material, consumed inputs such as water and energy in the processing and continue to treatment and storage costs. Inserted in this context are the companies of the footwear cluster of Vale dos Sinos, which began their activities in the 19th century. Currently, with the development of new technologies, more than 40 types of components are used in the construction of footwear. Among these are cotton and polyester textiles. Taking into account these aspects, this dissertation aims to use cotton and polyester textile residues in the development of SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) composites with potential to be applied in the construction of footwear. For this purpose, the residues were ground in a knife mill and formulations with different percentages of milling product were elaborated. Thereafter, the material was agglutinated in a monosulfur extruder. This process was repeated three times for pellets. The ground residues, the SBS and the obtained composites, were characterized by Optical Microscopy, Scanning Electron Microscopy (SEM), Infrared Vibration Spectroscopy (IR) and Torque Rheometry. Optical microscopy revealed, in all cases, bundles and loose fibers with random orientation, showing a distinction in fiber diameter and brightness. Scanning electron microscopy evidenced the coating of the textile fibers in both cases, which suggests compatibility between the polymer matrix and the fillers. Infrared spectroscopy showed that the charges were effectively incorporated into the polymer matrix. The rheological behavior evidenced increased viscosity of the composites as the amount of textile loading increased. Through the injection process the specimens were produced for the mechanical tests. The properties of density and hardness obtained a proportional increase to the residual content, but without a significant influence. The tensile property obtained an increase in strength when increasing the content of textiles in its formulation, while conversely the elongation at break decreased as compared to the virgin polymer. The abrasion wear resistance test has shown, as expected, that it decreases with increasing residues, regardless of the nature thereof, but within the limits acceptable for use in the construction of the footwear. Finally, it can be concluded that the present work presented technical feasibility for the preparation of composites with textile waste, with the possibility of reintroduction of these as an alternative in the production of components in the industrial cluster that generates the residue.

Keywords: Textile Waste, Cotton, Polyester, SBS, Composite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Estrutura de conceitual para o desenvolvimento da pesquisa.....	14
Figura 2:	Polo calçadista e tipos de calçados.....	18
Figura 3:	Nível de ocupação de no cluster calçadista.....	18
Figura 4:	Resumo quantificação dos materiais na indústria calçadista.....	19
Figura 5:	Diagrama da produção de mil pares de calçados fabricados em material sintético.....	20
Figura 6:	Micrografia de um tecido, com 100x de aumento evidenciando a trama na horizontal e o urdume na vertical.....	23
Figura 7:	Microscopia eletrônica de varredura mostrando a estrutura de um não-tecido, com 100x de aumento.....	23
Figura 8:	Tecido malha submetido à tensão.....	24
Figura 9:	Representações químicas para (a) estireno-butadieno-estireno (SBS) e (b) elastômeros termoplásticos estireno-isopreno-estireno (SIS).....	26
Figura 10:	Classificação dos Compósitos.....	30
Figura 11:	Ordem de prioridade para a gestão dos resíduos.....	33
Figura 12:	Resíduo moído de algodão (a) e poliéster (b).....	39
Figura 13:	Esquema processamento dos compósitos.....	41
Figura 14:	Máquina universal de ensaios de laboratório Maqtest.....	43
Figura 15:	Micrografia óptica resíduo têxtil de algodão (a), resíduo têxtil de poliéster (b).....	46
Figura 16:	Compósito 10% (a) e 40% (b) de algodão com aumento 20x e 51x respectivamente.....	46
Figura 17:	Compósito 10% (a) e 40% (b) de poliéster com aumento 20x e 51x respectivamente.....	47
Figura 18:	Micrografia do resíduo de algodão com ampliação de 500x e 1000x.....	48
Figura 19:	Micrografia fibra de algodão obtida na literatura.....	48
Figura 20:	Micrografia do resíduo de poliéster com ampliação de 500x e 1000x.....	49
Figura 21:	Micrografia do polímero SBS com ampliação de 200x e 500x.....	49
Figura 22:	Micrografias dos compósitos AL10 (a) e AL30 (b) com ampliação	

de 1500x.....	50
Figura 23: Micrografias dos compósitos PO10 (a) e PO30 (b) com ampliação de 1500x.....	51
Figura 24: Espectro de infravermelho do resíduo de algodão.....	52
Figura 25: Espectro de infravermelho do resíduo de poliéster.....	53
Figura 26: Espectro de infravermelho do polímero SBS virgem.....	53
Figura 27: Espectro de IV dos compósitos com resíduo de algodão.....	54
Figura 28: Espectro de IV do compósito com resíduo de poliéster.....	55
Figura 29: Espectro de IV do compósito com resíduo de algodão e poliéster..	55
Figura 30: Reogramas obtidos a partir das amostras preparadas com (a) algodão, (b) poliéster e (c) mistura dos dois têxteis.....	57
Figura 31: Variação percentual do torque em função do percentual de carga no compósito.....	58
Figura 32: Densidade dos compósitos de SBS com resíduos de algodão, poliéster e da mistura algodão/poliéster.....	59
Figura 33: Determinação da Dureza.....	60
Figura 34: Resistência à tração.....	61
Figura 35: Corpos de prova com 30 e 40% de resíduo de algodão.....	62
Figura 36: Alongamento na ruptura.....	63
Figura 37: Resistência a Abrasão.....	64
Figura 38: Resistência a abrasão entre teores de resíduos equivalentes.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resíduos gerados por 92 indústrias no Vale do Paranhana no ano de 2014.....	21
Tabela 2: Propriedades do SBS utilizado (Prismaprene® HPR 325/60B).....	38
Tabela 3: Composição dos compósitos SBS/Resíduos têxteis de algodão/poliéster	40

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

APL - Arranjo Produtivo Local
BPEAD - Biopolietileno de alta densidade
CP – Corpo de Prova
DfE - Design for the Environment
EVA - Etileno Vinil Acetato
hp – Horse Power
IV - Infravermelho
LCA - Life Cycle Assessment
MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura
PBHL - Polibutadieno Líquido hidroxilado
PEAD - Polietileno de Alta Densidade
PET – Polietileno Tereftalato
pcr – Partes por cem partes de resina
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP - Polipropileno
PVC - Policloreto de Vinila
rpm - Rotações por minuto
SARI - Sistema de administração de resíduos industriais
SBS - Styrene-Butadiene-Styrene
tg – Temperatura de Transição Vítrea
TGA - Análise Termogravimétrica
TPE – Elastômero Termoplástico
TNT - Tecido Não Tecido
TR - Termoplastic Rubber

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 CENÁRIOS DO CLUSTER GERADO DOS RESÍDUOS TÊXTEIS.....	16
2.1.1 Tecidos.....	21
2.1.2 Reciclagem de têxteis.....	24
2.2 BORRACHA TERMOPLÁSTICA.....	26
2.3 COMPÓSITOS.....	28
2.4 SUSTENTABILIDADE ORGANIZACIONAL.....	32
2.4.1 Desenvolvimento Sustentável.....	34
2.4.2 Reciclagem.....	36
3. METODOLOGIA	38
3.1 MATERIAIS.....	38
3.2 MÉTODOS.....	39
3.2.1 Processamento dos resíduos.....	39
3.2.2 Processamento dos compósitos.....	39
3.2.3 Caracterização dos Compósitos.....	41
3.2.2.1 <i>Microscopia Ótica</i>	41
3.2.2.2 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	41
3.2.2.3 <i>Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (IV)</i>	42
3.2.2.4 <i>Reometria de torque</i>	42
3.2.2.5 <i>Determinação da Densidade</i>	42
3.2.2.6 <i>Determinação da Dureza</i>	42
3.2.2.7 <i>Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura</i>	43
3.2.2.8 <i>Determinação da resistência ao desgaste por abrasão</i>	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1 MICROSCOPIA ÓTICA.....	45
4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV).....	47
4.3 ESPECTROSCOPIA VIBRACIONAL NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (IV).....	51
4.4 REOMETRIA DE TORQUE.....	55

4.5 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE.....	59
4.6 DETERMINAÇÃO DA DUREZA.....	60
4.7 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO NA RUPTURA.....	60
4.8 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE POR ABRASÃO.....	63
5 CONCLUSÃO.....	65
6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
REFERÊNCIAS.....	68

1. INTRODUÇÃO

Em tempos de desaceleração na economia, as empresas têm investido fortemente na busca de diferenciais competitivos para manterem-se atuantes no mercado em que estão inseridas. Dentre os diferenciais almejados citam-se melhorias na produtividade, qualidade, potencial de venda, prospecção de soluções inovadoras e uma gestão eficiente dos resíduos. Dentre as empresas que buscam estes diferenciais podem ser citadas as empresas do ramo têxtil, sejam de fabricação ou de serviços de industrialização como, por exemplo, as dubladoras. Neste contexto, segundo Calandro e Campos (2015), as empresas produtoras de componentes para calçados do arranjo produtivo local do Vale do Rio dos Sinos e do Rio Paranhana desempenham um papel importante no fornecimento de matérias-primas. Os elos desta cadeia contemplam fornecedores de insumos, tais como couro (cabedal, solado e forro), laminado sintético (cabedal e forro), materiais têxteis (tecidos finos como cetim, linhas de costura, forros, palmilhas, etc.), saltos e solados, artigos plásticos, componentes químicos (adesivos e resinas), componentes metálicos e adereços diversos (enfeites, fivelas, ilhoses, metais e pedrarias).

Conforme Gutarowska e Michalsk (2012), no início do século 21 o consumo mundial anual de tecidos e não-tecidos já superava as 46 milhões de toneladas, dos quais os sintéticos e o algodão representavam 49% e 42% respectivamente, com tendência crescente nos anos subsequentes. Admitindo que um valor ínfimo de 2% se converte em resíduo, o problema aproxima-se a 920.000 toneladas/ano de resíduo têxtil.

A grande maioria dos resíduos gerados na indústria tem impacto direto no custo de produção, pois o material que o gerou foi comprado a preço de matéria-prima, consumiu insumos como água e energia e continua a consumir fundos, seja nos gastos com tratamento e armazenamento ou na forma de multas pela falta desses cuidados.

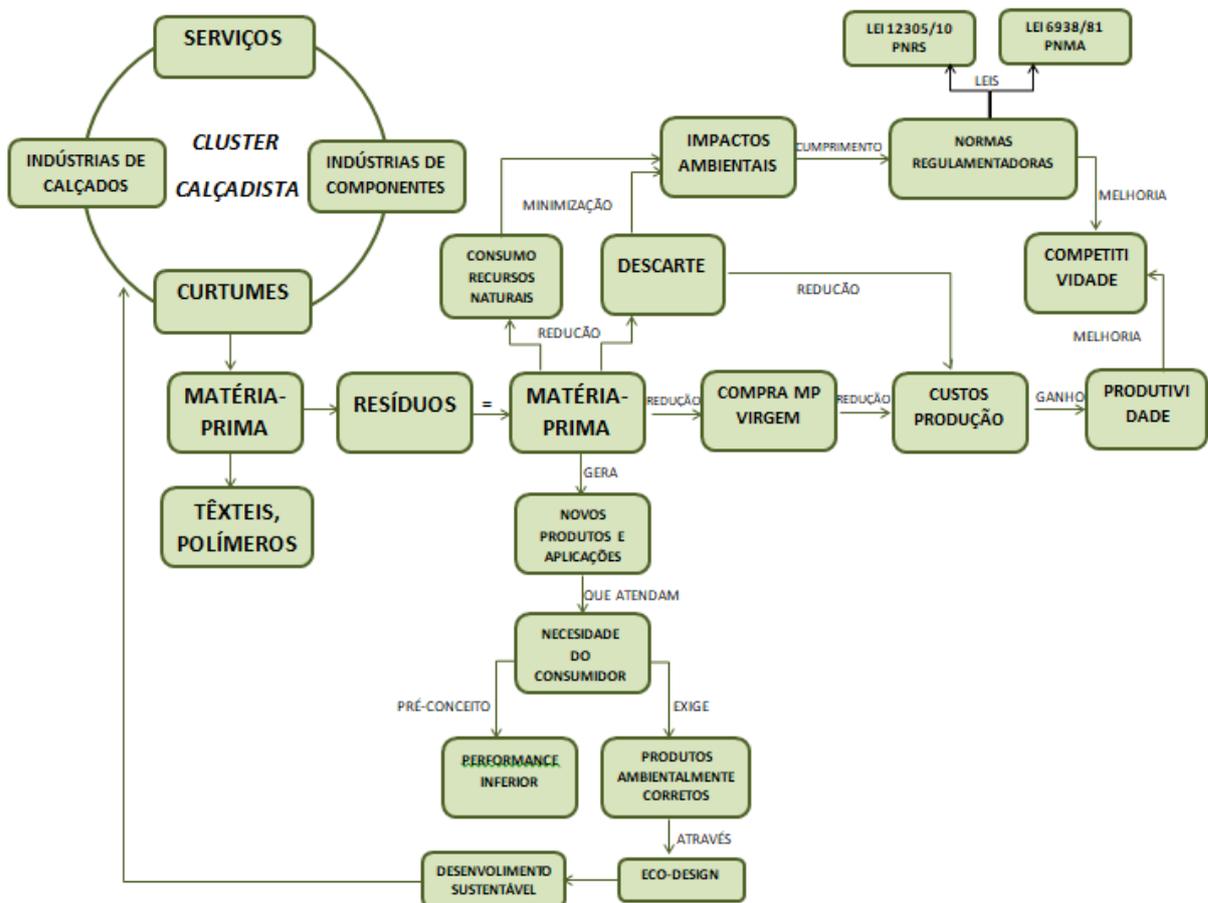
Dentro deste contexto, introduz-se a gestão de resíduos, sob os aspectos do reaproveitamento, da reciclagem e do reuso sob a ótica de que os mesmos continuam sendo matéria-prima, porém, ainda sem uma aplicação definida. Jardim, Yoshida e Filho (2012) afirmam que as sobras dos processos de produção devem ser consideradas como realmente são: matérias-primas excedentes e tributadas

como tal. Deste modo, não inserir estes excedentes em processos que resultem em produtos alternativos caracteriza-se desperdício.

A reincorporação destes excedentes em um novo processo proporciona outras vantagens como a minimização dos impactos ambientais, além das que advêm do cumprimento das normas regulamentadoras e do aumento na lucratividade. Destaca-se ainda o incremento de novos consumidores com consciência ambiental e do crescente e atrativo nicho de negócios que se tornou a destinação de resíduos.

O fluxograma da Figura 1 ilustra as justificativas para a defesa desta dissertação.

Figura 1: Estrutura de conceitual para o desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Frente a esta realidade, questiona-se como caracterizar os resíduos têxteis como matéria-prima para novos produtos? Assim, neste trabalho, sugere-se a utilização do resíduo têxtil proveniente do *cluster* calçadista como carga para a

fabricação de compósitos a base de polímero estireno-butadieno-estireno (SBS), utilizados pelo próprio segmento industrial.

1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver compósitos de SBS com a incorporação de resíduos têxteis.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar os resíduos têxteis de algodão e poliéster;
- Preparar compósitos de SBS com diferentes teores dos resíduos têxteis;
- Caracterizar as propriedades físico-químicas, morfológicas, térmicas e mecânicas dos compósitos preparados;
- Avaliar, com base nos dados de caracterização, a influência da variação do teor dos resíduos têxteis no desempenho dos compósitos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CENÁRIOS DO CLUSTER GERADOR DOS RESÍDUOS TÊXTEIS

De acordo com Calandro e Campos (2015) o complexo coureiro-calçadista iniciou suas atividades em 1824 no Rio Grande do Sul, na região do Vale dos Sinos (RS) com a chegada de imigrantes alemães e italianos que aproveitaram a grande disponibilidade de peles, oriundas inicialmente das charqueadas e, mais tarde, dos frigoríficos. Aos poucos, a produção gaúcha foi-se expandindo para outros municípios no Vale do Paranhana, Vale do Caí, Vale do Taquari e região serrana. No entanto o aglomerado de empresas dos Vales do Rio dos Sinos e Paranhana, ainda é o maior e o mais importante, e pode ser adotado como núcleo dessa indústria no Rio Grande do Sul.

Para atender à demanda de calçados em conflitos como a Revolução Farroupilha (1835-1845) e a Guerra do Paraguai (1864-1870), foi preciso uma melhor estruturação destes fabricantes, embora a produção ainda fosse totalmente artesanal. A introdução da máquina de costura, na década de 1870, foi fator importante para a industrialização do setor, que vivenciou importantes transformações tecnológicas até meados de 1920, fazendo da produção de calçado uma atividade realmente fabril embora com forte apelo artesanal. Desde então até a década de 1960 o segmento passou por um período de estagnação (MORAES, 2014).

De acordo com Corrêa (2001) na década de 1970, com incremento dos setores de máquinas, artefatos e componentes, o setor coureiro calçadista obteve um significativo avanço tecnológico, passando então a ter expressiva importância nas exportações nacionais. Moraes (2014) afirma que este modelo inicial de exportação, em que as grandes grifes internacionais contratava basicamente a terceirização da produção no Brasil foi sendo substituído, gradativamente, por vendas externas de marcas brasileiras próprias e com maior valor agregado.

Calandro e Campos (2015) complementam que após um período de expansão, impulsionada pelas vendas no mercado externo (anos 70 e 80), o desempenho da indústria calçadista passou a refletir os efeitos da abertura

comercial brasileira (anos 90). Esses eventos acarretaram expressivas perdas para uma grande parte das empresas do *cluster* calçadista Sinos-Paranhana. Este novo ambiente provocou o fechamento de empresas e eliminação de postos de trabalho. Posteriormente, as empresas promoveram alterações nas plantas produtivas, buscando racionalizar a produção e reduzir custos, os fabricantes do *cluster* deslocaram suas plantas para o nordeste brasileiro.

Viana (2006) comenta que a indústria de calçados é considerada parte do setor coureiro calçadista, tendo em vista que o setor coureiro (curtumes) foi por muito tempo o principal fornecedor de matéria-prima. Entretanto com o desenvolvimento de novas tecnologias e de novas matérias-primas como materiais de origem sintética (PVC, EVA, laminados sintéticos, poliuretano, entre outros), percebe-se que a indústria de calçados é participante de uma cadeia produtiva maior, que suplanta a presença dos curtumes como principais fornecedores e ressalta a importância dos fornecedores de componentes.

Corroborando com esta ideia, Costa (2009) afirma que a produção de calçados tem se mostrado em distintas regiões do mundo como uma atividade propícia para ser desenvolvida em *clusters* de empresas geograficamente próximas. No Brasil, os principais aglomerados estão situados no Vale do Sinos, no Rio Grande do Sul, e em Franca, em São Paulo. De acordo com Calandro e Campos (2015) o aglomerado Sinos-Paranhana ainda é o maior e o mais importante do país reunindo estabelecimentos industriais de diferentes portes na produção de calçados, couros, componentes e máquinas, com níveis variados de capacitação tecnológica. A presença de importantes organizações de apoio possibilitou o desenvolvimento das áreas de manufatura e de distribuição das empresas na região.

Segundo estudo realizado pela ASSINTECAL (2016), 70% da produção nacional de calçados está concentrado nos polos do Rio Grande do Sul (Vale dos sinos e Paranhana), São Paulo (Franca, Jaú e Birigui), Minas Gerais (Nova Serrana), Santa Catarina (São João Batista), Nordeste (Bahia, Paraíba, Ceará e Pernambuco) entre outras localidades como Espírito Santo e Goiás (Figura 2), onde as indústrias podem ser divididas tendo em vista os diferentes tipos de calçados, a saber, masculinos, femininos, infantis, esportivos, segurança e monocomponente.

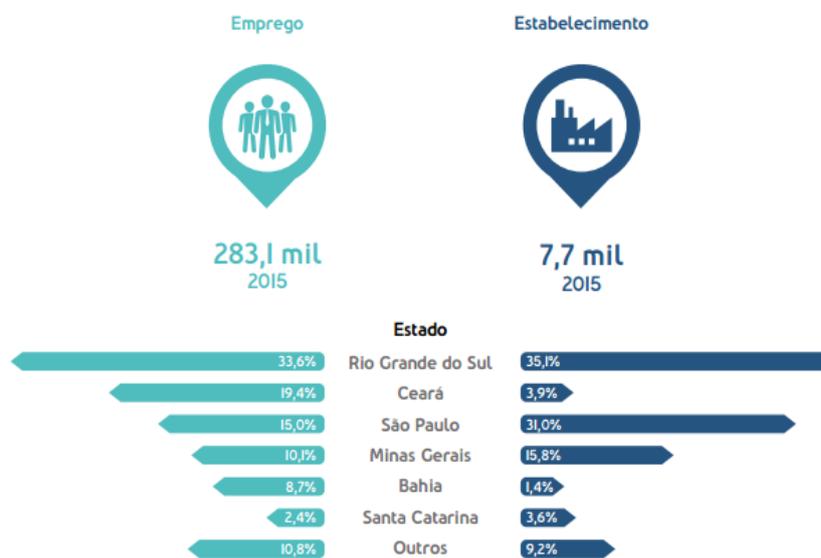
Figura 2: Tipos de calçados e o Polo calçadista brasileiro.



Fonte: ASSINTECAL, 2016.

Apesar do volume da produção das indústrias de calçados e de transformação no Brasil seguir uma tendência de queda desde 2014 em torno de 5,5% e de 8,5% nos empregos, o nível de ocupação fechou, conforme a Figura 3, em quase oito mil indústrias gerando aproximadamente 283 mil empregos e destes, 33,6% concentrados no Rio grande do Sul. Comparando estes percentuais com a relação emprego-estabelecimentos, observa-se que os estados do Sul e Sudeste apresentam empresas de menor porte, quando comparadas com as empresas instaladas na Bahia e no Ceará (ABICALÇADOS, 2016).

Figura 3: Nível de ocupação no *cluster* calçadista.



Fonte: ABICALÇADOS, 2016.

De acordo com Lee e Rahimifard (2012) a indústria de calçados utiliza uma grande variedade de materiais para produzir uma gama diversificada de calçados. São utilizados cerca de 40 materiais diferentes na fabricação de um calçado e dentre os principais estão o couro, a borracha, a espuma, os têxteis e plásticos. Neste contexto, ponto importante é o fato de que cada material possui suas próprias características específicas.

A respeito dos principais insumos utilizados no cluster, o estudo da quantificação dos materiais na indústria calçadista (Figura 3) elaborado pela ASSINTECAL (2016) mostra um aumento no consumo de materiais têxteis e laminados para a confecção de cabedal e forro, bem como a redução no consumo do couro. Enquanto que para a fabricação de solados o TR obteve um incremento no consumo.

Figura 4: Resumo quantificação dos materiais na indústria calçadista.



Fonte: ASSINTECAL, 2016.

O principal vetor de competitividade para a indústria calçadista está na diferenciação dos produtos e na tentativa de aproximar o consumidor dos esforços de desenvolvimento de novos produtos. Um desses movimentos de mudança técnica e tecnológica no cluster calçadista está no desenvolvimento de novos materiais em substituição ao couro. Entre estes se destacam os poliuretanos, os têxteis, o poliéster, a borracha, o polipropileno, o polietileno e o nylon. As tendências

de pesquisa e desenvolvimento apontam para novos polímeros e materiais compósitos, para a incorporação de produtos naturais e de bio e nanotecnologia. Destaca-se a crescente utilização de materiais plásticos, que incorporam elementos de conforto, praticidade e economia aos calçados (ABDI, 2008).

Em relação à geração de resíduos oriundos dos processos de fabricação dos componentes para a indústria calçadista, Linden (2010) comenta que a mesma se acentua em todos os clusters deste segmento, independente da região ou país, fazendo com que grandes empresas da área de calçados e componentes de elevado valor agregado imponham exigências técnicas cada vez mais rigorosas aos seus fornecedores a fim de garantir a fabricação de um produto ecologicamente correto aos seus clientes finais.

Silva (2016), em seu estudo da avaliação ambiental no setor calçadista observou que os materiais têxteis estão presentes na grande maioria dos modelos de calçados, e como exemplo, conforme a Figura 4, para a produção de 1000 pares de calçados femininos do modelo sapatilha, confeccionados em material sintético, utiliza-se 44 kg de material têxtil, gerando ao final do processo, 8 kg de resíduo desta natureza, ou seja, aproximadamente 18,1%.

Figura 5: Diagrama da produção de mil pares de calçados fabricados em material sintético.

ENTRADAS	QUANTIDADE	PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO				SAÍDAS	QUANTIDADE
Energia Elétrica	407,2 kWh	MONTAGEM	COLAGEM	ACABAMENTO	EXPEDIÇÃO	Emissões atmosféricas	Não mensurado
Água	113 m ³					Efluente Líquido	57 m ³
Têxtil	44 kg					Resíduo Têxtil	8 kg
Laminado Sintético	85,5 kg					Resíduo Sintético	3,3 kg

Adaptado pelo autor de Silva, 2016.

Segundo dados do Sistema de Administração de Resíduos Industriais (SARI), 92 empresas participantes do *cluster* calçadista da região do Vale do Paranhana se reuniram com o objetivo de promover a segregação dos resíduos gerados, bem como avaliar uma destinação ambientalmente adequada para os mesmos. A Tabela

1 apresenta dados desta segregação, onde os materiais têxteis representam 31% do volume total de resíduos gerados (ROBINSON, 2016).

Tabela 1: Resíduos têxteis gerados por 92 indústrias no Vale do Paranhana no ano de 2014.

MATERIAL TÊXTIL	QUANTIDADE GERADA (kg)
Tecido dublado	152.786,20
Contraforte	19.610,70
Forro sintético de PVC	458,90
Panos de limpeza	38.103,40
Tecidos simples	83.816,60
Palmilha rosa de não tecido	3.503,70
Palmilhas dubladas com têxteis	303,8
Sacos de ráfia	439,90
Cursel (avesso)	14.302,20
Dublados normais	13.464,90
Forro sintético de PU	147.060,10
Couraça	3.841,00
Dublados com sintéticos diversos	39.808
TNT (não tecido para forro)	730
Espumas dubladas (diversas)	7.274,40
TOTAL DE RESÍDUOS TÊXTEIS	525.504,5
TOTAL DE RESÍDUOS GERADOS	1.687.057,61

Fonte: ROBINSON, 2016.

2.1.1 Tecidos

O tecido é um material à base de fios de fibra natural, artificial ou sintética, que combinados de diferentes formas tornam-se coberturas de diversos tipos para aplicação em ampla gama de segmentos, como do vestuário até o uso medicinal. As principais fibras têxteis utilizadas na fabricação de tecidos são o algodão, o poliéster, a poliamida, a viscose, o acrílico e o elastano (MARONI *et al.*, 1999).

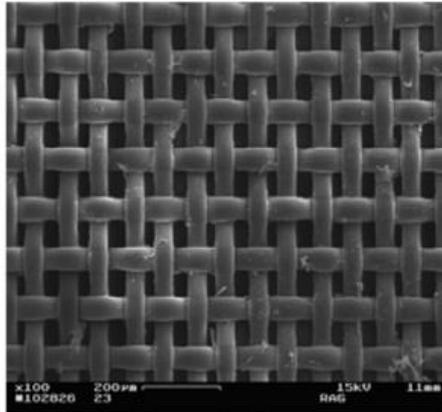
O algodão é constituído majoritariamente por celulose, que varia de 90 a 95%, e matérias não celulósicas. Estas estão localizadas na superfície da fibra ou no

centro desta. No contexto molecular deste material, existem muitos grupos hidroxila presentes em diferentes pontos do esqueleto carbônico, que apresentam grande potencial para a ligações de hidrogênio. Essas ligações aumentam a estabilidade da estrutura e além disso, são a causa fundamental do efeito de vinco na fibra de algodão. Ademais, os grupos hidroxila atuam como pontos de reação para corantes e outros produtos químicos. O maior consumo do tecido de algodão está no setor de vestuário, no entanto, são muitos os produtos chamados de têxteis técnicos produzidos, por exemplo, através da mistura do algodão com poliéster empregado para vários fins (MANGAT, 2009). Sobre esta mistura de algodão e poliéster, aproximadamente 30% da produção mundial de poliéster é destinada a fabricação de fibras descontínuas e, principalmente, utilizadas na mistura com fibras de algodão (ZOU; REDDY; YANG, 2011).

O poliéster mais utilizado na indústria têxtil é o polietileno tereftalato (PET), o qual apresenta alta temperatura de fusão (~265 °C) e alta estabilidade hidrolítica devido à presença de anéis aromáticos na cadeia principal. Atualmente, o PET é um dos termoplásticos mais produzidos no mundo e entre as suas aplicações estão a produção de fibras têxteis (67%), de embalagens processadas por injeção-sopro (24%), de filmes biorientados (5%) e de polímeros de engenharia (4%) (ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009). O sucesso deste material deve-se as suas principais características, que são o baixo custo e a facilidade de produção a partir de fontes petroquímicas, além de possuírem uma ampla gama de propriedades mecânicas e térmicas. As fibras de poliéster são resistentes, leves, facilmente tingidas, resistentes às rugas e ao desgaste. Estas fibras podem ser utilizadas como fibras contínuas ou descontínuas e a sua aplicação é variável (EAST, 2005; ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009). Destacam-se ainda os poliésteres biodegradáveis são derivados do ácido lactido, ácido glicólico e outros hidroxiácidos alifáticos (EAST, 2005).

Dentre os distintos tipos de tecidos, citam-se os tecidos planos, os não tecidos e os tecidos de malha (MARONI *et al.*, 1999). Os tecidos planos são resultantes do entrelaçamento de dois conjuntos de fios que se cruzam em ângulo reto (ABNT, 2017). Os fios dispostos no sentido horizontal são chamados de fios de trama e os do sentido vertical são chamados de fios de urdume (Figura 5).

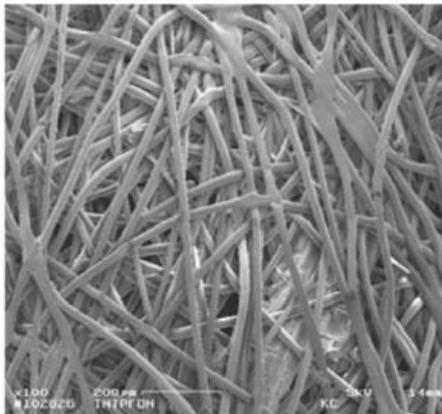
Figura 6: Micrografia de um tecido, com 100x de aumento evidenciando a trama na horizontal e o urdume na vertical.



Fonte: CASALI, 2009.

Conforme a norma ABNT/NBR – 13370/2017, o não-tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras, ou filamentos, onde o entrelaçamento não segue um padrão, consolidados por processos mecânicos e/ou químicos e/ou térmicos, ou combinação destes. Existem basicamente dois tipos de não-tecidos, os duráveis e os não duráveis, que podem ser produzidos a partir de fibras artificiais (viscose, silicone, acetato), naturais (lã, algodão, sisal) ou sintéticas (poliéster, polipropileno, poliamida, polietileno). A Figura 7 apresenta uma microscopia eletrônica de varredura mostrando a estrutura de um não-tecido.

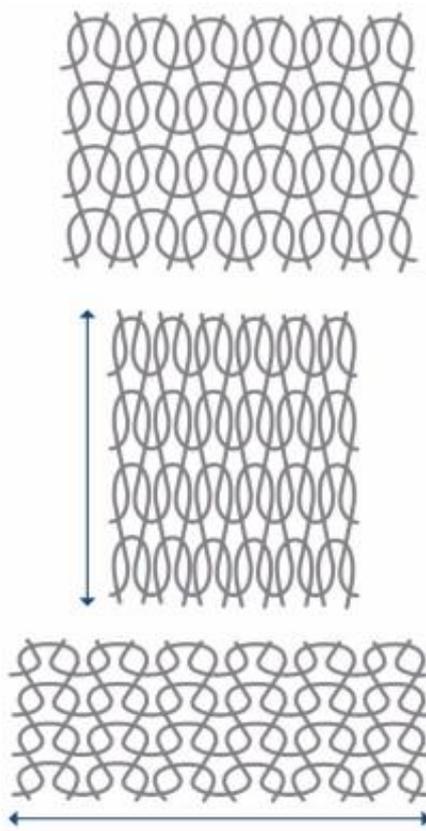
Figura 7: Microscopia eletrônica de varredura mostrando a estrutura de um não-tecido, com 100x de aumento.



Fonte: CASALI, 2009.

O tecido malha é fabricado a partir da interligação de laçadas que é o elemento fundamental deste tipo de tecido, podendo ser tricotadas ao longo da urdidura ou da trama. A sucessão de laçadas consecutivas no sentido da largura do tecido é chamada de carreira, enquanto que a sucessão de laçadas consecutivas no sentido do comprimento do tecido é chamada de fileira (UDALE, 2009). Dentre as principais características dos tecidos malha, estão a flexibilidade e elasticidade, que se dá em decorrência da estrutura das laçadas que promovem a mobilidade das mesmas, independente da direção, quando submetidas à tensão. As laçadas movem-se umas sobre as outras, retornando à posição inicial quando cessada a tensão, moldando-se a qualquer forma conforme Figura 8 (SENAI, 2015).

Figura 8: Tecido malha submetido à tensão.



Fonte: Senai, 2015.

2.1.2 Reciclagem de têxteis

Trein (2015) avaliou a influência de têxteis recobertos com poliuretano em matriz polimérica de EVA como agregado leve reciclado em substituição a areia convencional em argamassas álcali-ativadas. Segundo o autor as argamassas com

40% do agregado leve apresentaram potencial para serem utilizadas na fabricação de elementos não-estruturais para a construção civil.

Borsoi *et al.* (2011) apresentam trabalho relacionado com a avaliação da viabilidade da utilização de resíduos de algodão na preparação de compósitos utilizando o poliestireno como matriz polimérica. De acordo com os autores os compósitos com 20% de fibra de algodão obtiveram um melhora nos ensaios de flexão e tração sendo esse efeito intensificado em presença de compatibilizante poli(estireno-co-anidrido maleico). Já a resistência ao impacto obteve uma melhora somente com a adição das fibras de algodão, os compósitos com compatibilizante apresentaram resultados inferiores.

De acordo com Chuayjuljit, Su-Uthai e Charuchinda (2009) a reciclagem de resíduos têxteis de algodão na obtenção de produtos de maior valor agregado é uma medida necessária tanto para ganhos ambientais, como econômicos. Em seu estudo, os autores utilizaram a celulose microcristalina, que foi preparada por hidrólise ácida de resíduos têxteis de algodão e utilizada como carga funcional para a produção de filmes de PVC biodegradáveis. Os resultados mostram a viabilidade na produção de filmes a partir dessa mistura, pois apresentaram propriedades biodegradáveis e mecânicas aceitáveis, além de uma melhora significativa na estabilidade térmica do filme de PVC através da incorporação desta carga de reforço, desde que a quantidade não exceda a 25 partes por cem partes de resina (pcr).

Zou, Reddy e Yang (2011) desenvolveram compósitos que se mostraram adequados para várias aplicações a partir da mistura de resíduos têxteis de PET e algodão, pelo processo de moldagem por compressão. Neste estudo a adição de plastificantes reduziu a temperatura de fusão do PET, bem como o tempo de processamento dos compósitos e aumento da resistência ao impacto, porém com perda das propriedades de flexão e tração. Em comparação com o PET virgem, os compósitos sem adição de plastificante apresentam um módulo de elasticidade 153% superior, módulo de Young 36% mais alto, resistência ao impacto semelhante, mas com perda de 17% na resistência à flexão e 44% na resistência à tração. Esta pesquisa revelou a viabilidade de produção de compósitos de PET/Algodão a partir de moldagem por compressão sem a necessidade de plastificantes.

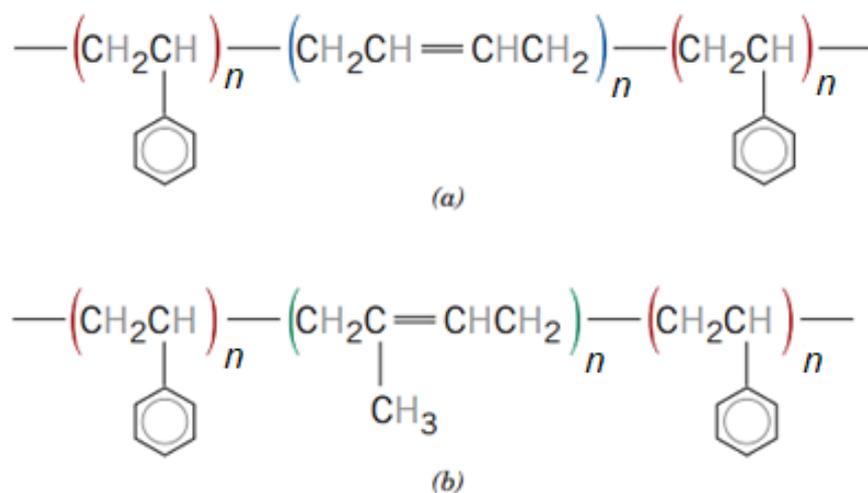
Flach (2015) avaliou em seu estudo, a incorporação de resíduos têxteis de algodão e viscose em matriz polimérica de poliuretano e EVA, para a produção de

contrafortes, couraças e palmilhas de montagem, obtendo um ótimo desempenho com a incorporação de 50% de resíduo têxtil. Analisando os resultados, o compósito com o maior teor de resíduo obteve um melhor resultado de resistência a tração em comparação aos compósitos com menores teores, inferindo que o mesmo atua como carga de reforço nestes materiais.

2.2 BORRACHA TERMOPLÁSTICA

Segundo Calister (2007) os elastômeros termoplásticos (TPEs) são um tipo de material polimérico que, em condições ambientais, exibe comportamento elastomérico (emborrachado), porém de natureza termoplástica. Das várias variedades de TPEs, um dos mais conhecidos e amplamente utilizados é um copolímero em bloco consistindo em segmentos de bloco de um termoplástico rígido (estireno), que alternam com segmentos de bloco de um material elástico, macio e flexível (frequentemente butadieno ou isopreno). Para um TPE comum, segmentos polimerizados duros estão localizados nas extremidades da cadeia, enquanto as regiões centrais são as macias e flexíveis. Estes TPEs são frequentemente denominados copolímeros de blocos de estireno, conforme Figura 9.

Figura 9: Representações químicas para (a) estireno-butadieno-estireno (SBS) e (b) elastômeros termoplásticos estireno-isopreno-estireno (SIS).



Fonte: Calister, 2007.

De acordo com Mccrum, Buckley e Bucknall (2007) o polibutadieno é utilizado como o componente flexível, enquanto que o poliestireno é o componente duro na composição do SBS. As borrachas termoplásticas são de grande importância porque podem ser processadas em equipamento convencional para termoplásticos, ao contrário das borrachas termorrígidas. Os polímeros SBS são compostos de cadeias longas de polibutadieno inclinadas em cada extremidade com blocos de extremidade de poliestireno. As moléculas podem ser lineares ou ramificadas. O reforço e a reticulação eficaz são proporcionados pelos blocos terminais de poliestireno que, à temperatura ambiente, aglomeram-se para formar domínios de poliestireno vítreo. Os domínios vítreos são separados por uma matriz borracha de polibutadieno, isto é, estes domínios são rígidos fixados por cadeias de polibutadieno. Os domínios rígidos fundem quando aquecidos acima da temperatura de transição vítrea (t_g) do poliestireno, promovendo a fluidez sob pressão como qualquer outro termoplástico. O SBS é cada vez mais utilizado para a modificação da dureza em compostos com polipropileno. Isso porque tem vantagem própria em compostos, pois é muito utilizado em misturas poliméricas como agente compatibilizante de polímeros imiscíveis, podendo ser facilmente misturado em equipamento convencional para processamento de termoplástico.

Segundo a cartilha de adesivos da ASSINTECAL (2015), os compostos de borracha termoplástica (TR) apresentam como base um copolímero formado por blocos SBS, que alia as características da borracha vulcanizada com a facilidade de transformação dos termoplásticos. São materiais fáceis de processar assim como o PVC e que se comportam como um SBR vulcanizado em temperatura ambiente. Podem ser subdivididos em convencionais, emborrachados ou superemborrachados. O TR utilizado como solado é um material antiderrapante, bastante flexível e facilmente deformado pelo calor. Em alguns casos, solados quebram com o ataque contínuo de solventes como a acetona e o acetato de etila. Pode ser identificado através da queima, apresentando chama amarela e emanando odor adocicado de borracha.

Conforme Tormento (2005) o TR é principalmente utilizado em selantes, adesivo *hot melt*, produtos médicos descartáveis, embalagem de alimentos, e na área calçadista em solados, amortecedores e contrafortes, dentre outros. Dentre as vantagens da utilização, destacam-se a amplitude na propriedade de dureza,

facilidade de processamento, boa flexibilidade mesmo em baixas temperaturas, baixo custo de processo e alto poder de reciclagem.

2.3 COMPÓSITOS

McCrum, Buckley e Bucknall (2007) apontam o crescimento exponencial no uso de polímeros termoplásticos reforçados, muito em função de sua principal vantagem, que é a produção através de moldagem por injeção ou extrusão, processos estes, mais econômicos para a fabricação em grande escala. De acordo com a norma ASTM D3878 (2007) defini-se materiais compósitos como uma substância constituída por dois ou mais materiais, insolúveis entre si e que combinados formam um material de engenharia com propriedades que não possuiriam isoladamente.

Matthews e Rawlings (1994) e Calister (2007) afirmam que esta definição não é suficiente e outros critérios devem ser atendidos antes que um material possa ser considerado compósito. Primeiramente, ambos os componentes devem estar presentes em proporções aceitáveis, superiores a 5%. Outro critério exige que somente quando as fases constituintes possuem diferentes propriedades, que se reconhece esse material como compósito. Por fim, um compósito é produzido misturando e combinando os constituintes por diversos meios, onde o constituinte que é contínuo e na maioria das vezes, presente em maior quantidade no compósito é denominado de matriz. A premissa é que são as propriedades da matriz que são melhoradas na incorporação de outro componente para produção de um compósito.

A fase matricial dos compósitos fibrosos pode ser um metal, polímero ou cerâmica. De modo geral, os metais e os polímeros são mais utilizados como materiais de matriz porque certa ductilidade é desejável para compósitos. Por outro lado, em materiais de matriz cerâmica o componente de reforço é adicionado para melhorar a dureza. A fase da matriz serve primeiramente para acoplar as fibras no compósito, além de protegê-las de danos superficiais como resultados de abrasão química ou mecânica (CALISTER, 2007).

A interface fibra–matriz é a região de interação entre os componentes e é essencial que as forças de adesão entre elas sejam altas a fim de minimizar a

quebra das fibras. Quanto maior for a área de contato na interface, maior será a interação dos componentes, seja de natureza física, química ou físico-química. A força de ligação nessa interface é uma consideração importante no desenvolvimento do compósito, pois a força máxima do mesmo depende muito da magnitude desse vínculo. Uma ligação adequada é essencial para maximizar a transferência do estresse da matriz para as fibras (CALISTER, 2007; DRZAL, 2001).

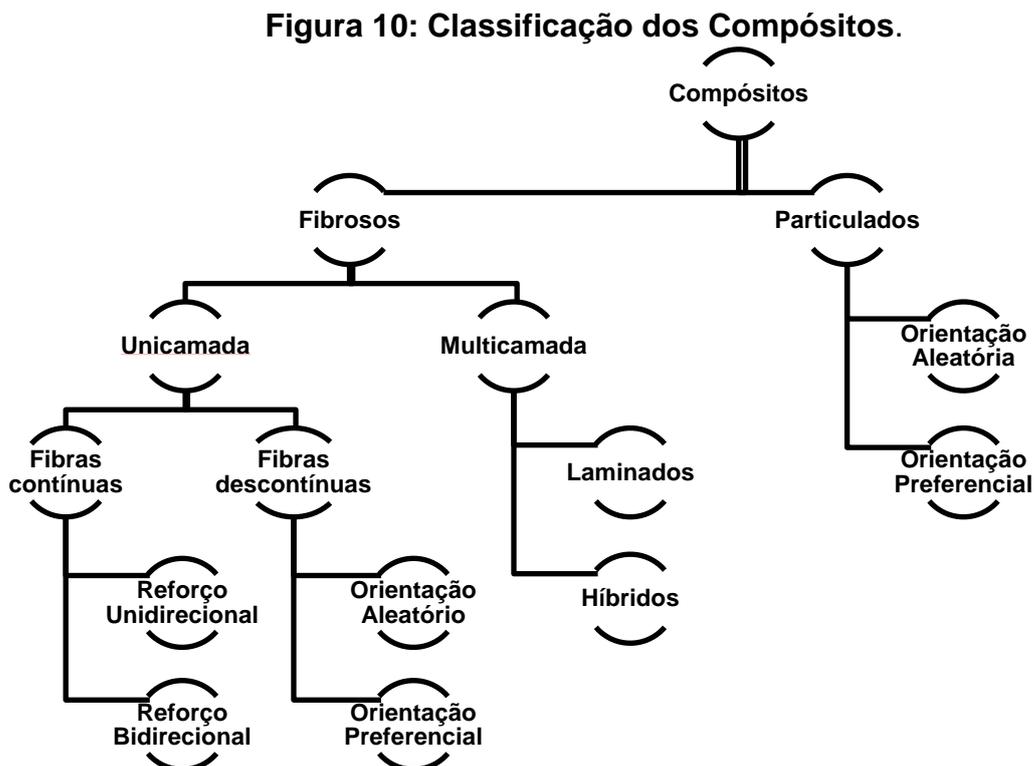
Esse vínculo pode ser obtido através da utilização de agentes compatibilizantes que atuam na prevenção do processo de deslocamento da fibra na matriz. As fibras recebem tratamentos químicos a fim de alterar a superfície original da mesma e promover o melhoramento na adesão. Isso ocorre devido à remoção de contaminantes de baixa energia da superfície da fibra, juntamente com a adição de elementos químicos que melhoram a molhabilidade (DRZAL, 2001; MCCRUM, BUCKLEY e BUCKNALL, 2007). A quantidade de revestimento aplicado à superfície da fibra durante a fabricação é dimensionada a fim de manter as fibras juntas como um feixe coeso antes da incorporação na matriz polimérica (MCCRUM, BUCKLEY e BUCKNALL, 2007). No entanto essa modificação da superfície da fibra deve ser avaliada em função da sua relação com a adesão fibra-matriz e as propriedades mecânicas compostas. Esta avaliação pode ser efetuada através de teste, onde a carga e os deslocamentos são monitorados de forma contínua e após a retirada de fibra, a carga registrada na destruição completa da fibra da matriz é convertida na força de cisalhamento interfacial (DRZAL, 2001).

Conforme Mattews e Rawlings (1994) e Calister (2007) as propriedades mecânicas dos compósitos dependem muito da geometria (forma e dimensão) da fase de reforço. O reforço pode ser fibroso ou particulado. Os particulados têm dimensões que são aproximadamente iguais em todas as direções. O arranjo do reforço particulado pode ser com orientação aleatória ou preferencial. Na maioria dos compósitos particulados, a orientação das partículas é considerada aleatória. Os reforços fibrosos são caracterizados por seu comprimento ser muito maior do que a sua dimensão transversal. Corroborando com a afirmação anterior, Mccrum, Buckley e Bucknall (2007) comentam que os reforços fibrosos assumem diversas formas como a de tecidos, feixes contínuos de fibras e fibras cortadas, dentre outros. Independentemente da forma em que serão utilizados, estes são inicialmente fabricados como feixes de filamentos contínuos, onde cada filamento tem normalmente uma

secção transversal redonda com diâmetro na faixa entre 5-15 μm , e o feixe consiste num grande número de filamentos (1000-10000).

Os compósitos uni-camada, com fibras longas, são denominados de fibra contínua, enquanto que os de fibras descontínuas são produzidos utilizando fibras curtas. As propriedades dos compósitos com fibras longas possuem um processo de manufatura mais lento, enquanto que os de fibra curta possuem um processamento mais rápido, sendo indicados para compósitos de matriz termorrígida. A orientação das fibras descontínuas pode ser aleatória ou preferencial, enquanto que das fibras contínuas pode ser unidirecional ou bidirecional. Compósitos multicamadas são outra categoria dos reforçados com fibras. Estes são classificados como laminados ou híbridos. Os laminados são constituídos de lâminas em camadas empilhadas (entre 4 a 40 camadas) em uma sequência específica, e a orientação da fibra muda de camada para camada de uma maneira regular através da espessura do laminado. Os híbridos, as fibras podem ser misturadas em uma camada ou camada por camada e estes compósitos são projetados para se beneficiar das diferentes propriedades das fibras empregadas (MATTHEWS e RAWLINGS,1994; CALISTER, 2007).

A Figura 10 representa a classificação dos compósitos descrita anteriormente.



Fonte: Adaptado pelo autor de Matthews e Rawlings, 1994.

Mohammed *et al.* (2015) destacam que os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais apresentam propriedades favoráveis, como baixa densidade e dureza em comparação com compósitos sintéticos, além da vantagem de menor custo, proporcionando assim vantagens para a utilização em aplicações comerciais, (indústria automotiva, construção civil). Os autores afirmam que o uso destas fibras tende a melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos polímeros, sendo que tais propriedades podem ser ainda mais aprimoradas através de tratamento químico, enquanto que a absorção de umidade pode ser reduzida através da modificação superficial das fibras, com a alcalinização e/ou adição de agentes de acoplamento.

Como contraponto a afirmação de Mohammed *et al.* (2015), Garcia, Garmendia e Garcia (2008) comentam que adição de fibras naturais a polímeros tendem a reduzir as propriedades mecânicas devido à falta de compatibilidade de fibra/matriz levando a uma baixa adesão interfacial. Não obstante, concordam no sentido de que as fibras aumentam a rigidez e a resistência do compósito, sendo necessário um agente compatibilizante. Neste caso indicam as poliolefinas graftizadas com anidrido maleico, misturado com o polímero e a fibra durante a transformação. Sobre adesão interfacial, Campos *et al.* (2016) através de seu estudo com fibras têxteis de carbono mostraram que por meio do processo de degradação por oxidação com ácido nítrico, aumentou-se a superfície de contato da fibra, contribuindo diretamente para uma melhor adesão na interfase reforço/matriz. Este resultado possibilitou uma melhora nas propriedades mecânicas, visto que, além de melhorar a impregnação, auxiliou a evitar o escorregamento do reforço na matriz polimérica.

Sapuan (2017) aborda a importância do desenvolvimento de materiais compósitos orientados para a sustentabilidade, uma vez que tradicionalmente estes são fabricados a partir de polímeros e fibras sintéticas. No entanto já é muito comum a utilização de fibras naturais, que são materiais biodegradáveis, como reforço em matrizes poliméricas. Nesse caso é possível classificar este tipo de compósito como parcialmente biodegradável em função da utilização de polímeros sintéticos que levarão muito tempo para serem processados no meio ambiente. Portanto, é necessário ampliar os estudos nesse sentido, para a fabricação de compósitos 100% biodegradáveis através de conceitos de desenvolvimento sustentável.

2.4 SUSTENTABILIDADE ORGANIZACIONAL

A crescente atividade industrial mundial e a ausência de programas eficazes de sustentabilidade fazem com que cada vez mais resíduos sejam gerados sem que haja uma correta utilização ou deposição destes, proporcionando um passivo ambiental que compromete a qualidade de vida das futuras gerações (RIBEIRO e MORELLI, 2009).

A sustentabilidade organizacional é a busca equilibrada e permanente em manter saudáveis todos os processos envolvidos na produção, isto é, a tecnologia, os relacionamentos, as finanças, a qualidade dos serviços, os recursos naturais, os financeiros, a cultura local e o resultado social (ZOTTIS, RUSSO E ARAÚJO, 2009). O desenvolvimento econômico e o cuidado com o meio ambiente são compatíveis, interdependentes e necessários, e a alta produtividade, a tecnologia e o desenvolvimento econômico podem e devem coexistir com um meio ambiente saudável. A chave para o desenvolvimento é a participação, a organização, a educação e o fortalecimento das pessoas, assim o desenvolvimento sustentado é centrado nas pessoas e não na produção (DIAS, 2008).

A ideia da sustentabilidade coloca-se como contraponto ao caráter desperdiçador do atual momento, na medida em que a economia, por um lado, está baseada no desperdício da matéria-prima fornecida pela natureza num consumo descompassado com sua capacidade de fornecimento e, por outro, trata a natureza como um depósito de resíduos, sem considerar sua capacidade de absorção e reciclagem (ZOTTIS, RUSSO E ARAÚJO, 2009). Nesse sentido é essencial a existência de uma política ambiental para atender as necessidades das organizações, tanto para a eliminação dos níveis de resíduos tóxicos decorrentes dos seus processos produtivos, quanto para não perder o foco da sua responsabilidade social para com o meio ambiente, incorporando tais fatores em seus produtos (DAL PIVA, PILLATI e KOVALESKI, 2006).

No Brasil, a Lei Federal nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelece a diferença entre resíduo e rejeito. Resíduos devem ser reaproveitados e reciclados através da prática de hábitos de consumo sustentável e apenas os rejeitos, que não podem ser reciclados ou reutilizados,

devem ter disposição final ambientalmente adequada, conforme ilustra a Figura 11 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Figura 11- Ordem de prioridade para a gestão dos resíduos.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2010.

Robinson (2009) comenta que as empresas do setor coureiro calçadista ainda não avaliaram com a devida importância as iniciativas de minimização na geração de resíduos, reutilização de materiais e a reciclagem após o fim do ciclo de vida do produto. Trein (2015) corrobora essa ideia, afirmando que com as pressões econômicas sofridas, em especial as impostas pela prática produtiva da China, as indústrias nacionais de componentes já começam a tomar providências na seleção de insumos e fornecedores, implantando contínuas melhorias em seus processos de fabricação. Mas que necessitam, ainda, de uma atenção especial quanto à redução dos desperdícios e um maior aproveitamento das matérias-primas.

Na busca pela diminuição da geração de resíduos, as empresas tem investido fortemente em processos de reutilização, reciclagem e em ações voltadas a redução, com treinamento, aquisição de máquinas com novas tecnologias, desenvolvimento de novas matérias-primas e no trabalho da engenharia de processo. De modo geral as empresas privadas, têm sido mais acessíveis no trato das questões ambientais e apresentam respostas mais rápidas, porque, evidentemente, o setor reconhece que toda poluição é desperdício, é mau aproveitamento de matéria e energia (DIAS, 2008).

Segundo Romeiro (2012) a escassez de recursos naturais pode ser uma restrição à expansão da economia, todavia uma restrição relativa, superável pela

crecente influência de consumidores e regulamentações governamentais, somados ao progresso científico e tecnológico. O autor propõe uma analogia como se o sistema econômico fosse capaz de se mover moderadamente de uma base de recursos para outra, à medida que cada uma é esgotada, sendo o progresso científico e tecnológico a chave para o desenvolvimento de alternativas garantindo o crescimento econômico e sua sustentabilidade no longo prazo.

Conforme Mano, Pacheco e Bonelli (2010), o gerenciamento dos resíduos é um conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento para a disposição dos mesmos de forma ambientalmente segura, utilizando tecnologias compatíveis com a realidade local. Já Jardim, Yoshida e Filho (2012), comentam que a redução e/ou reaproveitamento de resíduos tem por objetivo a conscientização de que os resíduos não são subprodutos com potencial de comercialização, mas sim matérias-primas excedentes, devendo ser tributadas como tal. Portanto, sua não inclusão em processos que resultem em produtos alternativos, caracteriza-se como desperdício. Desconsiderar esse ativo contraria a própria racionalidade de um empreendimento industrial: sua lucratividade e competitividade.

Segundo Reichert (2006) durante todo o ciclo de vida de um produto são produzidos diversos tipos de resíduos. O descarte após a vida útil, por exemplo, é apenas uma fração destes resíduos, que se encontram também durante a fabricação e o uso. É importante a adoção de tecnologias que recuperem os resíduos, aproveitando o máximo da matéria-prima, obtendo ganhos econômicos e ambientais. No entanto, é importante lembrar que se é tanto mais ecoeficiente quanto uma menor quantidade de resíduo é gerada.

2.4.1 Desenvolvimento Sustentável

Dentre as abordagens desenvolvidas para facilitar a redução do uso de recursos, o mais conhecido é o *Design for the Environment (DfE)*¹. Esta abordagem aplica o conceito *Life Cycle Assessment (LCA)*² como uma ferramenta para permitir a concepção de produtos, não só para minimizar o uso de recursos, mas também para facilitar a reutilização e reciclagem. Um exemplo da aplicação dos princípios do

¹ *DfE* – termo em inglês para Ecodesign ou Projeto para o meio ambiente.

² *LCA* – termo em inglês para Avaliação do ciclo de vida

DfE em polímeros, é a redução média do peso das embalagens plásticas em cerca de 28% (AZAPAGIC, EMSLEY e HAMERTON, 2003).

Reichert (2006) comenta que o *DfE* tem como objetivo principal reduzir o impacto ambiental do produto em todas as suas principais fases do ciclo de vida que são: a obtenção das matérias-primas, a produção, a distribuição, a utilização e o destino final. Em se tratando de redução, visa reduzir o consumo de materiais ao longo do ciclo de vida do produto, uma vez que reduzindo o consumo de matérias-primas reduz-se também a quantidade de resíduos gerados.

Por outro lado, Azapagic, Emsley e Hamerton (2003) complementam este conceito afirmando que a redução do uso de recursos através da melhoria do design não é suficiente por si só, se não for acompanhada por um consumo mais sustentável. Afastar-se do consumo desperdiçador para uma utilização mais prudente dos recursos requer, inevitavelmente, alterações em nossos estilos de vida. Atualmente poucas pessoas estão preparadas para esta mudança. Portanto devem-se buscar alternativas a curto e médio prazo através de objetivos definidos pela gestão de resíduos.

Segundo Chan (2012) o desenvolvimento sustentável vem atraindo a atenção de diferentes áreas do setor industrial, como o marketing, o gerenciamento da cadeia de suprimentos e a tecnologia da informação. Isso porque as grandes marcas exigem das empresas que o tema sustentabilidade seja praticado em todas suas esferas. No entanto a integração e/ou comunicação entre as áreas para este fim ainda não estão claras, bem como, de que forma criar uma vantagem competitiva no mercado a partir desse mote. Do lado das operações e da cadeia de fornecimento, tem-se a redução de resíduos, através de ferramentas como *LCA*, filosofia Lean, concepção ecológica para desenvolvimento de produtos de berço a berço, etc. Porém, estas ações geralmente não vinculadas ao marketing industrial e isso, porque são mais visíveis internamente do que externamente.

Azapagic, Emsley e Hamerton (2003) apontam como uma das razões para o uso generalizado de polímeros, a sua versatilidade e, em particular, a sua resistência e durabilidade. Portanto, as mesmas propriedades podem ser exploradas para a reutilização em outras aplicações, recuperando os produtos usados para reutilizá-los em ou como novos produtos. No entanto, os autores citam alguns obstáculos enfrentados para a inclusão deste processo na rotina das empresas. O primeiro obstáculo está ligado a uma logística reversa mais eficiente, em segundo, questões

referentes a uma visão de concepção e desenvolvimento projetando uma viabilidade de reutilização dos materiais desde sua produção, até o final do ciclo de vida do produto. O terceiro obstáculo para a reutilização é a dificuldade do cliente em aceitar produtos que não são novos, porque acreditam que produtos reutilizados terão um desempenho inferior. Comentam ainda que o número de ciclos de reutilização é limitado e, eventualmente, as propriedades de polímeros começam a deteriorar-se ao ponto em que já não podem ser utilizados sem processamento adicional.

2.4.2 Reciclagem

Segundo a PNRS nº 12.305/10, a reciclagem é definida como um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolvem a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

Conforme Mano, Pacheco e Bonelli (2010) a reciclagem consiste em aproveitar o material refugado para ser transformado em uma nova peça ou para recuperar energia, fazendo retornar ao ciclo produtivo parte das matérias-primas ou da energia, podendo ser realizada considerando a origem da matéria-prima (reciclagem primária, secundária, terciária ou quaternária) e/ou quanto ao processo de reciclagem (reciclagem mecânica, química e energética). Resumidamente a reciclagem primária faz o reprocessamento dos resíduos colhidos diretamente da fábrica; a reciclagem secundária compreende o reprocessamento dos resíduos após seu consumo, ou seja, necessita operações adicionais, como seleção e limpeza dos mesmos; a reciclagem terciária visa transformar os resíduos em compostos químicos que deram origem aos plásticos; e a quaternária consiste na incineração dos resíduos, onde através da queima se obtém uma recuperação de energia.

Ribeiro e Morelli (2009) comentam que os ganhos proporcionados pela reciclagem decorrem do fato de ser mais econômica a produção quando se utiliza resíduos como matéria-prima em comparação ao processo convencional, consumindo menos energia, materiais, recursos hídricos, reduzindo os custos de controle ambiental e de deposição final dos mesmos. Os autores recomendam ainda o estudo da literatura e das possibilidades de utilização. Este estudo constitui-se numa etapa exaustiva de busca em banco de dados de artigos científicos, ou

patentes e, assim, muitas vezes é mais compensatório investir numa pesquisa já em andamento do que iniciar um novo projeto, que ao final já pode estar registrado e com seus direitos devidamente protegidos.

Um emprego muito comum na reciclagem de resíduos é sua incorporação ao cimento, pelo fato deste aceitar diversos tipos de resíduos, com as mais diversas características, sejam elas químicas ou físicas, além de aproveitar grandes quantidades de material. Um exemplo é o cimento Portland que atualmente, é o material manufaturado mais utilizado no mundo, e a julgar pelas tendências mundiais, o futuro destes materiais parece ser ainda mais promissor porque, para a maioria das aplicações, oferecem propriedades adequadas a baixo custo (RIBEIRO e MORELLI, 2009).

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais, equipamentos e a metodologia utilizada para a preparação dos compósitos. Também, as metodologias de caracterização física e mecânica dos compósitos preparados, com o objetivo de determinar a viabilidade destes na fabricação de materiais com possível aplicação na construção de calçados. O processamento dos resíduos e dos compósitos, bem como alguns ensaios mecânicos foram realizados no Centro de Tecnologias Limpas (CTL) da Universidade Feevale. Os ensaios de Densidade, Dureza e Abrasão foram realizados no Laboratório de Controle de Qualidade da empresa Paquetá, em Sapiranga. As análises morfológicas foram realizadas no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale.

3.1 MATERIAIS

Os resíduos têxteis utilizados neste estudo são sobras de artigos têxteis de algodão e poliéster provenientes do processo de dublagem de uma indústria de componentes do *cluster* calçadista.

O SBS utilizado foi o Prismaprene® HPR 325/60B fornecido pela empresa Prisma Montelur Compostos Termoplásticos, na forma de pellets com as propriedades físicas listadas na Tabela 2, segundo a Ficha de Técnica de controle de qualidade do fornecedor.

Tabela 2: Propriedades do SBS utilizado (Prismaprene® HPR 325/60B).

Propriedades	Unidade	Valor obtido	Especificação	Referência normativa
Abrasão	mm ³	230	Máximo 260	DIN 53516
Dureza	Shore A	59	60+/-2	DIN 53505
Densidade	g/cm ³	0,956	0,970+/-0,015	DIN 53479
Índice de Fluidez	g/10 min	54	Mínimo 30	ASTM D 1238

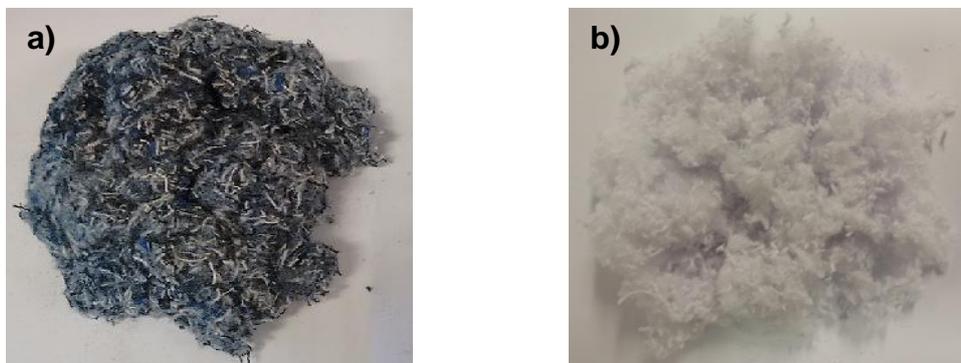
Fonte: Adaptado de Prisma Montelur, 2016.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Processamento dos resíduos

Com o objetivo de obter amostras para preparação e caracterização dos compósitos, os resíduos de algodão e de poliéster foram moídos em moinho de facas (Figura 12), marca SEIBT, modelo MGHS 1.5/85, com motor de potência 2 hp e peneira de 8mm.

Figura 12: Resíduo moído de algodão (a) e poliéster (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.2.2 Processamento dos compósitos

Os resíduos têxteis moídos e o polímero SBS, foram misturados conforme proporções indicadas na Tabela 3. A amostra 1, é o polímero puro para fins de comparação com os demais compósitos.

O planejamento experimental foi elaborado visando a preparação dos compósitos utilizando somente resíduo têxtil de algodão e poliéster, separados, em quantidades equivalentes em massa. Também foram preparadas amostras com uma mistura de 1:1 de algodão e de poliéster, em percentuais de 10 e 20% em função de dados de literatura (IBRAHIM *et al.*, 2013). Estas formulações também estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição dos compósitos SBS/Resíduos têxteis de algodão/poliéster.

Amostra	Quantidade de SBS (%)	Quantidade de resíduo de algodão (%)	Quantidade de resíduo de poliéster (%)
TR VIRGEM	100	0	0
PO10	90	0	10
PO20	80	0	20
PO30	70	0	30
PO40	60	0	40
AL10	90	10	0
AL20	80	20	0
AL30	70	30	0
AL40	60	40	0
POAL10	90	5	5
POAL20	80	10	10

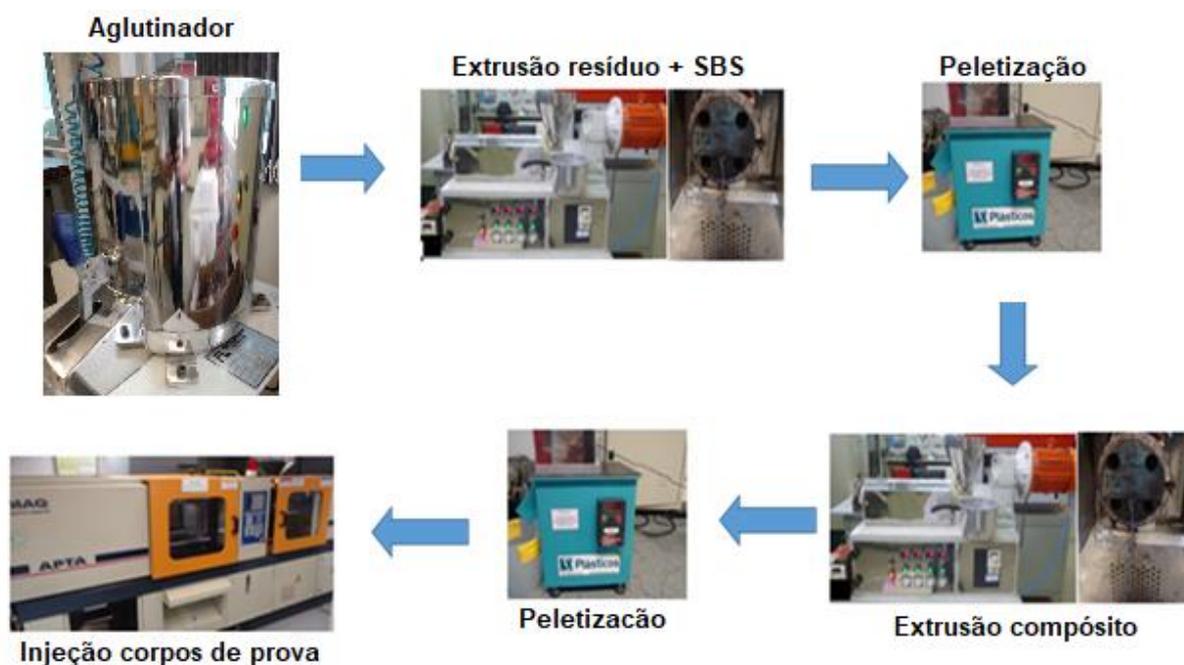
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Para o processo de aglutinação das formulações descritas na Tabela 3 foi utilizado um aglutinador da marca FL MOSSMANN, modelo AGL-112. Em seguida os materiais foram extrusados em uma extrusora monorosca da marca SEIBT, modelo ES25, com quatro zonas de aquecimento. As temperaturas utilizadas neste processamento foram de 110°C, 120°C, 130°C e 140°C, com oscilação de $\pm 3^\circ\text{C}$.

A velocidade de rotação da rosca da extrusora foi fixada em 22 rpm devido a recomendações do fabricante do equipamento, a fim de se obter condições equivalentes aos equipamentos industriais e facilitar sua posterior reprodutibilidade (Robinson, 2016). Após o processo de extrusão das amostras, as mesmas foram peletizadas em um picotador da marca AXPLÁSTICOS, modelo GR 01, com velocidade de 1000 rotações por minuto que, segundo a literatura (ROBINSON, 2016) é a velocidade recomendada pelo fabricante do equipamento. Após este processo, as amostras foram novamente extrusadas e peletizadas, com o intuito de promover uma melhor homogeneização dos componentes dos compósitos (BODUR, 2014)

Após a peletização das mostras, foram preparados os corpos de prova dos compósitos, por processo de injeção em uma injetora marca Bonmaq, modelo APTA 80, com três zonas de temperaturas de 160°C, 170°C, 180°C. A temperatura do bico de injeção foi de 190°C. A sequência de processamento pode ser observada no fluxograma da Figura 13.

Figura 13: Esquema do processamento dos compósitos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

3.2.2 Caracterização dos Compósitos

3.2.2.1 Microscopia Óptica

A microscopia óptica foi realizada em um Estereomicroscópio marca Karl Zeiss, modelo Stemi 508, no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale, com aproximações de 20 e 51X.

3.2.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises morfológicas por MEV foram realizadas em equipamento JEOL, Modelo JSM-6510LV, disponível no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale. As amostras de cada etapa do processo foram

metalizadas com sobreposição de fina camada de ouro, conforme procedimento padrão. As micrografias foram obtidas com feixe de elétrons de 10 kV com ampliações de 500, 1000 e 1500X.

3.2.2.3 Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (IV)

Os espectros de infravermelho foram obtidos no Laboratório de Estudos Avançados em Materiais da Universidade Feevale, utilizando o equipamento Spectrum Two, da Perkin Elmer, com acessório Universal (UATR), na faixa de varredura de 450 a 4000 cm^{-1} . Tanto o espectro de fundo (background) quanto os das amostras foram coletados a partir de 4 varreduras. Os espectros tiveram suas linhas de base corrigidas computacionalmente pelo software de controle do equipamento.

3.2.2.4 Reometria de torque

O ensaio de reometria de torque foi realizado no Centro de Tecnologias Limpas da Universidade Feevale reômetro de torque, marca Thermo Scientific, modelo Haake PolyLab OS: RheoDrive 7 OS / Rheomix 600 OS, operando com rotores do tipo *roller*, velocidade de rotação de 60 rpm sob temperatura de 60°C, durante 10 minutos. A massa total dentro da câmara de mistura foi mantida constante em 44 g para todas as amostras.

3.2.2.5 Determinação da Densidade

O ensaio determinação da densidade foi realizado Laboratório de Controle de Qualidade da empresa Paquetá, conforme norma ABNT NBR 2781:2015 - Borracha vulcanizada ou termoplástica - Determinação da densidade.

3.2.2.6 Determinação da Dureza

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Controle de Qualidade da empresa Paquetá, conforme norma ABNT NBR 14454:2007 - Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da dureza Shore A.

3.2.2.7 Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura

O ensaio de resistência à tração e alongamento na ruptura foi realizado de acordo com a norma ABNT/NBR – 14459/2017, no Centro de Tecnologias Limpas da Universidade Feevale. Foi utilizada máquina universal de ensaios, marca Maqtest, conforme Figura 14. O teste tem como objetivo verificar a resistência quanto à intensidade de tração até a ruptura total e o alongamento percentual, quando os corpos de prova (CP) são submetidos a um tracionamento por carga no dinamômetro. Foram preparados três CP por material injetado, onde cada amostra passou por um período mínimo de condicionamento de 24 horas, em uma temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Figura 14: Máquina universal de ensaios de laboratório Maqtest.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Verificou-se a espessura e a largura em três pontos de cada CP com o auxílio de um paquímetro. Obtidos os valores médios de cada medida, calculou-se a área de cada amostra pela multiplicação da largura pela espessura. Os CP foram presos com o auxílio de duas garras à máquina universal de ensaios e realizou-se o tracionamento com velocidade de 100 milímetros por minuto, até o rompimento do

mesmo. Após ruptura total, o valor máximo da tração foi anotado e o alongamento máximo lido diretamente na régua. A tensão em N/mm² foi obtida pela equação (1):

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

Onde:

- F = Força em N (valor lido no dinamômetro)
- A = Área do corpo de prova em mm²

O alongamento percentual foi obtido através da equação (2):

$$\text{Alongamento} = ((D_{\text{Final}} - D_{\text{Inicial}})/D_{\text{Inicial}}) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- D = Distância lida na régua

3.2.2.8 Determinação da resistência ao desgaste por abrasão

Este ensaio foi realizado no Laboratório de Controle de Qualidade da empresa Paquetá, conforme norma ABNT NBR 14738:2015 - Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da resistência ao desgaste por abrasão especial - Perda de espessura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados da caracterização dos polímeros e cargas de partida e dos compósitos preparados neste trabalho.

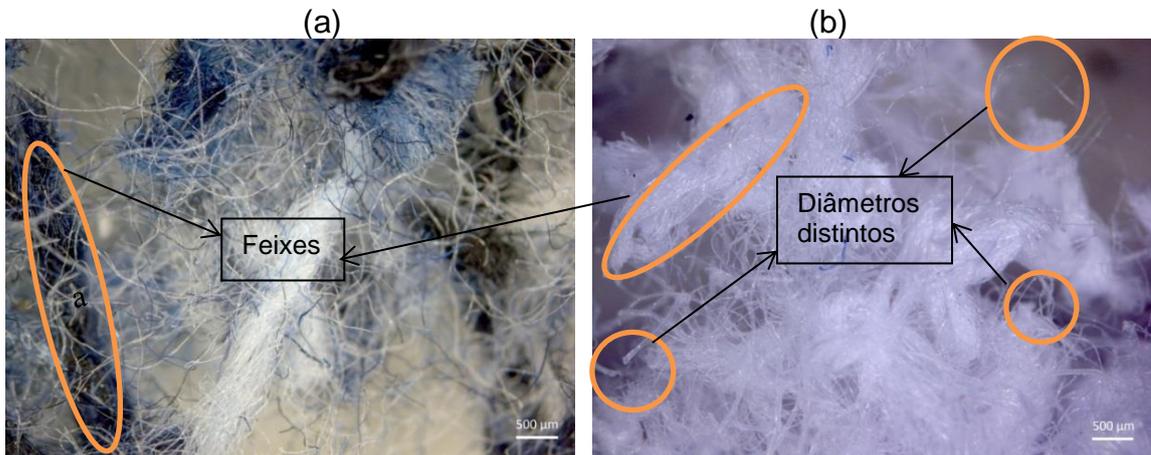
4.1 MICROSCOPIA ÓPTICA

A Figura 15 apresenta fotomicrografias dos resíduos moídos de algodão e poliéster com aumento de 20 vezes. Observando as duas imagens não é possível diferenciar uma fibra da outra, a não ser pela coloração das mesmas que pode ser observada macroscopicamente na Figura 12, página 39. Os dois materiais têxteis apresentam fibras soltas e em forma de feixes soltos e entrelaçados, no entanto as fibras de algodão aparentam demonstrar maior uniformidade no diâmetro das mesmas, enquanto que nas de poliéster percebe-se uma mescla de fibras com diâmetros distintos, bem como um brilho mais evidente em relação às de algodão. Esta relação da fibra de poliéster apresentar mais brilho que o algodão, não é possível inferir que o brilho observado aqui é uma característica intrínseca em ambas as fibras, oferece somente subsídio para fins de distinção entre as fibras aqui utilizadas, uma vez que o algodão industrializado pode ter seu acabamento superficial modificado através de diversos acabamentos químicos e/ou enzimáticos (FERREIRA, 2012). Enquanto que o poliéster por ser obtido através de processo químico, fiação por extrusão e diversos beneficiamentos possíveis (GOMES, COSTA e MOHALLEM, 2015; CANEDA, 2016), podem também apresentar distintos aspectos visuais.

A Figura 16 e 17 apresentam as fotomicrografias dos compósitos com 10% e 40% de resíduos de algodão e poliéster respectivamente com aumento de 20x e 51x. Pode-se observar nas Figuras 16a e 17a com aumento de 20 vezes a forma do pellet do compósito, cujo aspecto fibroso ressalta-se com aumento de 51 vezes e também proporcionalmente ao aumento do teor de resíduo, (Figuras 16b e 17b), corroborando com a afirmação de Khan *et al.*, (2012) que uma maior porcentagem

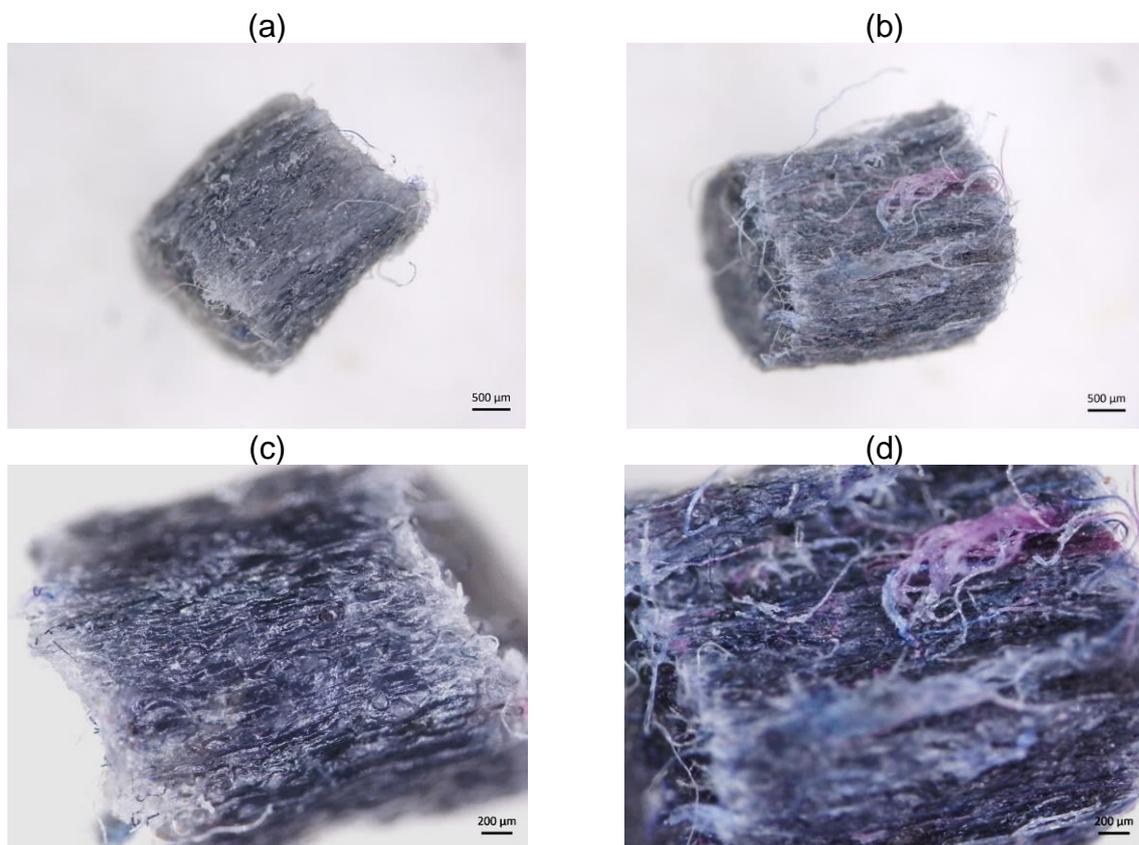
de têxteis, faz com que a matriz polimérica não seja suficiente para cobrir todas as fibras.

Figura 15: Micrografia óptica resíduo têxtil de algodão (a), resíduo têxtil de poliéster (b) com aumento de 20x.



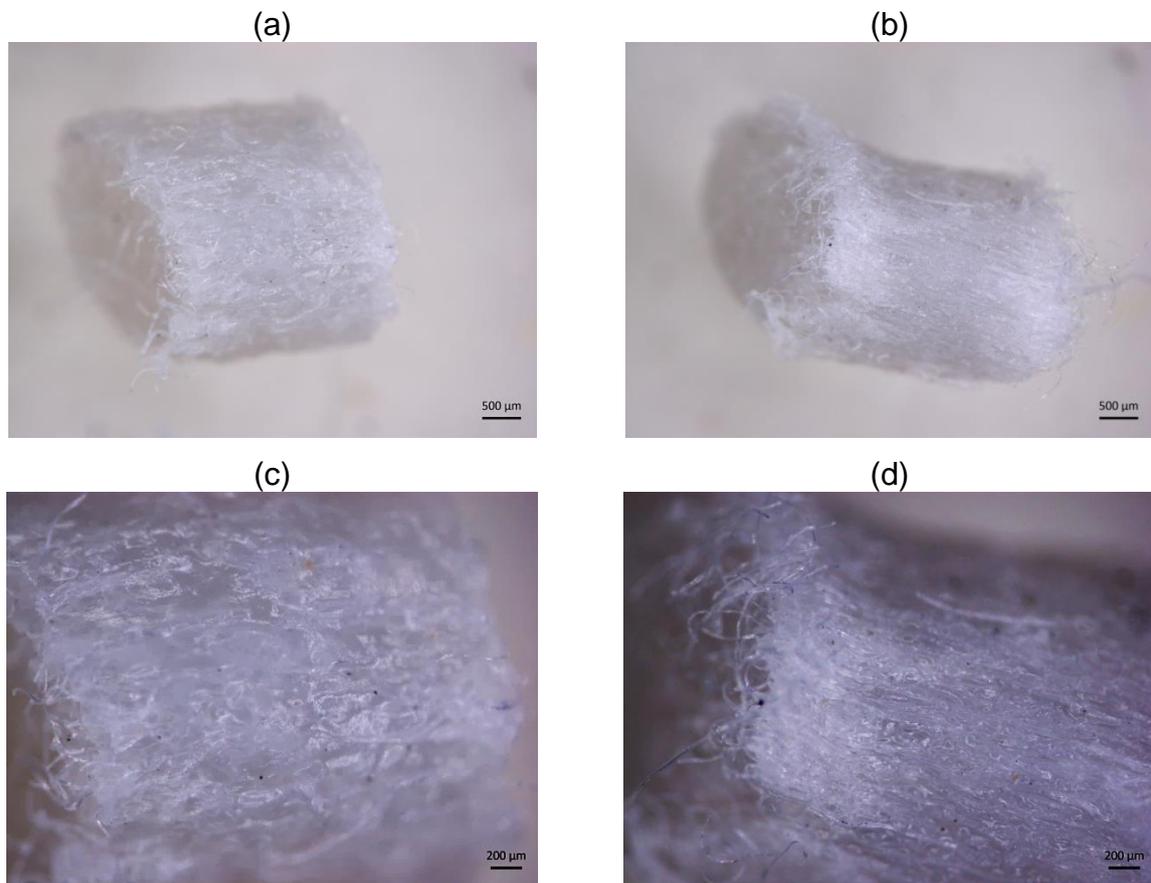
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 16: Compósito 10% (a, 20x; c, 51x) e 40% (b, 20x; d, 51x) de algodão com aumento 20x e 51x respectivamente.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 17: Compósito 10% (a, 20x; c, 51x) e 40% (b, 20x; d, 51x) de poliéster com aumento 20x e 51x respectivamente.

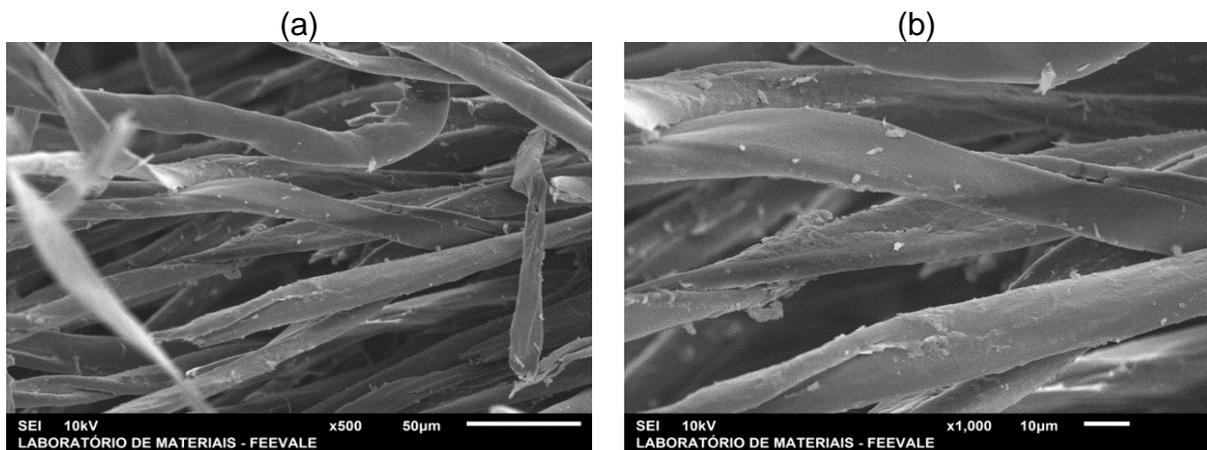


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.2 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

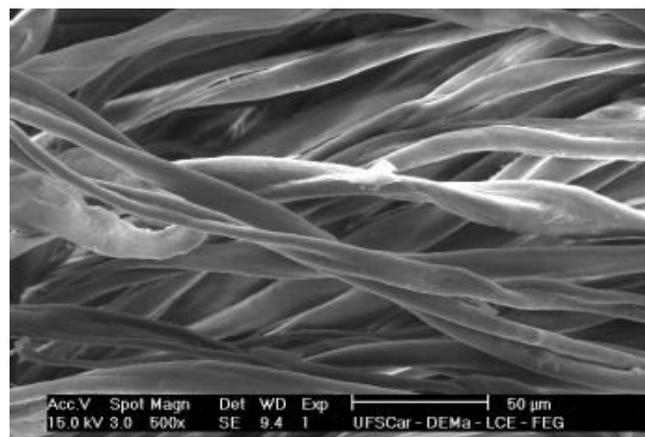
A Figura 18 mostra a micrografia da fibra de algodão com aumentos de 500 e 1000 vezes. Percebe-se um fio com nervuras, deformações, e com pequenas incrustações ou sujidades aderidas a fibra, provenientes do manuseio ou eventual tratamento recebido pelo tecido durante seu ciclo de vida. A morfologia da fibra de algodão encontra concordância na literatura (GUIMARÃES, 2012; CANEDA, 2016), que apresenta caracterização prévia deste tipo de fibra têxtil, com estrias e ranhuras, bem como torções das fibras em torno de si mesmas, que pode ser indicativo de coesividade destas em um eventual processo de fiação conjunta. A Figura 19 ilustra uma micrografia de algodão obtida na literatura (CANEDA, 2016), para fins de comparação.

Figura 18: Micrografia do resíduo de algodão com ampliações de 500x (a) e 1000x (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

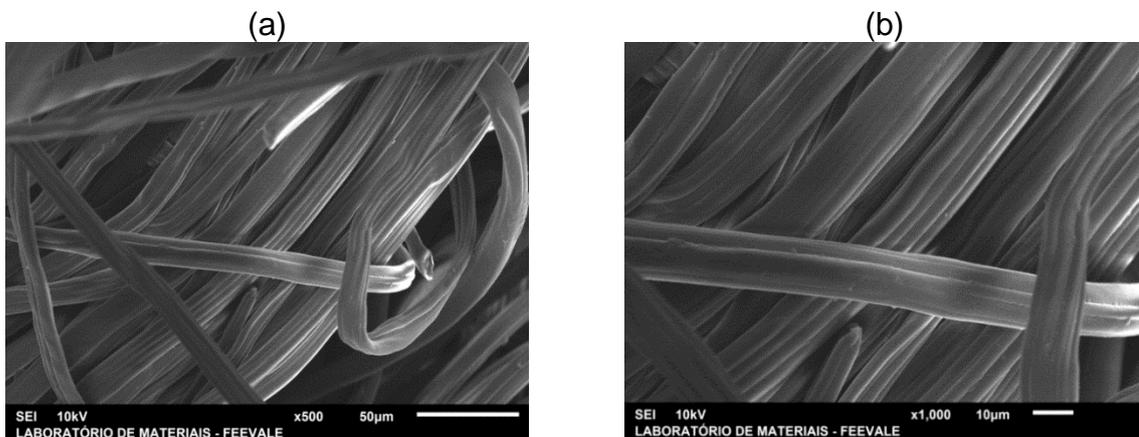
Figura 19: Micrografia de fibra de algodão obtida na literatura.



Fonte: CANEDA, 2016.

A Figura 20 mostra a micrografia da fibra de poliéster com aumento de 500x e 1000x. Diferentemente da fibra de algodão, percebe-se neste caso um fio sem grandes deformações e incrustações, apenas um estiramento longitudinal (estrias), que pode ser proveniente do processo de obtenção do fio conforme literatura (GOMES, COSTA e MOHALLEM, 2015) na etapa de estiramento, quando o fio adquire a forma dos orifícios da fieira.

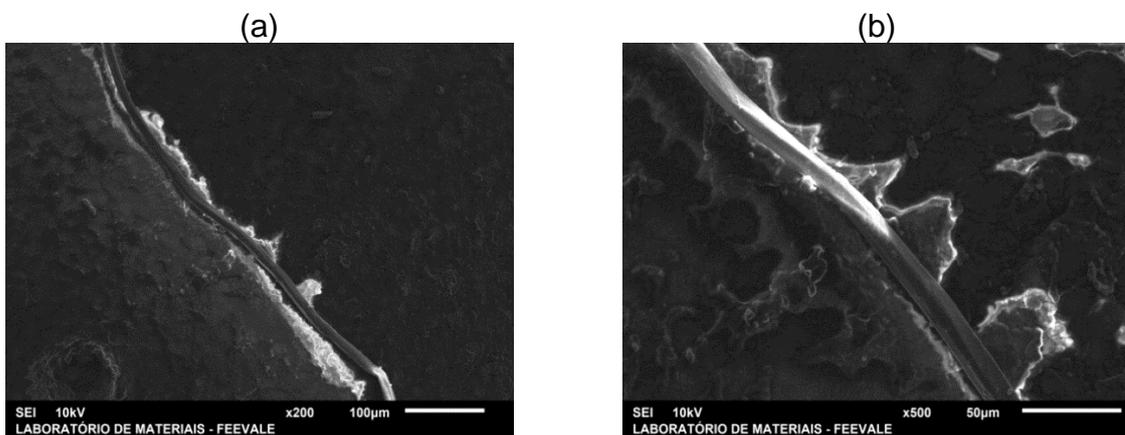
Figura 20: Micrografia do resíduo de poliéster com ampliações de 500x (a) e 1000x (b).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Figura 21 apresenta as micrografias do polímero de SBS com ampliação de 200 e de 500 vezes. Pode-se observar uma superfície rugosa, porém sem bolhas ou orifícios. A rugosidade ou imperfeição da amostra deve-se provavelmente a quebra criogênica da amostra.

Figura 21: Micrografia do polímero SBS com ampliação de 200x (a) e 500x (b).

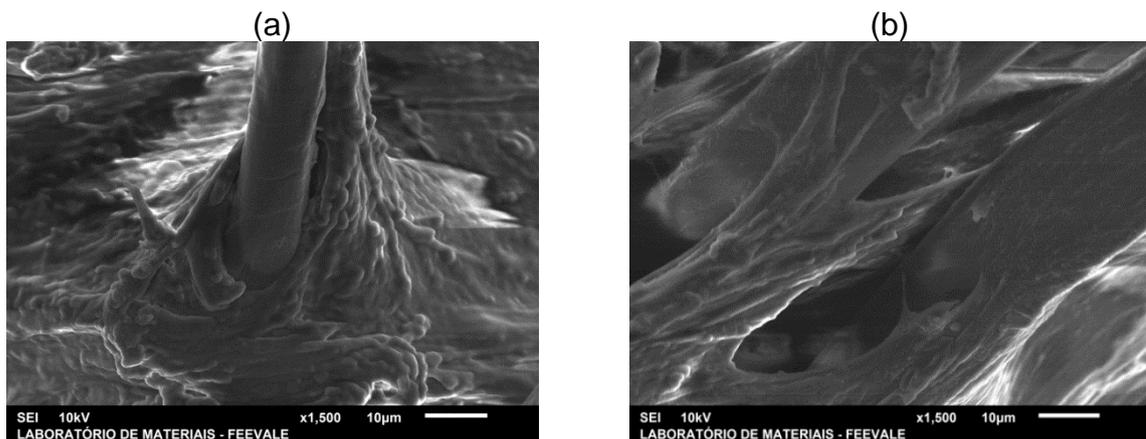


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As Figuras 22 e 23 apresentam as micrografias das interfaces dos compósitos de algodão e poliéster respectivamente. Pode-se observar claramente a distinção entre a matriz polimérica e o reforço têxtil, bem como o aumento da ocorrência das fibras têxteis de acordo com o seu incremento nas formulações. Khan *et al*, (2012) descreve que compósitos de PVC com fibras têxteis de juta como carga de reforço, apresentaram características semelhantes.

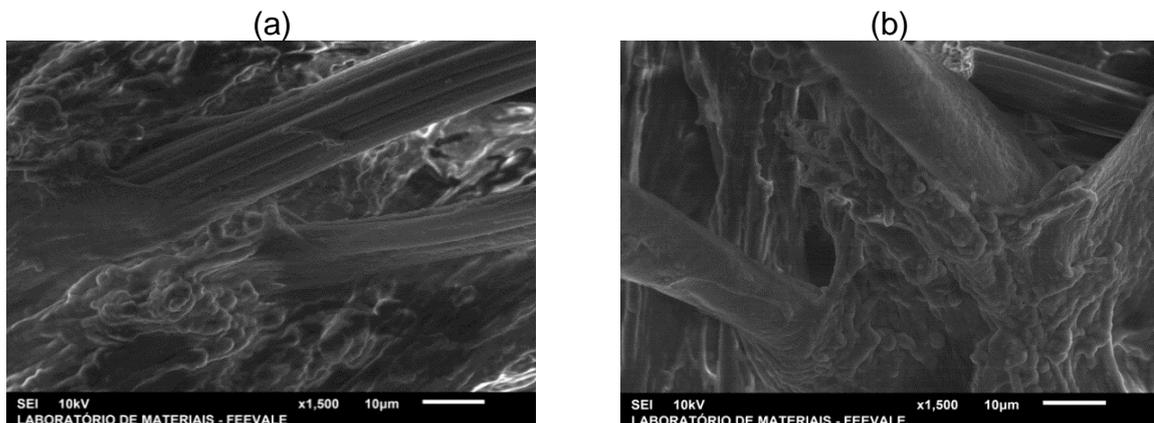
É possível ainda observar na o arranjo de inserção das fibras têxteis na matriz polimérica. Também é possível observar poros ou orifícios. Tais eventos morfológicos podem ter sido ocasionados pelo movimento de tração e partição da fibra quando a amostra foi submetida à fratura criogênica para análise. Este efeito já foi observado em outras oportunidades (Finkler, 2005; Dreger, 2012) e sugere que as fibras do material têxtil possam estar somente encapsuladas pela matriz e não interagindo quimicamente com a mesma. Neste contexto, Finkler (2005) propôs a utilização de compatibilizante entre fibra e matriz polimérica em um estudo sobre o reaproveitamento de rejeitos têxteis de algodão e acrílico que foram incorporados a uma matriz de polietileno de alta densidade, porém a autora não percebeu a influência deste tipo de agente na interação entre os dois componentes.

Figura 22: Micrografias dos compósitos AL10 (a) e AL30 (b) com ampliação de 1500x.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 23: Micrografias dos compósitos PO10 (a) e PO30 (b) com ampliação de 1500x.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

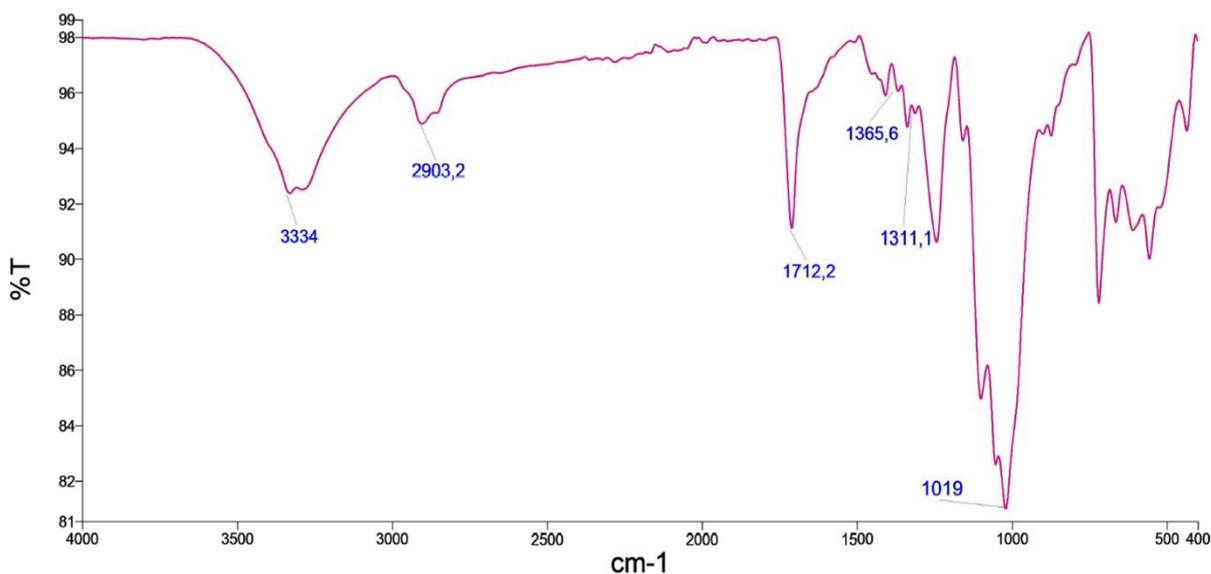
Feltran e Diaz (2007), Dreger (2012) e Bodur (2014) chamaram o efeito relacionado aos poros ou orifícios que observaram na matriz polimérica de seus compósitos alvo de efeito “*pull-out*” e também o atribuíram a uma pequena compatibilidade química entre a matriz e as fibras da carga ou a nenhuma compatibilidade entre elas. No caso dos compósitos preparados nesta dissertação, também são observados poros e orifícios. No entanto, também é possível verificar material da matriz polimérica aderido aos filamentos da fibra, tanto de algodão quanto de poliéster, o que sugere que exista compatibilidade entre estes componentes e o que justifica o crescimento da resistência à tração e a redução no alongamento na ruptura. Estas observações parecem concordar com dados de espectroscopia no infravermelho, reologia, e de ensaios mecânicos apresentados mais a diante.

4.3 ESPECTROSCOPIA VIBRACIONAL NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (IV)

Os espectros de infravermelho obtidos a partir das amostras de resíduos têxteis utilizados neste trabalho são apresentados na Figuras 24 e 25. O espectro de IV do algodão, Figura 24, está de acordo com o estudo de Portella *et al.* (2016) que avaliou as propriedades mecânicas de compósitos de poliéster reforçados com fibras de vidro e algodão. Da mesma forma que os autores, observam-se aqui, também, a banda em 3334 cm^{-1} , característica dos grupos hidroxilas presentes nos polissacarídeos celulósicos, bem como a banda 2903 cm^{-1} , característica de estiramentos de ligações C-H presente na celulose e hemicelulose. Diferentemente do trabalho citado, aqui é possível observar a banda 1712 cm^{-1} , característica dos grupos carboxila presentes na hemicelulose. A absorção nas bandas 1365 cm^{-1} e 1311 cm^{-1} estão associadas respectivamente aos grupos C-H e C-O dos anéis aromáticos presentes nos polissacarídeos celulósicos. A vibração intensa na banda 1019 cm^{-1} , está relacionada com grupo C-O e O-H também presentes nos polissacarídeos celulósicos. É importante notar que a amostra de algodão utilizada para a preparação dos compósitos é uma mistura de algodões comerciais e assim, é possível que alguns sinais do espectro de infravermelho correspondam a aditivos do

material original, sobre os quais não tivemos controle ou conhecimento para uma descrição mais detalhada.

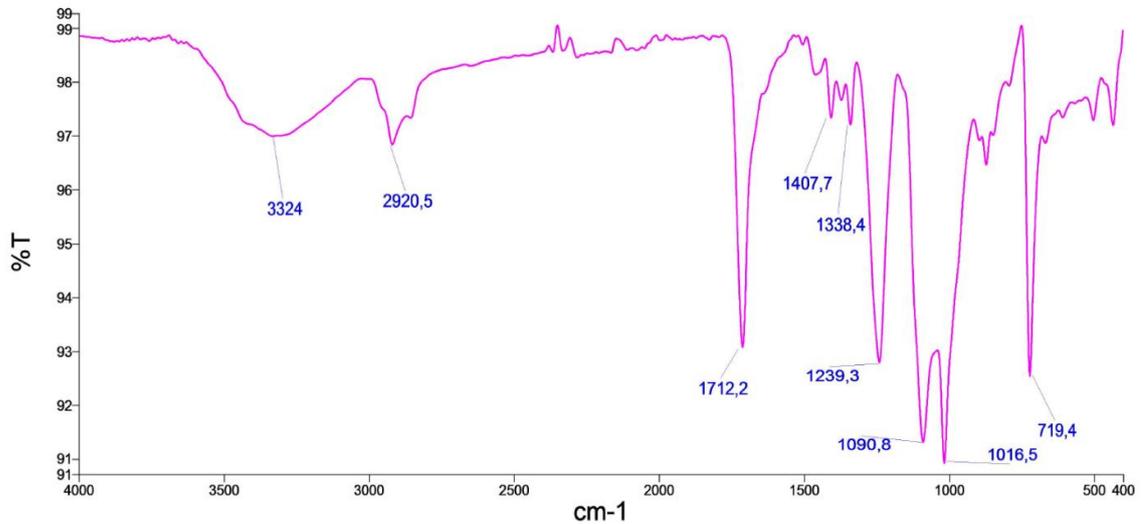
Figura 24: Espectro de infravermelho do resíduo de algodão.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

O espectro do poliéster (assumindo este como um derivado aromático), Figura 25, obtido na análise de IV está de acordo com o assinalamento de Assis (2012), onde se pode observar o estiramento dos grupos OH em 3324 cm^{-1} , bem como os estiramentos de CH em 2920 cm^{-1} . O estiramento C=O (carbonila) de grupos carboxílicos de éster é possível observar em 1712 cm^{-1} . É possível observar, ainda, as vibrações de C=C e C=C-H do anel aromático em 1407 cm^{-1} e 719 cm^{-1} (interações entre o grupo éster e o anel aromático), vibrações relacionadas ao grupo tereftalato em 1090 cm^{-1} e 1239 cm^{-1} , o estiramento do grupo C-O e deformação do grupo O-H nas bandas em 1338 cm^{-1} (que pode confundir-se à deformações de CH) e em 1016 cm^{-1} .

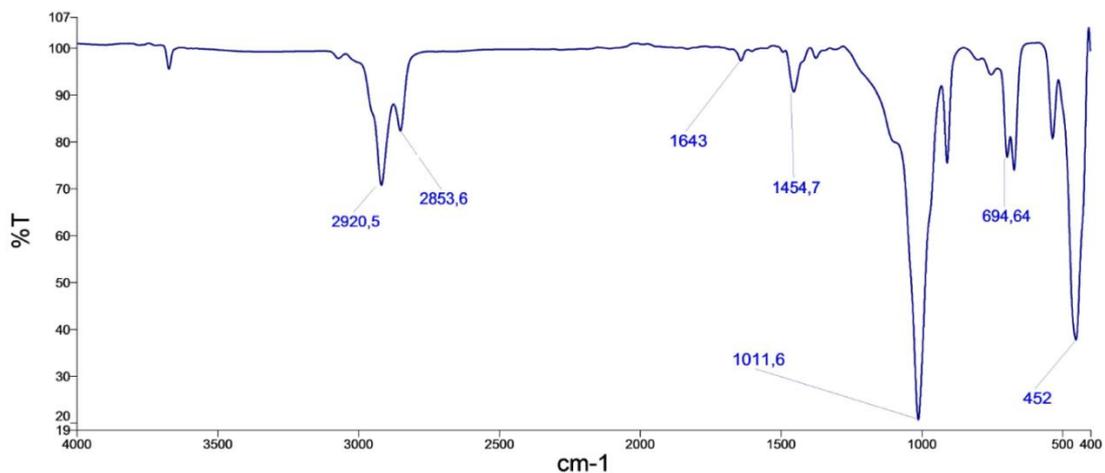
Figura 25: Espectro de infravermelho do resíduo de poliéster.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

A Figura 26 apresenta o espectro de infravermelho da amostra de SBS utilizada neste trabalho. De acordo com a literatura (Carneiro, 2013, IANCU, 2013) as bandas características principais do SBS estão nas faixas de 2920 cm^{-1} e 2853 cm^{-1} associadas ao estiramento assimétrico C-H (CH_3 , CH_2) e ao estiramento simétrico C-H (CH_2) dos segmentos da cadeia de hidrocarbonetos, enquanto a banda em 1454 cm^{-1} resulta das vibrações da ligação C-H e a banda de 1643 cm^{-1} corresponde à ligação C = C no anel de benzeno e à vibração de estiramento da ligação C-H. Em 1011 cm^{-1} é possível observar deformação angular no plano de ligações CH, em 694 cm^{-1} e em 452 cm^{-1} as deformações angulares fora do plano das ligações C=C do anel aromático.

Figura 26: Espectro de infravermelho do polímero SBS virgem.



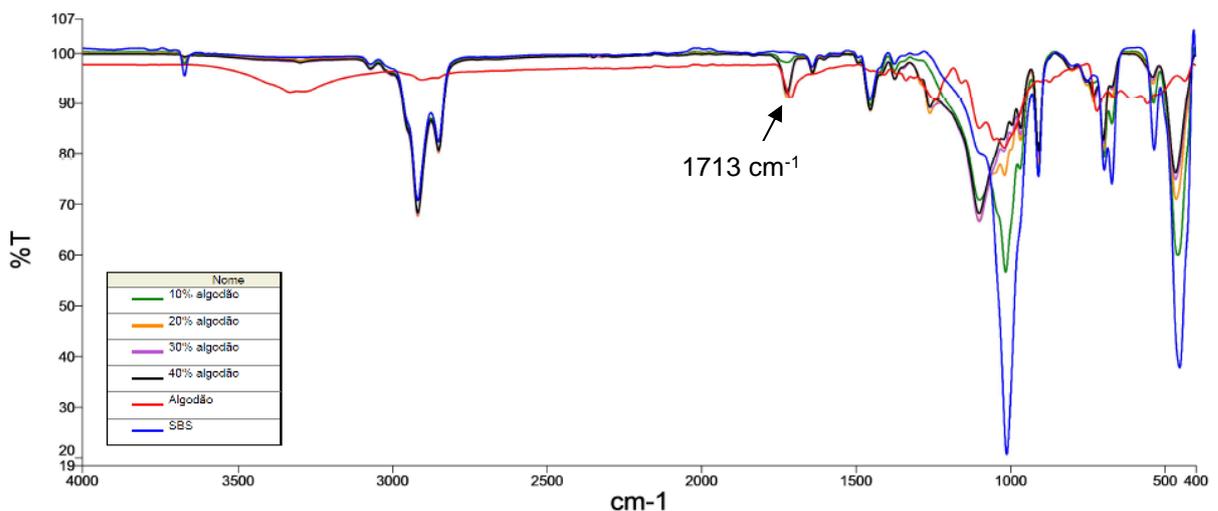
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

As Figuras 27, 28 e 29 correspondem, respectivamente, aos espectros de infravermelho dos compósitos contendo resíduo têxtil de algodão, poliéster e poliéster/algodão. Comparando os espectros é possível observar que houve alteração no perfil do compósito em relação ao polímero virgem, com a variação na intensidade de sinais, mas também é possível observar que houve a manutenção nos compósitos, das bandas dos materiais de partida.

Nos espectros dos compósitos de algodão na Figura 27, observa-se um incremento de intensidade no sinal de banda 1713 cm^{-1} correspondente aos grupos carboxila presentes na hemicelulose à medida que aumenta o teor de resíduo no compósito. Da mesma forma é possível observar este comportamento nos espectros dos compósitos de poliéster e da mistura de poliéster/algodão nas Figuras 28, em relação à carbonila na região de 1720 cm^{-1} . No entanto, de comportamento inverso a estes, o compósito de poliéster e algodão na Figura 29, apresenta perda de intensidade no sinal nesta mesma região à medida que aumenta o teor de carga têxtil.

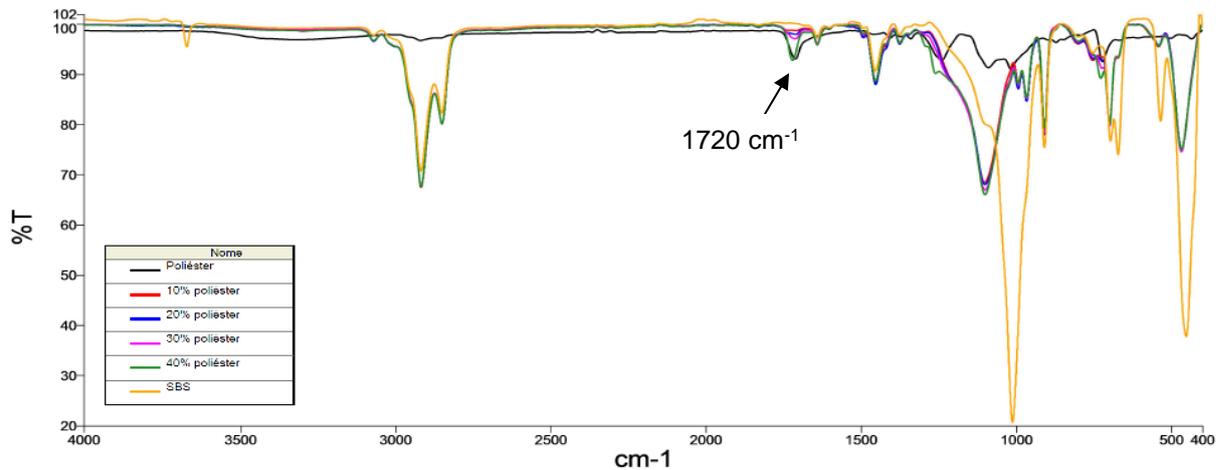
O que se pode concluir com a análise de infravermelho é que as cargas têxteis foram, realmente incorporadas à matriz polimérica, pela observação da composição de sinais tanto da matriz quanto das cargas no espectro dos compósitos.

Figura 27: Espectro de IV dos compósitos com resíduo de algodão.



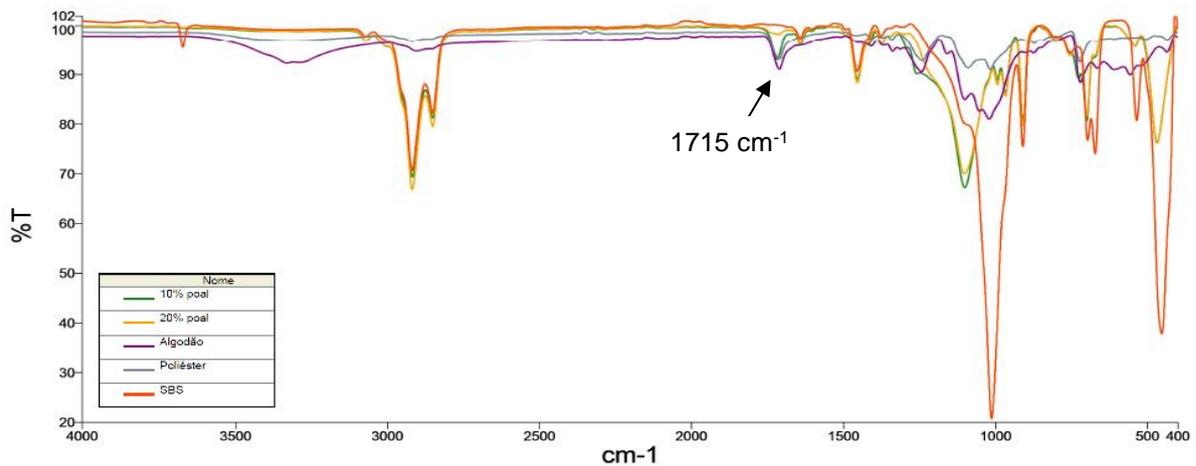
Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 28: Espectro de IV do compósito com resíduo de poliéster.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Figura 29: Espectro de IV do compósito com resíduo de algodão e poliéster.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.4 REOMETRIA DE TORQUE

A Figura 30 apresenta os reogramas dos compósitos de algodão, de poliéster e de poliéster/algodão e do polímero SBS virgem. De maneira geral, é possível observar que o torque tende a estabilizar-se a partir do quarto minuto de processamento das amostras indicando estabilidade da viscosidade das mesmas. Também, em todas as análises, é possível verificar que os torques finais atribuídos

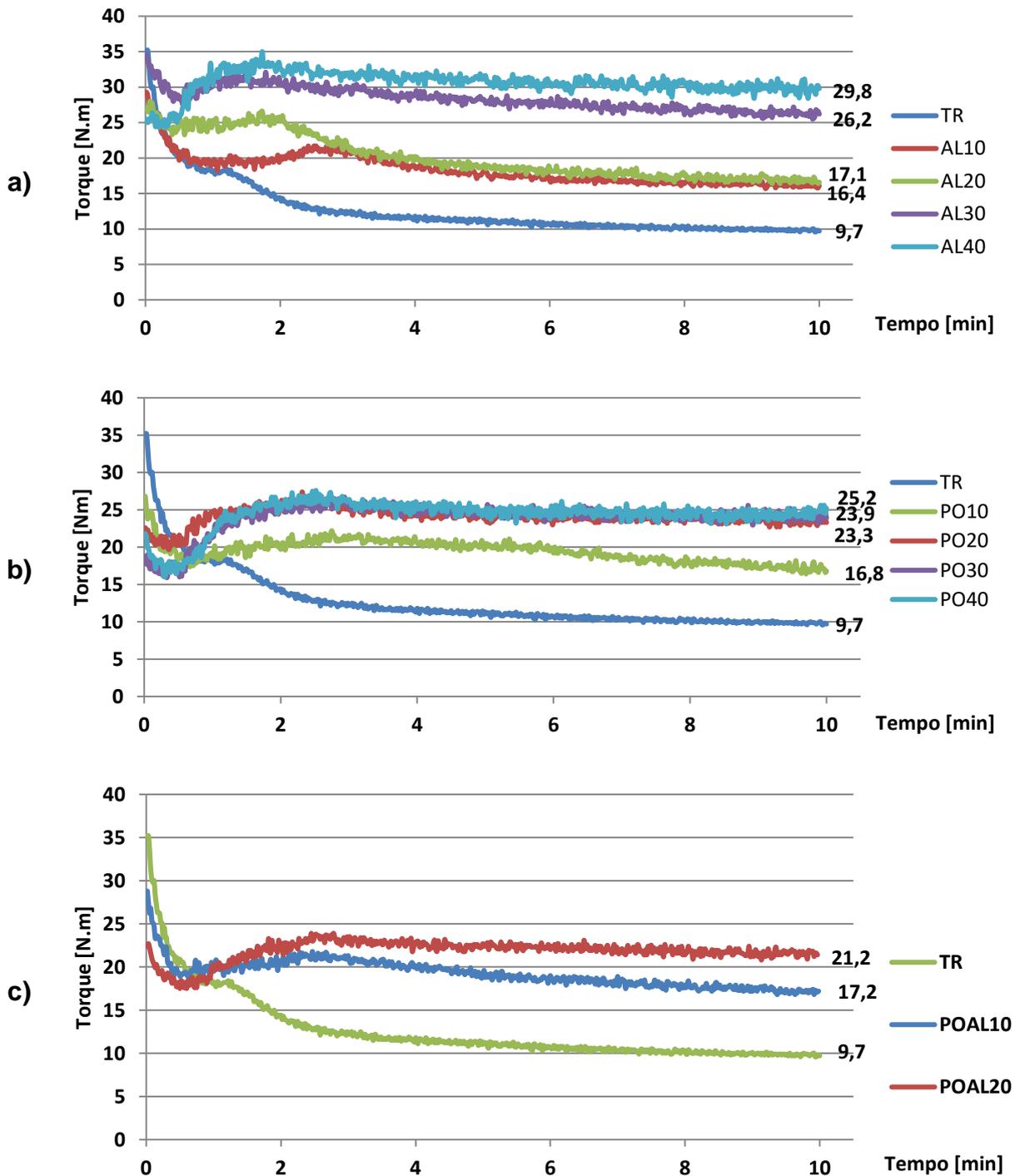
às amostras são, todos, maiores que os do polímero original, o que indica que a inserção de carga aumenta a viscosidade dos compósitos (LUNA, 2017).

Neste sentido, um aspecto a se considerar e que corrobora as observações a respeito do comportamento reológico é o aumento da dificuldade para obtenção dos corpos de prova dos compósitos com 30 e 40% de algodão por injeção. Avaliando o gráfico de variação de torque correspondente, Figura 30a, estes compósitos são os que obtiveram maior incremento no torque, com variações de 16,5 e 20,1 N.m respectivamente. Diferenças entre a viscosidade do compósito e do SBS virgem aparecem também nas outras formulações, mas somente nas mencionadas, com algodão, houve dificuldade no processamento por injeção.

Finkler (2005) avaliou o comportamento reológico por meio de ensaio do índice de fluidez, obtendo resultados semelhantes no que tange a viscosidade de escoamento. A autora sugere que com o aumento do teor de resíduo de fibra têxtil, ocorra uma diminuição dos valores de índice de fluidez dificultando o escoamento na matriz, impedindo a mobilidade das cadeias moleculares, e conseqüente aumento da viscosidade do sistema. Os resultados encontrados indicaram que as misturas contendo até 20% de fibras podem ser processadas, sem dificuldade, por métodos de injeção.

De forma diversa ao resultado encontrado aqui, Castro *et al.* (2013), em seu estudo de biocompósitos com fibras de curauá em matriz de biopolietileno de alta densidade (BPEAD) e polibutadieno líquido hidroxilado (PBHL), mantiveram o teor (30%) de fibras em todas as composições, no entanto comparado aos polímeros puros, observaram comportamento semelhante, no que tange o aumento do torque. Também, Luna (2014) verificou comportamento semelhante quando preparou compósitos de poliestireno com resíduos moídos de calçados.

Figura 30: Reogramas obtidos a partir das amostras preparadas com (a) algodão, (b) poliéster e (c) mistura dos dois têxteis.

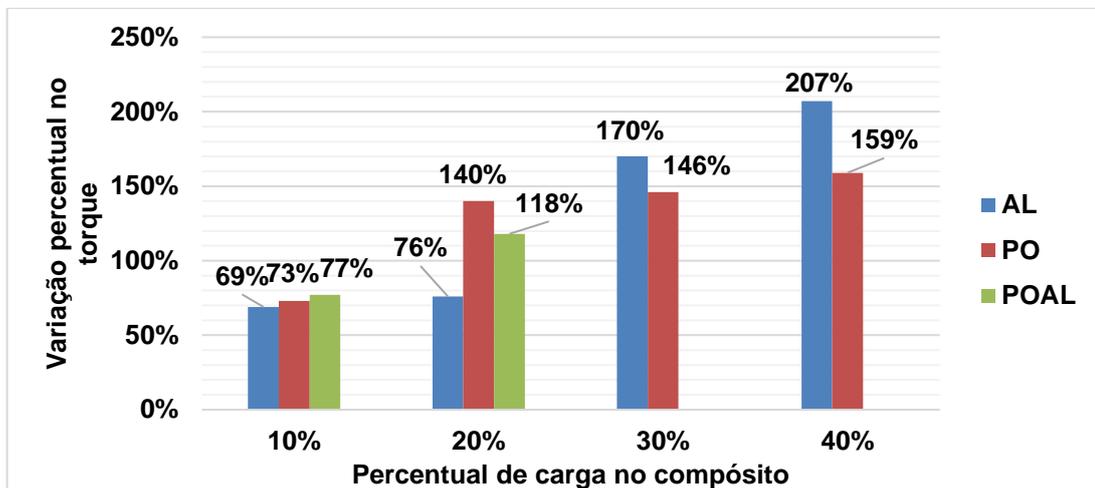


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Outro aspecto que se pode observar é a variação semelhante que a incorporação de 10% de carga na matriz polimérica confere ao comportamento reológico dos compósitos. Todas as três formulações apresentaram incrementos de,

em média 74% no torque, com contribuição quase equivalente de cada composto. Os percentuais de 20% de carga têxtil na matriz polimérica proporcionaram variação mais heterogênea no torque das amostras, com uma variação média de 111% e contribuição majoritária do resíduo de poliéster. Considerando as amostras de 30 e 40% de carga, preparadas somente com algodão e com poliéster, as de 30% apresentaram um incremento no torque de, respectivamente, 170 e 146% e as de 40% de carga, um incremento, respectivamente de 207 e 159%. O gráfico da Figura 31 resume e ilustra estes dados.

Figura 31: Variação percentual do torque em função do percentual de carga no composto.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

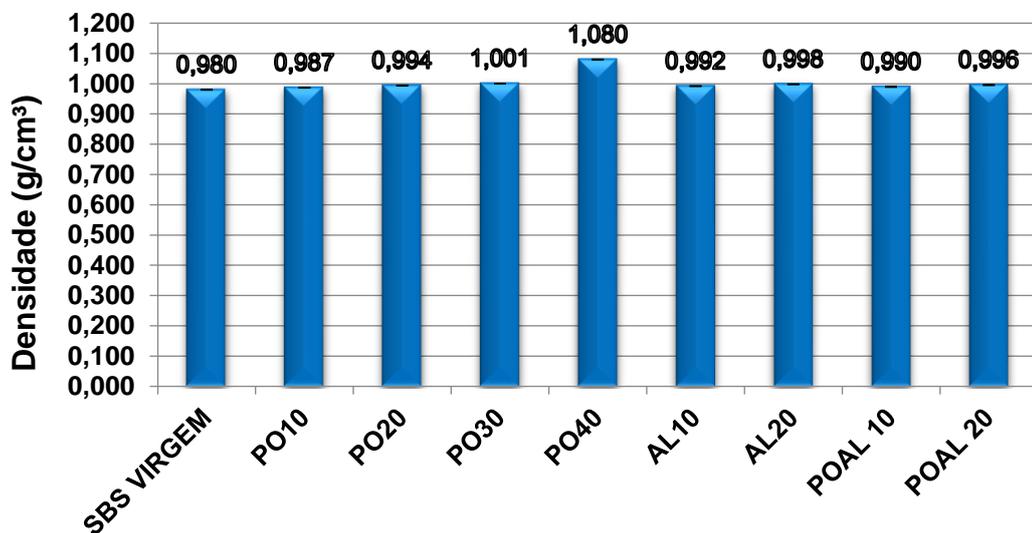
Estes dados sugerem que com 10% de carga têxtil, prevalecem as características reológicas relacionadas à matriz polimérica. Com 20% de carga têxtil, o poliéster exerce maior influência no comportamento reológico. Como não foram encontrados precedentes próximos na literatura para este tipo de questão, sugere-se que nos compósitos contendo 20% de carga, o poliéster seja mais efetivo em termos de interação com a matriz polimérica. Neste caso, o comportamento da mistura poliéster/algodão se comporta de forma semelhante, mas como contém menos poliéster que a amostra com poliéster puro, apresenta um incremento menor. Depois, para os compósitos com 30 e 40 de algodão e poliéster, passam a prevalecer às interações com o algodão.

4.7 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

Segundo Rodolfo Júnior (2010) a densidade ou peso específico de um compósito constituído por dois ou mais componentes, leva em consideração que os volumes individuais de cada um dos componentes são mantidos, o que implica na não interpenetração das fases. Sendo assim o peso específico do compósito será função das frações mássicas dos componentes incorporados.

Observa-se na Figura 32 um acréscimo nos valores de densidade nos compósitos à medida que aumenta o teor de resíduo têxtil, com valor máximo de $1,080 \text{ g/cm}^3$ referente a amostra com 40% de poliéster. Pode-se inferir que nesta propriedade, assim como o dado apresentado por Dreger (2012), que os compósitos apresentaram comportando semelhante à amostra virgem, possibilitando a substituição de até 40% deste material por resíduo têxtil.

Figura 32: Densidade dos compósitos de SBS com resíduos de algodão, poliéster e da mistura algodão/poliéster.

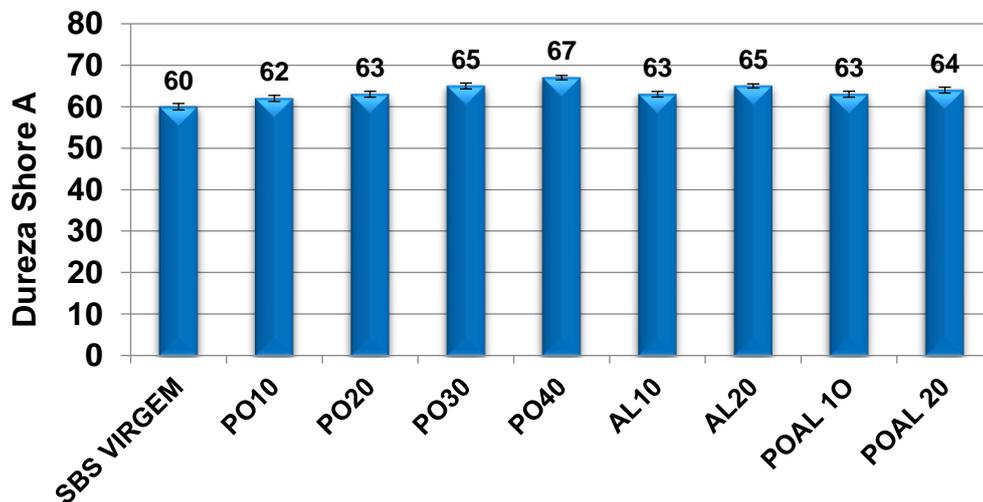


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.8 DETERMINAÇÃO DA DUREZA

Pode-se observar na Figura 33 um acréscimo no valor de dureza com a incorporação dos resíduos têxteis, tanto de poliéster e algodão separadamente, como na mistura destes. Apesar de a dureza aumentar de forma proporcional ao teor de têxteis, a adição destes como carga não influencia significativamente a dureza do material em comparação com a amostra virgem, corroborando com o resultado encontrado por Khan (2012).

Figura 33: Determinação da Dureza.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

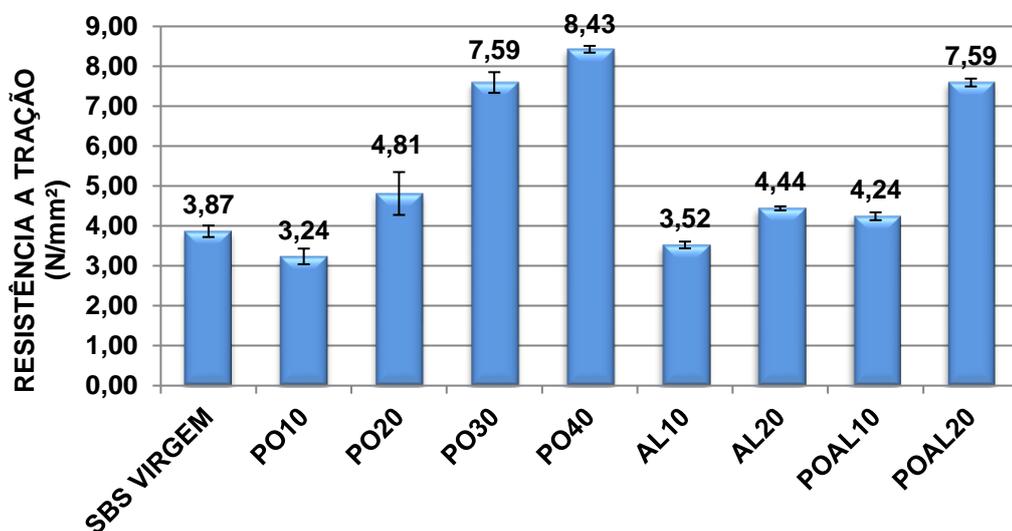
4.9 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO E ALONGAMENTO NA RUPTURA

Nos resultados apresentados na Figura 34, pode-se observar que o acréscimo de resíduos têxteis de algodão ou poliéster ao polímero SBS gera um incremento na resistência a tração a partir de teores superiores a 20%, gerando uma melhora na tração em até 118% quando incorporado 40% de poliéster. Borsoi *et al.* (2011), Iulianelli, Maciel e Tavares (2011) e Khan (2012) corroboram este resultado em seus estudos de adição de fibras naturais, e assim, celulósicas, em polímeros. Estes autores obtiveram incrementos de 27%, 40% e 77% na resistência a tração

respectivamente. De acordo Borsoi *et al.* (2014), com o incremento no teor de fibras, as tensões passam a ser mais uniformemente distribuídas, aumentando assim a resistência do compósito e a rigidez do material, por outro lado, Borsoi *et al.* (2011) sugerem que com a incorporação de somente 10% de fibras, a distribuição não é homogênea, com muitos espaços vazios sem fibras, o que pode justificar aqui a redução na tração nos compósitos com 10% de resíduos. Robinson (2016) em seu estudo desenvolveu material para palmilhas de montagem somente a partir de resíduos têxteis de algodão, poliéster, laminado sintético e couraça, sem matriz polimérica virgem, obtendo resultados entre 6,9 a 7,1 N/mm² na resistência a tração. Resultados considerados satisfatórios pelo autor, que afirma que o valor mínimo recomendado para materiais de palmilha de montagem é de 7 N/mm². Dito isto, é possível sugerir que as formulações com 30 e 40% de poliéster, bem como a de 20% de algodão/poliéster estariam aptas para este mesmo fim.

Outro aspecto a se considerar é que não houve diferença significativa nos valores de tração entre os compósitos de poliéster e de algodão. Sendo importante ressaltar que esta comparação foi averiguada somente nas amostras com 10% e 20% de resíduos, pelo fato de que não foi possível obter os CP de algodão com 30% e 40%. Fato este, justificado na análise reológica, com o aumento do torque nestes compósitos, inferindo um aumento na viscosidade, e conseqüente perda de fluidez, dificultando o preenchimento do molde dos CP no processo de injeção, conforme Figura 35.

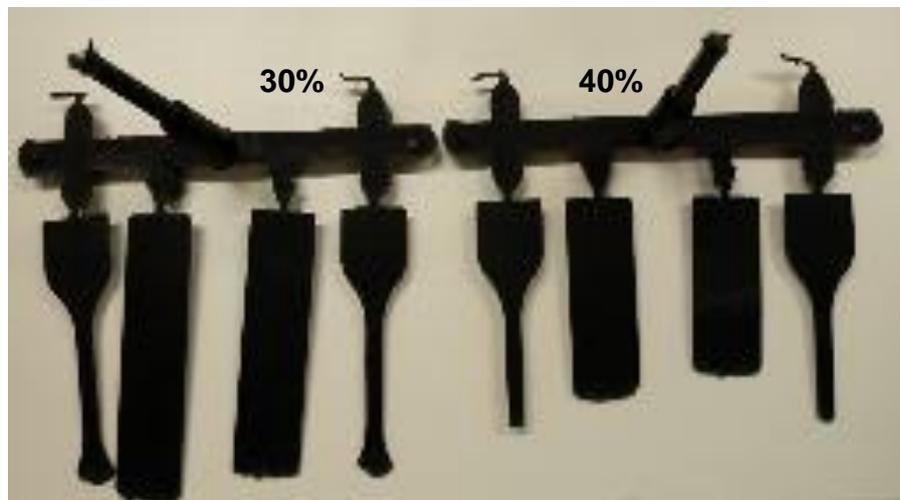
Figura 34: Resistência à tração.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Em relação aos compósitos com a mistura dos resíduos têxteis de algodão e poliéster, identificados como POAL, observa-se também o acréscimo na resistência à tração em comparação ao composto virgem, bem como aos compósitos dos resíduos em separados. Este resultado corrobora com a constatação de Ibrahim *et al.* (2013) que descreve que a mistura de fibras celulósicas e de poliéster podem ampliar as propriedades funcionais e de desempenho atendendo a demanda por materiais multifuncionais inovadores.

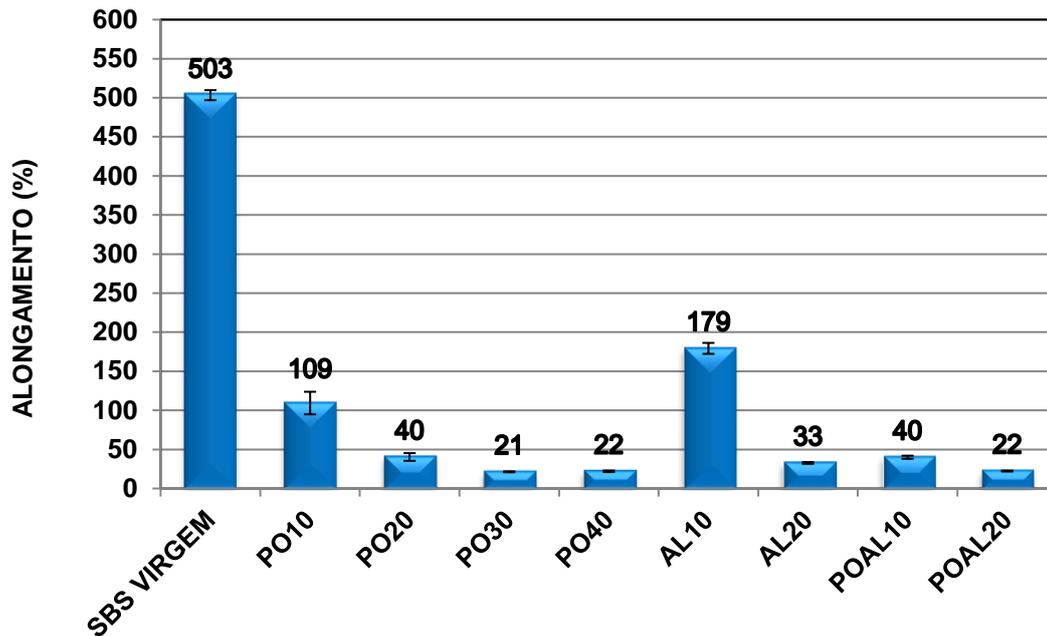
Figura 35: Corpos de prova com 30 e 40% de resíduo de algodão.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Quanto à resistência ao alongamento, pode-se observar na Figura 36, que de maneira inversa aos resultados de tração, o incremento no teor de resíduos têxteis, gera um decréscimo significativo no percentual de alongamento. Khan *et al.* (2012), em seu estudo de compósitos de PVC reforçados com de fibras de juta, também obtiveram decréscimo nos valores de alongamento a medida que se aumentavam os teores de fibras, chegando a uma perda de 61% da propriedade no compósito com 60% de fibra. Este evento de perda na propriedade de alongamento também foi observado por Iulianelli, Maciel e Tavares (2011) que estudaram a caracterização de compósitos de PVC com fibras naturais de Cumbaru, obtendo uma perda de aproximadamente 90% no alongamento nos compósitos com 20% de fibra.

Figura 36: Alongamento na ruptura.

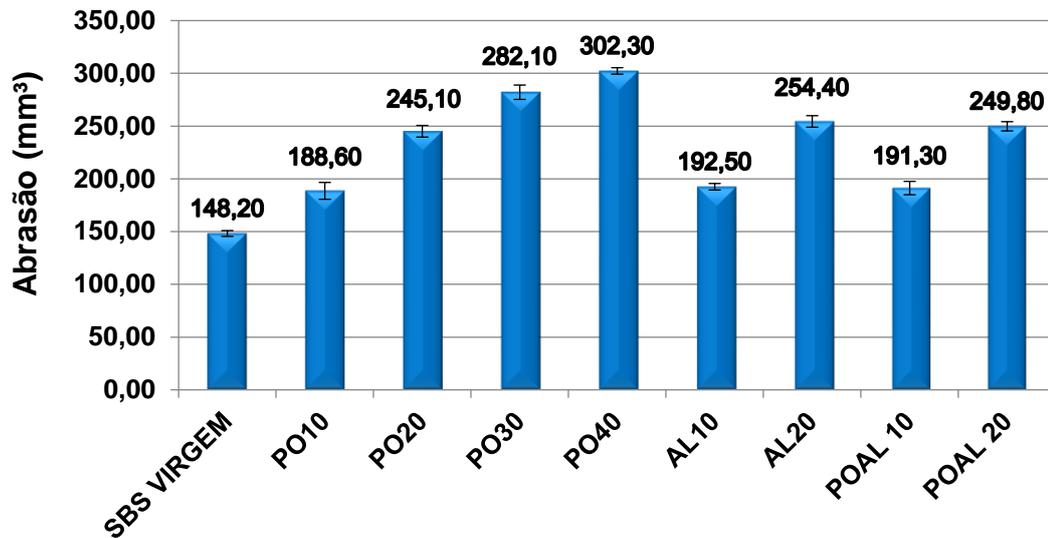


Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

4.10 Determinação da resistência ao desgaste por abrasão

Pode-se observar na Figura 37 que a abrasão aumenta de forma gradativa em relação ao aumento do teor de têxteis. De outra forma, pode-se dizer que a resistência à abrasão diminui com o incremento dos resíduos, independente da natureza dos mesmos. Este resultado diverge do encontrado por Finkler (2005) em seu estudo de incorporação de têxteis de algodão e acrílico em matriz de polietileno de alta densidade (PEAD). Neste estudo a autora afirma que a resistência à abrasão não foi influenciada pelo acréscimo em até 50% de têxteis. Já Khan *et al.* (2012) sugerem que uma maior porcentagem de têxteis, faz com que a matriz polimérica não seja suficiente para cobrir todas as fibras, inferindo uma possível diminuição das propriedades mecânicas. Assim, o autor sugere que um aumento da perda de volume por abrasão pela incorporação dos resíduos têxteis pode ser atribuído ao fato dos mesmos não estarem bem aderidos à matriz polimérica, ocasionando o deslocamento dessa matéria pela força de fricção estabelecida pelo teste, diminuindo assim a massa e o volume do corpo de prova.

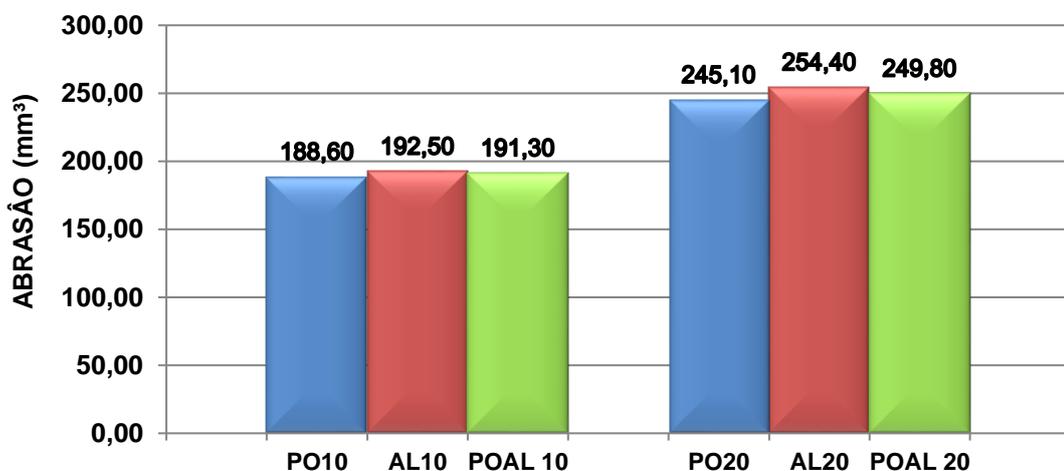
Figura 37: Resistência a Abrasão.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

Comparando os compósitos de acordo com os teores equivalentes de têxteis, pode-se afirmar que os mesmos apresentaram comportamento semelhante, conforme pode ser observado na Figura 38. De acordo com Ambrósio *et al.* (2009) o material adequado para ser utilizado na construção do calçado deve apresentar abrasão inferior a 400 mm³, sendo o mais indicado aquele que apresente perda máxima em torno de 300 mm³. Nesse sentido é possível sugerir que todos os compósitos, inclusive o com 40% de poliéster atendem este parâmetro.

Figura 38: Resistência a abrasão entre teores de resíduos equivalentes.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2018.

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho corroboram o objetivo geral do mesmo, desenvolver compósitos de SBS com a incorporação de resíduos têxteis. Também foram atingidos os objetivos avaliando a influência da variação do teor dos resíduos têxteis nos compósitos frente ao polímero puro.

Foram preparadas 8 amostras variando resíduos de algodão e poliéster com teores entre 10% a 40%, e 2 amostras com a mistura 50/50 de algodão/poliéster nos teores de 10 e 20%.

Na caracterização dos resíduos têxteis observaram-se através da microscopia ótica em todos os casos, fibras em forma de feixes e fibras soltas com orientação aleatória, apresentando uma distinção no diâmetro e brilho das fibras. As fibras de algodão apresentaram diâmetros uniformes e certa opacidade, enquanto as de poliéster apresentaram fibras com diâmetros distintos, bem como brilho aparente.

A microscopia eletrônica de varredura evidenciou o recobrimento das fibras têxteis em ambos os casos, o que sugere compatibilidade entre a matriz polimérica e as cargas e permite sugerir que se tenha obtido efetivamente um compósito e não somente uma mistura de componentes. Esta observação é reforçada por outras análises no sentido de definir os materiais preparados como compósitos propriamente ditos.

A espectroscopia no infravermelho mostra que as cargas foram efetivamente incorporadas à matriz polimérica e permite inclusive observar questões relacionadas à quantidade de carga no compósito, embora não se tenha realizado nenhuma avaliação quantitativa no contexto desta técnica.

O comportamento reológico evidenciou aumento da viscosidade dos compósitos na medida em que se aumentou a quantidade de carga têxtil, o que se refletiu em dificuldade na injeção dos compósitos de algodão AL30 e AL40, inferindo uma necessidade de modificação no processamento dos resíduos como, por exemplo, a redução das partículas através de micronização, e/ou utilização de agentes compatibilizantes.

Sobre as características físicas e mecânicas dos compósitos destacam-se a densidade ou peso específico e a dureza, que não foram alterados significativamente, apesar do pequeno acréscimo de acordo com a incorporação dos

têxteis. Outra característica importante a se ressaltar é o aumento da resistência à tração. Este dado especificamente, associado à redução do alongamento na ruptura, caracterizam efetivamente as formulações preparadas nesta dissertação como compósitos. Este dado encontra subsídio na literatura, que apresenta diversos exemplos de materiais poliméricos incorporando fibras naturais e sintéticas. Com respeito à diminuição da resistência ao alongamento na ruptura, que sofreu decréscimo significativo, as observações encontram fundamento na literatura que menciona que o agente de reforço em matriz polimérica possui alongamento inferior ao da mesma.

Uma característica tão importante quanto estas, senão mais, em se tratando de componente para construção do calçado é a resistência à abrasão e, neste sentido, se obteve perda nesta propriedade. Esta constatação encontra precedentes na literatura como decorrência da incorporação da carga têxtil, mas ainda dentro dos limites aceitáveis para esta finalidade, em todas as formulações.

Por fim, pode-se concluir que o presente trabalho apresenta viabilidade técnica para a preparação e dos compósitos com rejeitos têxteis, com possibilidade de reintrodução destes como alternativa na produção de componentes no próprio cluster industrial gerador do resíduo. Dentro deste contexto ressalta-se a importância do desenvolvimento sustentável, incorporando um novo processo tecnológico ambientalmente correto, que além do ganho ambiental com a minimização deste passivo, tende a reduzir custos de produção num mercado cada vez mais competitivo.

6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar aditivos compatibilizantes, a fim de avaliar uma melhor interação entre os componentes, e respectiva melhora das propriedades;
- Reduzir o tamanho da partícula dos resíduos de algodão e poliéster através de micronização para o desenvolvimento destes compósitos;
- Avaliar propriedades térmicas dos compósitos produzidos;
- Utilizar matriz polimérica SBS reciclada;
- Produzir componentes da construção do calçado (entressola, palmilha, contraforte, couraça) com este compósito, a fim de avaliar a sua aplicabilidade;
- Verificar a viabilidade econômica deste estudo dentro do cluster industrial;
- Avaliar a incorporação destas fibras em outras matrizes poliméricas.

REFERÊNCIAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Estudo prospectivo: cadeia coureiro, calçadista e artefatos**. Brasília, DF: ABDI, 2008. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Estudo/volume%20iv.pdf>. Acesso em: 12 de out 2017

AMBRÓSIO, J. D. *et al.* **Desenvolvimento de Compósitos de Couro Reciclado com Termoplásticos em Extrusora com Rosca Simples**. Disponível em: <<http://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/876.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

ASSINTECAL - Associação Brasileira de Empresas de Componentes para Couro, Calçados e Artefatos. **Cartilha de Adesivos**. Disponível em: <<http://www.assintecal.org.br/servicos/institucional/grupos-setoriais>>. Acesso em 04 de abr. 2017.

_____. **Estudo de Quantificação**. Disponível em: <<http://www.assintecal.org.br/servicos/inteligencia/estudo-de-quantificacao>>. Acesso em 24 de mar. 2017

ASSIS, Adriana Helfenberger Coleto. **Avaliação das mudanças ocorridas em fibras de poliéster submetidas a tratamento alcalino e enzimático**. 2012. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CALÇADOS (ABICALÇADOS). **Relatório setorial 2016**. Disponível em: <<http://www.abicalcados.com.br/>> Acesso em: 24 mar. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 2781**: Borracha vulcanizada ou termoplástica - Determinação da densidade, Rio De Janeiro; 2015

_____. **NBR 13370**: Não tecido - Terminologia, Rio de Janeiro; 2017.

_____. **NBR 14454:** Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da dureza Shore A, Rio De Janeiro; 2007.

_____. **NBR 14459:** Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura, Rio De Janeiro; 2008.

_____. **NBR 14738:** Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da resistência ao desgaste por abrasão especial - Perda de espessura, Rio De Janeiro; 2015.

_____. **TB 392:** Materiais têxteis - Ligamentos fundamentais de tecidos planos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. D3878 – 07: **Standard Terminology for Composite Materials.** West Conshohocken, 2007. 5p.

AZAPAGIC, A.; EMSLEY, A.; HAMERTON, I. **Polymers: The Environment and Sustainable Development.** West Sussex, England: Wiley, 2003.

BICALHO, Luciana Assumpção *et al.* **Monitoramento em tempo real do comportamento termo-óptico de fibras de polietileno tereftalato.** 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281902620_Monitoramento_em_tempo_real_do_comportamento_termo-optico_de_fibras_de_polietileno_tereftalato>. Acesso em: 10 jan. 2018

BODUR, Mehmet Safa *et al.* A new approach for the development of textile waste cotton reinforced composites (T-FRP): laminated hybridization vs. coupling agents. **Journal of Polymer Engineering**, v. 34, n. 7, p.639-648, 2014.

BORSOI, Cleide *et al.* **Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço.** *Polímeros*, v. 21, n. 4, p.271-279, 2011.

BORSOI, Cleide *et al.* Behavior in simulated soil of recycled expanded polystyrene/waste cotton composites. **Materials Research**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.275-283, fev. 2014. FapUNIFESP (SciELO). Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-14392014000100037>. Acesso em: 10 jan. 2018

CALANDRO, M. L.; CAMPOS, S. H. **Arranjo Produtivo Local (APL) Calçadista Sinos-Paranhana — RS: análise do segmento de calçados de alto valor agregado.** Relatório II. Porto Alegre: FEE, 2015.

CALLISTER JUNIOR, William D. **Materials science and engineering: an introduction.** 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007. 975 p.

CAMPOS, Marcelo C. *et al.* Caracterização da degradação superficial da interface reforço – Matriz de materiais compósitos poliméricos. **Revista Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 34, p. 63 - 67. 2016.

CANEDA, Luiz Carlos. **Secagem de Materiais Têxteis.** 2016. 117f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2016.

CARNEIRO, J.O. *et al.* Development of photocatalytic asphalt mixtures by the deposition and volumetric incorporation of TiO₂ nanoparticles. **Construction and Building Materials**, v. 38, p.594-601, 2013.

CASALI, André Oliveira *et al.* Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p.130-138, 2009.

CASTRO, Daniele O. *et al.* Preparação e caracterização de biocompósitos baseados em fibra de curauá, biopolietileno de alta densidade (BPEAD) e polibutadieno líquido hidroxilado (PBHL). **Polímeros**, v. 23, n. 1, p.65-73, 2013.

CHAN, Hing K.; *et al.* Green Marketing and Its Impact on Supply Chain Management in Industrial Markets. **Industrial Marketing Management**, v. 41, n. 04, p. 557-562, 2012.

CHUAYJULJIT, Saowaroj; SU-UTHAI, Siriwan; CHARUCHINDA, Sireerat. Poly (vinyl chloride) film filled with microcrystalline cellulose prepared from cotton fabric waste: properties and biodegradability study. **Waste Management & Research**, v. 28, n. 2, p.109-117, 2009.

CORRÊA, Abidack Raposo. **O complexo coureiro-calçadista brasileiro**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 14, p.65-92, 2001.

COSTA, Achyles Barcelos. **Instituições e Competitividade no Arranjo Calçadista do Vale dos Sinos**. Análise Econômica, Porto Alegre, v. 52, p.253-283, 2009.

DAL PIVA, Alaxendro Rodrigo; PILLATI, Luiz Alberto; KOVALESKI, João Luiz Kovalski. **A Gestão Ambiental: melhoria na qualidade de vida nas organizações**. ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2006.

DIAS, Genebaldo Freire. **Educação Ambiental: Princípios e práticas**. 10 ed. São Paulo: Editora Gaia, 2008.

DREGER, Ademir Anildo. **Incorporação de laminados de PVC moído em formulações de compósitos de PVC com possível aplicação na fabricação de solados**. 2012. 83f. Dissertação (Mestrado profissional em Tecnologia dos Materiais e Processos Industriais) – Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2012.

DRZAL, Lawrence T. Interface and Interphase. In: MIRACLE, Daniel B.; DONALDSON, Steven L. **Handbook: Composites**. Ohio: ASTM International, 2001. Cap. 21. p. 169-178.

EAST, A. J. Polyester Fibres. In: MCINTYRE, J. E. (Ed.). **Synthetic Fibres: Nylon, Polyester, Acrylic, Polyolefin**. New York: Crc Press, 2005. Cap. 3. p. 95-157.

FELTRAN, Murilo B.; DIAZ, Francisco R. V. Compósitos de PVC Reforçados com Fibra de Vidro: Utilização de Técnicas de Processamento Convencionais da Indústria Brasileira. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 17, n. 4, p.276-283, 2007.

FERREIRA, Fernanda Cristina Silva. **Avaliação dos Efeitos da Aplicação da Enzima Celulase nas Propriedades de Substratos Têxteis de Algodão**. 2012. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – UFSC, Florianópolis, SC, 2012.

FINKLER, Maira. **Desenvolvimento de Compósitos com Base em Rejeito de Tecidos de Algodão e Acrílico em Matriz de Polietileno de Alta Densidade**. 2005. 127f. Dissertação (Mestrado em Materiais) – UCS, Caxias do Sul, RS, 2005.

FLACH, Michel Vinicius. **Reciclagem de resíduos das indústrias calçadista e têxtil para a obtenção de materiais reciclados**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2015.

GARCIA, M.; GARMENDIA, I.; GARCIA, J. Influence of Natural Fiber Type in Eco-Composites. **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 107, 2008.

GOMES, A. V. S; COSTA, N. R. V.; MOHALLEM, N. D. S. Os Tecidos e a Nanotecnologia. **Química Nova na Escola**, v. 38, n. 4, p.288-296, 2016.

GUIMARÃES, Bárbara Maria Gama. **Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae**. 2014. 169 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda) – Universidade de São Paulo. São Paulo SP, 2014.

GUTAROWSKA, B.; MICHALSKI, A. Microbial Degradation of Woven Fabrics and Protection Against Biodegradation. **Woven Fabrics**. INTECH Open Access Publisher; 2012. p. 267– 96.

IANCU, Lorena *et al.* Maleinized Linear Styrene-butadiene Block-copolymers. **Materiale Plastice**, v. 50, n. 2, p.137-140, 2013.

IBRAHIM, N. A. *et al.* **Multifunctional Finishing of Cellulosic/Polyester Blended Fabrics**. Carbohydrate Polymers, v. 97, p. 783-793, 2013.

IBRAHIM, B. A.; KADUM, K. M. Morphology Studies and Mechanical Properties for PS/SBS Blends. **International Journal of Engineering & Technology**. Bagdá, p. 19-27. 2012.

IULIANELLI, Gisele Cristina V.; MACIEL, Paula de M. Cc.; TAVARES, Maria Inês B. Preparation and Characterization of PVC/Natural Filler Composites. **Macromolecular Symposia**, v. 299-300, n. 1, p.227-233, 2011.

JARDIM, Arnaldo; YOSHIDA, Consuelo; FILHO, José Valverde Machado. **Política Nacional, Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. 1 ed. Barueri: Manole, 2012.

KHAN, Ruhul A. *et al.* **Fabrication and Characterization of Jute Fabric-Reinforced PVC-based**. Journal of Thermoplastic Composite Materials, v. 25, p.45-58, 2012.

LEE, Michael James; RAHIMIFARD, Shahin. An air-based automated material recycling system for postconsumer footwear products. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 69, p.90-99, dez. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912001693>>. Acesso em: 14 out. 2016.

LINDEN, Angela Eloisa. **Framework para sistema de gestão de resíduos sólidos em indústria de calçados: contribuição para o desempenho ambiental**. 188f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Feevale, Novo Hamburgo-RS, 2010.

LUNA, Carlos Bruno Barreto *et al.* Comportamento reológico, mecânico, termomecânico e morfológico de blendas de poliestireno/resíduo de calçados com diferentes granulometrias. **Tecnologia em Metalurgia Materiais e Mineração**, v. 14, n. 3, p.219-226, 2017.

MANGAT, Muhammad M.A. **Structure and Properties of Cotton Fiber**: A Literature Review. 2009. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/doc/30439788/Structure-and-Properties-of-Cotton-Fiber-A-Literature-Review>> Acesso em: 27 de nov. 2017.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. **Meio ambiente, poluição e reciclagem**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.

MARONI, Laerte Guião et al. **ABINT - Associação Brasileira das Indústrias de Não-Tecidos e Tecidos Técnicos**: Classificação, identificação e aplicações de não-tecidos. 1999.

MARTIN, A. R. *et al.* Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. **Polímeros**, v. 19, n. 1, p.40-46, 2009.

MATTHEWS, F.L; RAWLINGS, R.D. **Composite Materials: Engineering and Science**. New York: Chapman & Hall, 1994.

McCRUM, N. G.; BUCKLEY, C. P.; BUCKNALL, C. B. **Principles of Polymer Engineering**. 2. ed. New York: Oxford University Press Inc, 2007. 447 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>> Acesso em 20 mar. 2017.

MOHAMMED, Layth *et al.* A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, p.1-15, 2015.

MORAES, Mauro. **CLUSTERS CALÇADISTAS: Brasil, um grande player mundial do calçado**. 2014. Disponível em: <<https://couromoda.com/noticias/ler/clusters-calcadistas-brasil-um-grande-player-mundial-do-calcado/>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

PORTELLA, Emanuel Henrique et al. Influence of Stacking Sequence on the Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Cotton/Glass Fiber Reinforced Polyester Composites. **Materials Research**, v. 19, n. 3, p.542-547, 2016.

REICHERT, Iara Krause. Dossiê Técnico: **Aplicação do conceito de ecodesign em calçados**. Centro Tecnológico do Calçado, SENAI-RS, 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>. > Acesso em 20 mar. 2017.

RIBEIRO, Daniel Vêras; MORELLI, Márcio Raymundo. **Resíduos sólidos: problema ou oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

ROBINSON, Luiz Carlos. **Estudo sobre o nível de evolução da indústria calçadista para o desenvolvimento de calçados ecológicos**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2009.

ROBINSON, Luiz Carlos. **Desenvolvimento de material para palmilhas de montagem com resíduos têxteis**. 2016. 162 f. Tese (Doutorado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2016.

RODOLFO JUNIOR, Antonio. **Nanocompósitos de PVC, argila organicamente modificada e óxidos metálicos: estudo do processo de preparação e propriedades de combustão e emissão de fumaça**. 2010. 226 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Área de Concentração Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. Poli(tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. **Polímeros**, v. 19, n. 2, p.121-132, 2009.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. Desenvolvimento sustentável: uma perspectiva econômico-ecológica. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p.65-92, 2012.

SAPUAN, S.M. Introduction. **Composite Materials**, p.1-27, 2017.

SENAI (Org.). **Manual Técnico: Têxtil e Vestuário**. São Paulo: Senai, 2015. 25 p. Disponível em: <https://issuu.com/senaitextilvestuario/docs/manual03_malharia>. Acesso em: 14 set. 2017.

SILVA, Adriana Hoenisch da. **Avaliação ambiental do setor calçadista sob a ótica da gestão de resíduos sólidos**. 2016. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto Ciências Exatas e Tecnológicas, UNISINOS, São Leopoldo, 2016.

TREIN, Fabiano André. **Influência do uso de resíduos de EVA e de têxteis recobertos com poliuretano como agregado leve em argamassas álcali ativadas**. 2015. 191 f. Tese (Doutorado em Qualidade Ambiental) – Universidade Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2015.

UDALE, Jenny. **Fundamentos de Design e Moda: Tecidos e moda**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

VIANA, Fernando Luiz. **A indústria de calçados no Nordeste: características, desafios e oportunidades**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2006. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/projwebren/exec/livroPDF.aspx?cd_livro=8> Acesso em: 24 mar. 2017.

ZOTTIS, Alexandra; RUSSO, Denise; ARAUJO, Margaret Panerai. **Sustentabilidade: uma abordagem social**. Novo Hamburgo: Feevale, 2009 Disponível em: <<http://www.feevale.br/site/files/documentos/pdf/36866.pdf>> Acesso em 10 de out. 2016.

ZOU, Y.; REDDY, N.; YANG, Y. Reusing Polyester/Cotton Blends Fabrics for Composites. **Composites Part B: Engineering**, v. 42, n. 04, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836811000503>> Acesso em 14 de nov. 2017.