

unesp  UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

Tamires Polydoro Saldanha Santos

**RECICLAGEM DE POLIESTIRENO EXPANDIDO: COMPÓSITO COM FIBRAS DE
ALGODÃO PARA A CONFEÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO**

Guaratinguetá

2013

Tamires Polydoro Saldanha Santos

**RECICLAGEM DE POLIESTIRENO EXPANDIDO: COMPÓSITO COM
FIBRAS DE ALGODÃO PARA A CONFECÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Materiais.

Orientadora: Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini

Co-Orientador: Prof. Maria Odila Hilário Cioffi

Guaratinguetá

2013

S237r

Santos, Tamires Polydoro Saldanha

Reciclagem de poliestireno expandido: compósito com fibras de algodão para a confecção de placas de circuito impresso / Tamires Polydoro Saldanha Santos – Guaratinguetá : [s.n], 2013.

55 f. : il.

Bibliografia: f. 50-55

Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientadora: Profª Drª Kelly Cristina Coelho de Carvalho Benini

Coorientadora: Profª Drª Maria Odila Hilário Cioffi

1. Materiais compostos 2. Poliestireno I. Título

CDU 620.1

**RECICLAGEM DE POLIESTIRENO EXPANDIDO: COMPÓSITO COM
FIBRAS DE ALGODÃO PARA A CONFECCÃO DE PLACAS DE CIRCUITO
IMPRESSO**

Tamires Polydoro Saldanha Santos

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUADO EM
ENGENHARIA DE MATERIAIS"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS


Prof. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



KELLY CRISTINA COELHO DE CARVALHO BENINI
Orientadora/UNESP-FEG



THATIANE BROCKS
UNESP-FEG



MARCOS YUTAKA SHIINO
UNESP-FEG

Novembro de 2013

DADOS CURRICULARES

Tamires Polydoro Saldanha Santos

NASCIMENTO	30.12.1990 – Taubaté / SP
FILIAÇÃO	Nioraldo Saldanha Santos Maria Rosemira Polydoro Santos
2008/2013	Curso de Graduação Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Guaratinguetá

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, aos meus pais pelo apoio, força e incondicional dedicação para comigo.

Ao meu namorado por ter estado sempre ao meu lado, me apoiando e motivando ao longo de toda minha trajetória acadêmica.

À minha professora orientadora Maria Odila H. Cioffi pelo acompanhamento, dedicação e oportunidades dadas a mim durante todos os anos de iniciação científica.

À minha orientadora Kelly Benini por todo suporte, conselhos, paciência e empenho para a realização deste trabalho.

À minha amiga Paula Schmidt pelo apoio, ajuda, empenho e incentivo ao longo de todo o trabalho.

Às minhas amigas Kamila, Mabile, Suelen e Taciana por terem estado comigo ao longo de toda minha trajetória na faculdade e terem dividido momentos tão especiais de alegria, além de sempre terem me apoiado.

A todas as moradoras da República Só Fadinhas e à dona Cidinha que têm sido minha segunda família desde 2009.

Ao Cnpq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica, através da qual obtive incentivo para o andamento de minha pesquisa e também encontrei portas abertas para participação em congressos.

A todas as pessoas que fizeram e fazem parte de minha vida de alguma forma e me dão força para seguir meu caminho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e da persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

SANTOS, T. P.S. **Reciclagem de poliestireno expandido: Compósito com fibras de algodão para a confecção de placas de circuito impresso.** 2013. 55 f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Nesta pesquisa foram desenvolvidos compósitos poliméricos reforçados com resíduos de fibras de algodão, provenientes da indústria têxtil, com a finalidade de aplicação na confecção de placas de circuito impresso. A matriz termoplástica utilizada foi o poliestireno expandido reciclado via fusão. Para a obtenção dos compósitos com 10% e 15% de algodão foram escolhidos resíduos, tanto de poliestireno expandido (EPS) quanto de fibras de algodão, como incentivo à reciclagem e reutilização de refugos domésticos e industriais. As propriedades mecânicas dos compósitos foram analisadas através de ensaios normalizados de resistência à tração e resistência à flexão. Os compósitos foram caracterizados por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Termogravimetria (TGA/DTG), Calorimetria exploratória diferencial (DSC) e Análise dielétrica. As análises de resultados mostraram que a porcentagem de fibras no compósito influenciou diretamente as propriedades térmicas e mecânicas do mesmo.

PALAVRAS-CHAVE: Fibras de algodão, poliestireno expandido(EPS), compósito, placas de circuito impresso.

SANTOS, T.P.S. Recycling Expanded Polystyrene: Cotton fibers composites for printed circuit boards. 2013. 55 f. Undergraduate Work of Materials Engineering – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

In this work polymeric composites reinforced with cotton fibers, from the textile industry, were developed in order to manufacture printed circuit boards. It was used expanded polystyrene (EPS) as a thermoplastic matrix by melting it. For the obtention of 10% and 15% of fiber volume fraction in cotton fibers composites, it was used wasted cotton fibers as an incentive of recycling and reusing of the domestic and industrial wastes as well as for Expanded Polystyrene(EPS). The mechanical properties of the composites were evaluated by tensile and flexural strength from standardized test methods. Composites were characterized by a Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetry (TG/DTG), Differential Scanning Calorimetry (DSC) and dielectric analysis. The analysis of the results showed that fiber in the composite directly influenced in the thermal and mechanical properties.

KEYWORDS: Cotton fibers, expanded polystyrene (EPS), composite, printed circuit boards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura química da celulose (POLLETO, 2009).....	15
Figura 2- (a) Fruto do algodão (b) Algodão colhido (c) Plantação de algodão	16
Figura 3- Processo de fabricação dos materiais a base de poliestireno expandido (EPS) (GRUPO POLIMEX, 1997).....	23
Figura 4 - Placas de circuito impresso confeccionadas com : (a) Fibra de vidro, (b) Fenolite e (c) circuito desenhado em filme de poliéster e posteriormente impresso em placa cobreada.	25
Figura 5 - Etapas envolvidas na reciclagem do EPS até o processamento do material compósito.	27
Figura 6 - Fibra de algodão descartada pela indústria têxtil antes da limpeza.	28
Figura 7 – EPS triturado e aglutinado.	28
Figura 8 - Cápsula de mistura do homogeneizador de plásticos.....	29
Figura 9 – Calandras.....	29
Figura 10 - Triturador	30
Figura 11 - Máquina injetora de plásticos	30
Figura 12 - Etapas para aglutinação do EPS: (a) em pedaços (b) triturado antes da aglutinação (c) após estufa, aglutinado.....	33
Figura 13 - Fibras de algodão: (a) antes da limpeza (b) após lavagem e filtragem	33
Figura 14 - Material compósito triturado, obtido através da fusão do Poliestireno Expandido reforçado com 15% em massa de fibras de algodão.....	34
Figura 15 - Corpos de prova de flexão e tração dos compósitos de EPS reciclado reforçado com : (a) 0% em massa de fibras de algodão (b) 10% em massa de fibras de algodão e (c) 15% em massa de fibras de algodão.....	34
Figura 16 - Curvas Termogravimétricas do EPS reciclado(puro), fibra de algodão e dos compósitos com 10% e 15% de fibras de algodão.	35
Figura 17 - Curvas DTG do EPS reciclado(puro), fibra de algodão e dos compósitos com 10% e 15% de fibras de algodão.	36
Figura 18 - Curva DSC primeira varredura de aquecimento dos compósitos 10% e 15% de fibras de algodão e do EPS reciclado (puro).....	38
Figura 19 - Resistência à flexão do EPS reciclado(puro) e dos compósitos.	41
Figura 20 - Módulo em flexão do EPS reciclado(puro) e dos compósitos.....	42
Figura 21 - Resistência á tração do EPS puro e dos compósitos	42
Figura 22 - Módulo de tração dos compósitos	43
Figura 23 - Imagens de MEV da superfície de fratura em flexão dos compósitos de EPS reforçados: (a), (b) com 10% e (c), (d) com 15% de fibras de algodão.	45
Figura 24 - Imagens de MEV de corpos de prova de tração dos compósitos de EPS reforçados: (a) ,(b), (c) com 10% e (d),(e),(f) com 15% de fibras de algodão	46
Figura 25 - Imagem de MEV de corpo de prova de tração, compósito 10%	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química da fibra de algodão (BAJWA et al., 2011).	15
Tabela 2- Produção mundial de algodão nos últimos anos, em milhões de toneladas (ABRAPA, 2013).	17
Tabela 3- Distribuição do consumo de algodão mundial nos últimos anos, em milhões de toneladas (ABRAPA, 2013).	17
Tabela 4 - Zonas de aquecimento durante a injeção.	30
Tabela 5- Valores extraídos dos gráficos TGA e DTG	37
Tabela 6 - Dados obtidos a partir de análise de DSC	39
Tabela 7 - Dados obtidos a partir do ensaio de flexão em três pontos e tração.	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	13
1.2	POLIESTIRENO EXPANDIDO.....	13
1.3	FIBRAS DE ALGODÃO.....	14
1.3.1	Características da fibra	14
1.3.2	Produção mundial	16
1.4	COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS..	18
1.5	RECICLAGEM.....	21
1.5.1	Reciclagem de polímeros	21
1.5.2	Reciclagem do poliestireno	22
1.6	PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO.....	25
2	OBJETIVO	26
3	METODOLOGIA	27
3.1	MATERIAIS.....	27
3.1.1	Tratamento da fibra têxtil	27
3.1.2	Aglutinação	28
3.1.3	Fusão	28
3.2	CARACTERIZAÇÃO.....	31
3.2.1	Termogravimetria (TGA/DTG)	31
3.2.2	Calorimetria exploratória diferencial (DSC)	31
3.2.3	Ensaio de tração e flexão	31
3.2.4	Análise dielétrica	32
3.2.5	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	32
4	RESULTADOS E ANÁLISES	33
4.1	RECICLAGEM DO EPS E FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO.....	33
4.2	ANÁLISE TÉRMICA.....	35
4.2.1	TGA/DTG	35
4.2.2	DSC	38
4.3	ANÁLISE MECÂNICA.....	40
4.3.1	Ensaio de flexão e tração	40
4.4	ANÁLISE DIELÉTRICA.....	44
4.5	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	44
5	CONCLUSÕES	49
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais à base de polímeros pela indústria vem aumentando a cada dia. Os polímeros derivam do petróleo, um recurso mineral natural esgotável, portanto sua origem é um dos principais motivos para que haja uma grande preocupação relacionada ao seu uso e destino (KIRBAS; KESKIN; GÜNER, 1999; TORIKAI; HASEGAWA, 1999; AMASS; AMASS; TIGHE, 1998).

O poliestireno expandido (EPS), conhecido comercialmente como Isopor, é identificado como um material polimérico, resultante da polimerização do estireno em água, muito útil para diversos ramos da indústria, porém seus resíduos podem representar um grave problema relacionado ao meio-ambiente. O fato é que as sobras são depositadas em aterros sanitários, ocupando demasiado espaço devido ao seu grande volume e sendo facilmente espalhados pelo vento, causando danos ao meio-ambiente (TECHINICAL INFORMATION, 1992; JUNIOR, 2009; ABRAPEX, 2013; KAN; DEMIRBOGA, 2009)

Uma possível solução para esse problema seria a reciclagem destes resíduos, garantindo um destino útil às sobras e promovendo uma utilização racionada dos recursos minerais (JUNIOR, 2009).

A reciclagem do poliestireno elimina as várias etapas iniciais da fabricação da matéria-prima virgem, diminuindo gastos com energia e a emissão de poluentes relacionados ao processo de obtenção do poliestireno expandido (LEI et al., 2007).

Outro ramo industrial gerador de resíduos é o ramo da indústria têxtil. Anualmente, dentre outros tipos de resíduos, são descartados milhões de quilogramas de fibras geradas durante os processos têxteis. Dentre os diversos tipos de fibras descartadas como resíduo, podemos identificar a fibra de algodão (BAJWA et al., 2011).

Devido à crescente conscientização sobre a reciclagem, vem surgindo cada vez mais novas tecnologias envolvendo o desenvolvimento de compósitos poliméricos, fato que pode ser considerado interessante devido ao relativo baixo custo de processamento desse tipo de material, sua vasta possibilidade de aplicações industriais e a grande disponibilidade de recursos naturais renováveis, fator que não compromete o meio-ambiente (DOBRICAU et al., 2009; BAJWA et al., 2011; JOSHI et al., 2004).

Levando em conta as necessidades atuais e a importância da reciclagem, este projeto de pesquisa teve como objetivo a produção de um compósito a partir de materiais reciclados. Este compósito consiste na combinação de uma matriz aglutinante com reforços, a partir da reciclagem do poliestireno expandido e das fibras de algodão, que possam substituir materiais atualmente utilizados na confecção de placas de circuito impresso. Desta forma, propõe-se um destino útil para dois dos diversos resíduos industriais existentes, estimulando-se a prática da reciclagem.

1.1. MATERIAIS POLIMÉRICOS

Materiais poliméricos vêm sendo, cada vez mais, utilizados para a fabricação de diversos produtos comerciais (MANO, 1991).

Os plásticos sintéticos são polímeros muito resistentes à degradação natural, ou seja, quando descartados no meio-ambiente demoram a degradar. Muitos plásticos exigem mais de 100 anos para a degradação total, o que está associado à sua alta massa molar e hidrofobicidade, fatores que dificultam a ação de microorganismos e de suas enzimas sobre o polímero (LEE; CHOI, 1998; ROSA; LOTTO; GUEDES, 2004).

Os polímeros mais utilizados, desde a década de 1940, têm sido o polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), poli(Tereftalato de etileno) (PET) e poli(cloreto de vinila) (PVC). Esses materiais são provenientes de recurso mineral natural esgotável e resistentes à degradação natural, estes são dois dos principais motivos para que haja uma grande preocupação relacionada à utilização e destinação de polímeros (KIRBAS; KESKIN; GÜNER, 1999; TORIKAI; HASEGAWA, 1999; AMASS; AMASS; TIGHE, 1998).

1.2. POLIESTIRENO EXPANDIDO

O poliestireno expandido (EPS), conhecido comercialmente como Isopor, é identificado como um material resultante da polimerização do estireno em água, pertencendo ao grupo dos polímeros termoplásticos. O nome ISOPOR é uma marca registrada e a sigla EPS é prevista de acordo com a norma ISO-1043/78. O EPS é utilizado, há mais de 50 anos, por diversos ramos da

indústria, desde a indústria civil, passando pela automobilística nos processos de fundição de blocos de motores, até a indústria de embalagens. É composto por 98% de ar e apenas 2% da matéria-prima poliestireno (TECHINICAL INFORMATION, 1992; FRANCA; VIANA; RODRIGUES, 1997; KAN; DEMIRBOGA, 2009).

Quanto às propriedades físicas, o poliestireno expandido é um material de baixa densidade, excelente isolante térmico, sólido e quebradiço à temperatura ambiente, porém quando submetido à ação do calor torna-se flexível e moldável. Quimicamente é inerte e não biodegradável, ou seja, é um material considerado eterno por não se decompor ou desintegrar no meio-ambiente e não conter CFC (Clorofluorcarbono), composto sintético que tem sido apontado como o principal causador do buraco na camada de ozônio (GRUPO POLIMEX, 1997; DISSO, 2013; IBGE, 2012; KAN; DEMIRBOGA, 2009).

Os resíduos de EPS, apesar de não contaminarem quimicamente o meio-ambiente em que são descartados, não desaparecem com o tempo e ocupam muito espaço, podendo significar um grave problema de poluição ambiental (JUNIOR, 2009; ABRAPEX, 2013; KAN; DEMIRBOGA, 2009).

Uma possível solução para esse problema é a reciclagem destes resíduos, pois a mesma pode garantir um destino útil às sobras e promover uma utilização racional dos recursos minerais (JUNIOR, 2009).

1.3. FIBRAS DE ALGODÃO

1.3.1. Características da fibra

Outro ramo industrial gerador de resíduos é o ramo da indústria têxtil. Anualmente, dentre outros tipos de resíduos, são descartados milhões de quilogramas de fibras geradas durante os processos têxteis. Um tipo muito importante para a indústria, mas que em muitos processos industriais acaba sendo tratada como um resíduo é a fibra de algodão. O comprimento desta fibra varia de 10 a 65 mm, e o diâmetro de 11 a 22 microns. Contém, além da celulose, alguns constituintes comuns em células vegetais, são eles: extrativos OH-benzeno, cinzas e lignina (BAJWA et al., 2011; HABIBI et al., 2008).

Na Tabela 1 estão descritas as principais substâncias presentes na fibra de algodão.

Tabela 1- Composição química da fibra de algodão (BAJWA et al., 2011).

Componente	Quantidade (%)	
Holocelulose	α -celulose	66,6
	Hemicelulose	20,3
Lignina		8,4
Extrativos OH-benzeno		2,6
Cinzas		2,1

A holocelulose representa os carboidratos totais presentes em uma célula vegetal. Engloba valores da celulose e dos demais carboidratos, essencialmente as pentoses, que em conjunto são denominados hemicelulose. Portanto, o valor de holocelulose refere-se à soma do teor de α -celulose e de hemicelulose de um material vegetal (TAHERZADEH; KARIMI, 2007).

A alfacelulose, ou celulose verdadeira, é de natureza semi-cristalina, possui regiões de elevada ordenação, assim como regiões amorfas sem nenhuma ordenação. Fibras com elevado teor de celulose e baixas quantidades de lignina e hemicelulose, como é o caso das fibras de algodão, possuem comportamento apreciável como reforços de compósitos termoplásticos (BAJWA et al., 2011; POLLETO, 2009).

Na Figura 1 é possível observar a estrutura química da celulose.

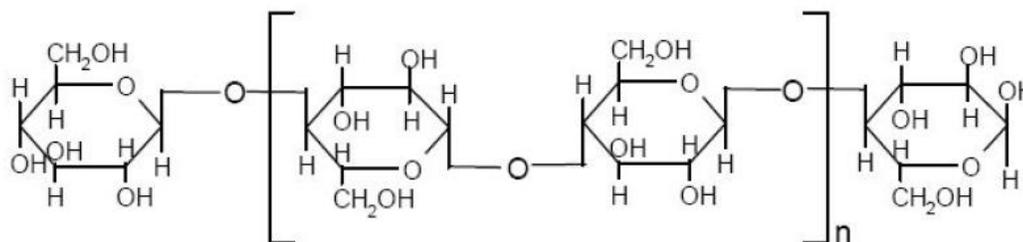


Figura 1- Estrutura química da celulose (POLLETO, 2009).

Devido ao fato da fibra de algodão ser constituída de material orgânico, não há ocorrência de fortes impactos se descartada indevidamente no meio-ambiente, entretanto, quando submetida à reciclagem recebe destinos mais úteis e nobres (HABIBI et al., 2008).

1.3.2. Produção mundial

O algodão (Figura 2) provém de uma planta denominada algodoeiro, do gênero *Gossypium*. São cultivadas no mundo quatro espécies deste gênero, sendo a espécie mais comum a *G. hirsutum* oriunda do México e que em 2009 chegou a representar 90% do algodão do mundo (CHEE et al., 1999).



(a)



(b)



(c)

Figura 2- (a) Fruto do algodão (b) Algodão colhido (c) Plantação de algodão (TECELAGEM MANUAL, 2013).

O algodão é uma das culturas mais produzida no mundo e é fundamental para as economias de muitos países em desenvolvimento, particularmente na África Ocidental e Central. Cerca de 60% das fibras de algodão são usadas como fios e linhas em uma vasta gama de vestuário, principalmente em camisas, camisetas, jeans, casacos compridos e roupas (NATURAL FIBRES, 2009).

O mundo produziu cerca de 25 milhões de toneladas de algodão em 2009, sendo que nos dias atuais a previsão é de crescimento. O algodão está entre as mais importantes culturas de fibras no mundo. Anualmente, uma média de 35 milhões de hectares de algodão é plantada por

todo o mundo. A demanda mundial tem crescido gradativamente desde a década de 1950, a um crescimento médio de 2% ao ano (FAEPAPB, 2010; ABRAPA, 2013).

O comércio mundial do algodão movimentava cerca de US\$ 12 bilhões/ano e envolve mais de 350 milhões de pessoas em sua produção, desde as fazendas até a logística, o descaroçamento, o processamento e a embalagem. Atualmente, o algodão é produzido por mais de 60 países, porém cinco deles se destacam como principais produtores, são eles: China, Índia, Estados Unidos, Paquistão e Brasil (ABRAPA, 2013).

Dados da Tabela 2, atualizados no mês de setembro de 2013, mostram informações sobre a produção mundial em cada um dos principais países nos respectivos anos.

Tabela 2- Produção mundial de algodão nos últimos anos, em milhões de toneladas (ABRAPA, 2013).

	SAFRA					
	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
TOTAL MUNDIAL	23,503	22,247	25,368	27,810	26,479	25,546
CHINA	8,025	6,925	6,400	7,400	7,300	7,284
ÍNDIA	4,930	5,185	5,865	6,345	6,048	6,227
USA	2,790	2,654	3,942	3,391	3,770	2,842
PAQUISTÃO	1,926	2,070	1,907	2,294	2,093	2,151
BRASIL	1,214	1,194	1,960	1,877	1,275	1,434
UZBEQUISTÃO	1,000	0,850	0,910	0,880	1,000	1,000
OUTROS	3,617	3,369	4,385	5,623	4,994	4,607

O Brasil é o terceiro país que mais exporta e o quinto que mais produz algodão. O cenário interno também é promissor, já que o país também é o sexto maior consumidor, com quase 1 milhão de toneladas/ano (ABRAPA, 2013).

A Tabela 3 mostra a distribuição do consumo de algodão mundial nos últimos anos.

Tabela 3- Distribuição do consumo de algodão mundial nos últimos anos, em milhões de toneladas (ABRAPA, 2013).

	SAFRA					
	2008/09	2009/10	2010/11	2011/12	2012/13	2013/14
TOTAL MUNDIAL	23,862	25,520	24,502	22,740	23,508	23,723
CHINA	9,265	10,192	9,580	8,635	8,290	8,041
ÍNDIA	3,872	4,300	4,509	4,340	4,811	5,015
PAQUISTÃO	2,519	2,393	2,100	2,163	2,444	2,493
LESTE DA ÁSIA E AUSTRÁLIA	1,714	1,892	1,796	1,646	1,858	1,923
EUROPA E TURQUIA	1,458	1,600	1,549	1,495	1,509	1,553
BRASIL	1,000	1,024	0,958	0,888	0,887	0,908
USA	0,771	0,773	0,849	0,718	0,751	0,762
CIS	0,596	0,604	0,577	0,550	0,577	0,600
OUTROS	2,666	2,743	2,583	2,305	2,381	2,428

O crescimento da produção mundial de algodão pode ser atribuído a um aumento na demanda de artigos confeccionados a partir desta fibra e, com o crescente aumento na produção mundial destes artigos, pode ser relacionado um aumento na quantidade deste material descartado como resíduo pelas indústrias têxteis (NATURAL FIBRES, 2009).

1.4. COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS

Um material compósito é um material fabricado a partir da combinação de uma matriz aglutinante com um reforço. Em geral, combina-se matriz e reforço para que as propriedades mecânicas de ambos possam ser somadas e, desta forma, seja originado um material com propriedades mecânicas melhoradas (CALLISTER, 2008).

A matriz e o reforço podem ser fisicamente identificados pela presença de uma interface. A matriz tem função principal de distribuir a carga pelo compósito, já o reforço tem como principal função resistir aos esforços solicitados (PARDINI, 2006).

Com o aumento do consumo de compósitos sintéticos e a crescente preocupação com o meio-ambiente, materiais que utilizam resíduos ou recursos naturais renováveis de qualquer tipo, o que inclui as fibras, podem trazer benefícios ecológicos e econômicos. Este é um dos motivos pelo qual materiais compósitos reforçados por fibras naturais vêm ganhando a preferência em relação aos reforçados por fibras sintéticas quando propriedades mecânicas e térmicas do mesmo são adequadas à aplicação pretendida (DOBRICAU et al., 2009; BAJWA et al., 2011; HASHIMI; DWIVEDI; CHAND, 2007).

Os compósitos de matrizes termoplásticas reforçadas com fibras naturais têm sido estudados por pesquisadores como Pasquini et al. (2008), Prachayawarakon et al. (2010), Kim et al. (2008), e pela indústria aeronáutica e automotiva, as quais buscam materiais compósitos de matriz polimérica reforçado com fibras naturais para substituir os compósitos reforçados com fibras de vidro. Este crescente interesse por fibras vegetais pode ser justificado pelo seu baixo custo, baixo impacto ambiental, por serem recursos renováveis e pela baixa abrasividade destas fibras (PASQUINI et al., 2008; ALVES et al., 2010).

As fibras vegetais também podem ser chamadas de fibras lignocelulósicas e são constituídas, principalmente, por celulose, hemicelulose e lignina, além de ceras, extrativos e

cinzas. O tempo de maturação do solo onde essas fibras são cultivadas, o tipo da fibra e sua composição é que determinam a quantidade de cada um desses componentes. Devido ao fato de poderem ser aplicadas como reforços em material compósitos, acabaram adquirindo grande importância comercial (MOHANTY; MISRA; DRZAL, 2005; WALLENBERGER; WESTON, 2004; MANO et al., 2010; SAHEB; JOG, 1999; LEI et al., 2007).

A incorporação de fibras em uma matriz polimérica pode ocorrer de maneiras distintas. Em uma delas existe uma ou mais fases com a finalidade de reforçar, estas fases provocam um aumento na rigidez e da resistência mecânica da matriz. Em outra maneira, o material incorporado tem a atuação mais acentuada como carga; neste caso o reforço adicionado à matriz, normalmente de baixa massa específica e custo reduzido, atua como uma carga aumentando o volume do compósito, e proporcionando reduções de peso e custo do componente (PARDINI, 2006; SAHEB et al. 1999).

As propriedades mecânicas e térmicas dos compósitos naturais podem ser afetadas pelo processamento e pela temperatura na qual ele foi realizado, além de dependerem do tipo, formato e da quantidade de fibra utilizada (MANO et al., 2010).

Prachayawarakon et al. (2010) preparou um compósito adicionando fibras de algodão à um polímero termoplástico biodegradável (amido de arroz) a fim de melhorar as propriedades de tração e diminuir a capacidade de absorção de água do material. Os resultados mostraram que a incorporação das fibras de algodão à matriz polimérica causou melhora considerável nas propriedades de resistência à tração e módulo de *Young* do material, além da absorção de água das amostras ter sido claramente reduzida pela inclusão das fibras.

Kim et al. (2008) estudou as propriedades mecânicas de um compósito fabricado com fibras de algodão como reforço, adicionadas a uma matriz de polipropileno (PP). Constatou-se que com a adição de 10% em massa de fibra de algodão à matriz, a resistência à tração do compósito, em relação ao polímero puro, diminuiu. Porém, com a adição de 20% e 30% em massa de fibras, esta propriedade foi aumentada devido o entrelaçamento das mesmas.

Bajwa et al. (2011) utilizou fibras naturais provenientes de resíduos agrícolas como reforços em matriz termoplástica de polietileno de alta densidade. Essas fibras foram fios, rebarbas e caules de algodão, além de *Guayule*, arbusto proveniente do sudoeste dos Estados Unidos e do México, inteiro e em bagaço. O estudo verificou que a adição das fibras, tanto do algodão como do *guayule*, à matriz termoplástica ocasionou uma redução na densidade do

material e foi concluído que todos os tipos de fibras utilizados possuem grande potencial como reforço em compósitos termoplásticos.

Borsoi et al. (2011) utilizou fibras de algodão como material de reforço em materiais compósitos poliméricos utilizando o poliestireno como matriz e poli(estireno-co-anidrido maleico) como agente compatibilizante. Os compósitos foram confeccionados pelo processo de extrusão e moldados por injeção. O material foi avaliado mediante ensaios mecânicos, térmicos, termo dinâmico-mecânico e morfológico. Os ensaios de flexão e tração mostraram que a adição de 20% em massa fibra de algodão fez com que as propriedades do compósito aumentassem satisfatoriamente, sendo que a presença de compatibilizante promoveu uma intensificação nos efeitos.

No mesmo trabalho foi observado um aumento da resistência ao impacto com adição de carga, porém, os compósitos com compatibilizante apresentaram resultados inferiores. Por meio de análise termogravimétrica, foi verificado que a adição de fibras de algodão deslocou o início da perda de massa para temperaturas próximas a 200 °C. Na análise Térmica Dinâmico-Mecânica, foi observado que com a adição da fibra de algodão, houve um aumento na rigidez e no módulo de armazenamento. As micrografias mostraram redução no *pull-out* das fibras, devido a uma maior adesão fibra/matriz com a utilização do agente compatibilizante.

Benini (2011) desenvolveu em seu trabalho compósitos poliméricos de poliestireno de alto impacto (HIPS) reforçados com fibras naturais provenientes da casca do coco verde e do bagaço de cana de açúcar. As fibras foram tratadas quimicamente com o objetivo de melhorar a compatibilidade das mesmas com a matriz polimérica. Benini (2010) verificou que a adição das fibras tratadas quimicamente à matriz de HIPS proporcionou aumento nos módulos elásticos de tração e flexão dos compósitos sem alterar suas respectivas resistências mecânicas.

Marcon (2012) estudou um compósito de PEAD reforçado com fibras da coroa do abacaxi. As fibras foram estudadas no seu estado *in natura* e também modificadas com NaOH. A modificação superficial foi realizada a fim de diminuir o carácter hidrofílico da fibra e aumentar a adesão da fibra com a matriz polimérica. As análises de resultados mostraram que o tratamento alcalino e a porcentagem de fibras no compósito influenciou diretamente nas propriedades mecânicas do mesmo e que a fibra da coroa do abacaxi pode ser vista como potencial substituto de fibras sintéticas em diversas aplicações.

1.5. RECICLAGEM

1.5.1. Reciclagem de polímeros

Segundo Spinacé e Paoli (2005) a reciclagem de polímeros pode ser classificada em primária, secundária, terciária e quaternária, cada uma com suas peculiaridades.

As reciclagens primária e secundária são conhecidas como reciclagem mecânica ou física e são definidas como sendo a conversão de resíduos poliméricos industriais. No caso da primária são resíduos pós consumo, na secundária em produtos com características equivalentes às das dos produtos originais produzidos com polímeros virgens. A terciária, também conhecida como reciclagem química, é a produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos enquanto que a quaternária, chamada de energética, recupera a energia de resíduos poliméricos por incineração controlada (SPINACE; PAOLI, 2005; CERQUEIRA, 2010).

A reciclagem mecânica ou física pode ser efetuada através de reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem, compressão, entre outros. As etapas envolvidas no processo de reciclagem podem variar de acordo com a procedência e tipo de polímero, porém são basicamente: separação do resíduo polimérico, moagem, lavagem, secagem, reprocessamento e transformação do polímero em produto acabado (SPINACE; PAOLI, 2005; KAMINSKY, 1992)

A reciclagem química promove a despolimerização de plásticos descartados, fazendo com que voltem a ser os monômeros originais, os quais poderão ser novamente polimerizados e utilizados para produzir polímeros novos com a mesma qualidade do polímero inicial. Pode ocorrer através de processos de despolimerização por solvólise (hidrólise, alcoólise, amilose), por métodos térmicos (pirólise à baixa e alta temperatura, gaseificação, hidrogenação) ou por métodos térmicos/catalíticos (pirólise e a utilização de catalisadores seletivos). A solvólise é comumente utilizada para polímeros como os poliésteres, as poliamidas e as poliuretanas. Os métodos térmicos e/ou catalíticos são mais utilizados para poliolefinas (SPINACE; PAOLI, 2005; FARIA; FORLIN, 2002; BRAATHEN, 2003)

A reciclagem energética não passa de um processo de reutilização pois não há retorno ao ciclo de produção de um produto idêntico ou semelhante ao material polimérico inicial. Consiste no aproveitamento do valor calorífico de resíduos poliméricos, ou seja, utiliza polímeros para geração de energia através de combustão. O potencial energético dos polímeros é alto, chegando

a ser maior que o do carvão, 1 kg de resíduo polimérico é comparável à de 1 L de óleo combustível. Este tipo de reciclagem é aconselhada para resíduos complexos como termorrígidos e elastômeros, ou ainda para polímeros que necessitam de cuidados especiais, como resíduos médico hospitalares e embalagens de óleos. (KAMINSKY, 1992; BRAATHEN, 2003; FORLIN; FARIA, 2002; CERQUEIRA, 2010; COLTRO; GASPARINO; QUEIROZ; 2008).

1.5.2. Reciclagem do poliestireno

A reciclagem do poliestireno expandido utilizada neste trabalho é classificada como secundária. A reciclagem deste polímero elimina as várias etapas iniciais da fabricação da matéria-prima virgem, o que acarreta na diminuição dos gastos com energia e emissão de poluentes associada ao processo de obtenção do mesmo e também no aumento da vida útil de aterros sanitários (LEI et al., 2007).

Pode ser feita por diversas técnicas destinadas a diferentes aplicações, tais como:

- Os rejeitos de EPS podem ser processados para serem remoldados em forma de blocos e injetados para formar peças para embalagens (OLIVEIRA, 2006);
- Usados como substratos para melhoramento de solo, em drenagens, jardineiras e aeração de material para decomposição (TESSARI; ROCHA, 2006);
- Reutilizados na construção civil ou como gerador de energia elétrica ou calorífica por combustão direta (TESSARI; ROCHA, 2006; CHAVES, 1998);
- Reutilizados como matriz na confecção de materiais compósitos (NOGUEIRA; MARLET; REZENDE, 1999).

Na Figura 3 está representado um esquema do processo de transformação da matéria prima de poliestireno em artigos finais conforme a utilização.

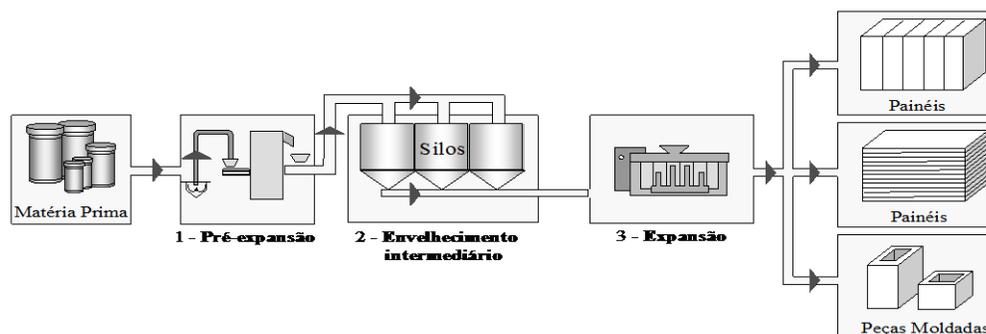


Figura 3- Processo de fabricação dos materiais a base de poliestireno expandido (EPS) (GRUPO POLIMEX, 1997).

Noguchi et al. (1998) desenvolveu uma técnica de reciclagem de EPS, que consiste em dissolver poliestireno expandido em óleo D-limoneno, um óleo vegetal natural, que é extraído a partir da casca de frutos cítricos e mostrou-se um bom solvente de EPS. Esta técnica reduz o volume do EPS cerca 1/20 do original e o EPS é reciclado quase sem nenhuma degradação em seu peso molecular porque o D-limoneno age como um antioxidante de poliestireno durante o processo. A partir da nova técnica utilizando óleo D-limoneno, Noguchi et al. (1998) desenvolveu um protótipo de sistema de produção de EPS reciclado. O sistema é composto por um aparelho que dissolve o EPS e uma planta de reciclagem que separa a solução de D-limoneno. A usina de reciclagem de massa é capaz de reproduzir poliestireno com as mesmas propriedades mecânicas do material inicial. Segundo o autor, o EPS reciclado pode ser utilizado para embalagens, entre outras aplicações.

Alcocel e Mas (2013) em seu estudo adicionou EPS à argamassa de cimento Portland a fim de analisar as alterações na durabilidade do material. A reutilização foi feita misturando-se argamassa, EPS particulado e aditivos, sendo a mistura submetida à cura em água a uma temperatura de aproximadamente 20°C por diferentes tempos. Os resultados mostraram que a presença do poliestireno expandido provocou uma diminuição no coeficiente de absorção capilar da argamassa. Houve também um ligeiro aumento da resistência à compressão das argamassas, quando submetidos a ciclos de congelamento-descongelamento, provavelmente devido às partículas de poliestireno expandido terem absorvido parte da pressão de cristalização do gelo. Este estudo concluiu que houve melhora na durabilidade das argamassas com a presença de poliestireno expandido e que, portanto, é viável a reutilização deste material para fins práticos no ramo de construção civil.

Quanto ao processamento de compósitos termoplásticos, o poliestireno expandido vem sendo estudado por diversos autores. Poletto et al. (2011) utilizou descartes de EPS e farinha de madeira para confecção de um material compósito. O produto final foi obtido pelo processo de extrusão, porém, o primeiro passo para a reciclagem do EPS foi a moldagem do material por compressão em uma prensa aquecida para reduzir a densidade aparente do mesmo e também fundir o EPS sem que ocorresse a degradação do polímero. Em seguida as placas resultantes da compressão foram moídas em um moinho de facas rotativo, para que fossem obtidas pequenas partículas de poliestireno. Em paralelo à reciclagem do poliestireno expandido, a farinha de madeira foi processada. Por fim, foram misturadas proporções de 10%, 20%, 30% e 40% em massa de farinha de madeira à matriz polimérica e esta mistura foi submetida a uma extrusora co-rotativa à 200 rpm. Após testes mecânicos e morfológicos, foi concluído que o material reciclado pode ser utilizado para a fabricação de compósitos com boas propriedades mecânicas e baixa densidade e, portanto, que o método de reciclagem do EPS é viável também para essa aplicação.

Kan et al. (2009) estudou a reciclagem de EPS a partir de tratamento térmico. Os resíduos de EPS foram submetidos a esmagamento mecânico por uma máquina que reduziu as formas de EPS de 3 a 10 vezes em relação ao tamanho inicial. Posteriormente o material foi submetido a altas temperaturas experimentalmente: 100, 110, 120, 130, 140 e 150°C durante 15, 30, 45, 60 e 120 minutos em um forno elétrico digital. Após passagem pelo forno foi observada redução de volume variando de 1/10 a 1/20 do volume inicial e o material estava pronto para diversos usos como material agregado.

Em relação aos resíduos têxteis, devido à crescente conscientização sobre reciclagem, atrelada à necessidade de dar um destino aos mesmos, que não seja os aterros sanitários, vem surgindo, novas tecnologias e processos visando o reaproveitamento dos recursos fibrosos. Entre essas técnicas, o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com essas fibras pode ser considerado particularmente interessante devido a fatores como o baixo custo de processamento, a vasta possibilidade de aplicações industriais para o material e a grande disponibilidade de recursos naturais renováveis, fator que não compromete o meio-ambiente (JOSHI et al., 2004; BLEDZKI; GASSAN, 1999).

Além dos menores custos e benefícios ambientais em relação às fibras sintéticas, como a fibra de vidro, de carbono e as fibras metálicas, o principal propósito pelo qual as fibras naturais vêm sendo estudadas e utilizadas em compósitos poliméricos é a capacidade dessas fibras de

melhorarem as propriedades mecânicas, como resistência à tração e flexão e módulo elástico de tração e flexão de uma matriz polimérica, tendo como resultado final um compósito mais leve do que os compósitos que utilizam fibras de vidro, por exemplo (JOSHI et al., 2004; BLEDZKI; GASSAN, 1999).

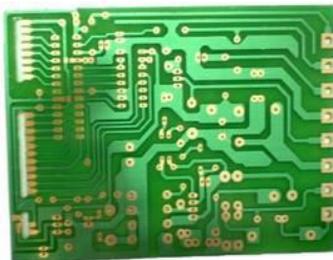
Levando em conta as necessidades atuais e a importância da reciclagem, a tentativa de elaborar um compósito, através da reciclagem do poliestireno expandido e das fibras de algodão, pode ser uma interessante alternativa para substituir materiais atualmente utilizados na confecção de placas de circuitos elétricos. Desta forma, além do estímulo à reciclagem, seria possível garantir um destino útil para o poliestireno expandido e para as fibras descartadas, os quais são dois dos diversos resíduos industriais existentes.

1.6. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

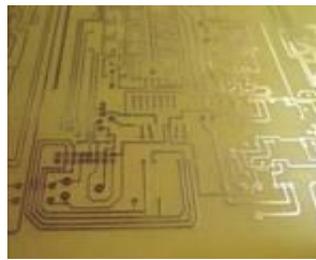
Placas de circuito impresso são partes essenciais de um equipamento eletrônico. Estas foram criadas para substituir os fios em ligações de componentes em montagens eletrônicas, melhorando assim a fixação e disposição dos mesmos, reduzindo o tamanho dos equipamentos eletrônicos e fornecendo interconexões elétricas entre eles (GUO; GUO; XU, 2009).

Como exemplo de componentes dessas placas, têm-se dispositivos microeletrônicos como chips e capacitores. Atualmente, os materiais mais utilizados pela indústria para a confecção das placas são: a fenolite, papel/epoxy, fibras e filmes de poliéster, fibra de vidro e também alguns compostos à base de polímeros (HUANG; GUO; XU, 2009 ; GUO; GUO; XU, 2009).

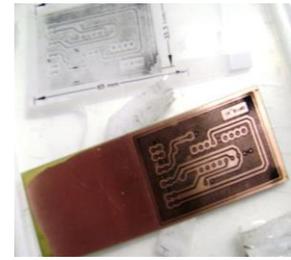
Na Figura 4 estão apresentadas três placas de circuito impresso confeccionadas com diferentes materiais.



(a)



(b)



(c)

Figura 4 - Placas de circuito impresso confeccionadas com : (a) Fibra de vidro, (b) Fenolite e (c) circuito desenhado em filme de poliéster e posteriormente impresso em placa cobreada.

2. OBJETIVO

O objetivo geral desse trabalho de graduação foi desenvolver um material compósito utilizando uma matriz de poliestireno expandido, obtida através da utilização de um conjunto de métodos baseado na reciclagem do EPS via fusão, e fibras de algodão proveniente de resíduos da indústria têxtil como material de reforço, para a produção de placas de circuito impresso. O objetivo específico foi alcançar propriedades mecânicas, elétricas e térmicas que permitissem sua aplicação para o uso proposto, através do estudo da influência da quantidade de reforço nessas propriedades.

3. METODOLOGIA

Na Figura 5 está representado um fluxograma geral contendo todas as etapas para a reciclagem do EPS, obtenção e caracterização do compósito.

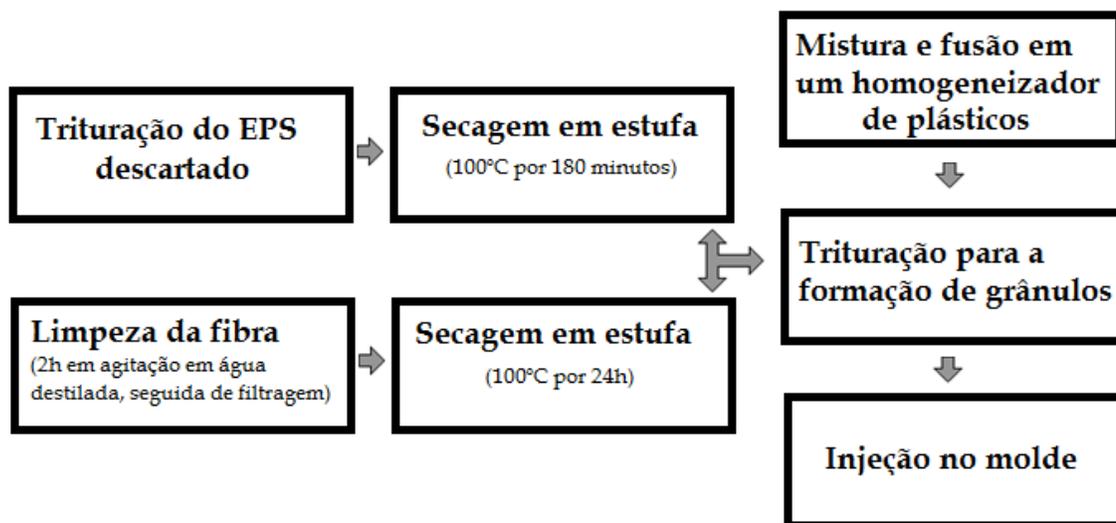


Figura 5 - Etapas envolvidas na reciclagem do EPS até o processamento do material compósito.

3.1. MATERIAIS

Foi utilizado o EPS obtido a partir do descarte de embalagens em geral e de proteção de proteções eletroeletrônicos descartados. Como reforço para os compósitos foram utilizadas fibras de algodão provenientes de indústria têxtil Primar, localizada na cidade de Juiz de Fora - MG.

3.1.1. Tratamento da fibra têxtil

Para o reaproveitamento do algodão descartado pela indústria têxtil (Figura 6), o mesmo foi submetido a um tratamento de limpeza, com o objetivo de melhorar, pela eliminação das impurezas contidas no material, a adesão entre a fibra e matriz.

O tratamento foi realizado através da imersão das fibras em água sob agitação por 2h. A proporção foi de 3 litros de água para 500g de algodão. Em seguida, foram filtradas em um filtro à vácuo e levadas para a secagem em estufa à 100°C por 24h.



Figura 6 - Fibra de algodão descartada pela indústria têxtil antes da limpeza.

3.1.2. Aglutinação

Devido ao fato do EPS ser um material muito volumoso, foi necessária a realização de uma etapa de aglutinação antes do processo de mistura com a fibra. Nesta etapa, foi realizada a redução de volume a partir do aquecimento em estufa por 180 minutos a 100°C. A Figura 7 mostra o EPS após sofrer redução de volume.



Figura 7 – EPS triturado e aglutinado.

3.1.3. Fusão

Schmidt (2012) experimentou a confecção de corpos de prova de EPS puro por dois processos de reciclagem. Primeiramente utilizou processo de extrusão seguido de injeção e, posteriormente, processo de mistura em homogeneizador de plásticos (misturador termocinético) seguida de injeção. Após os experimentos, foi constatado que os corpos de prova fabricados pelo segundo método apresentaram melhor qualidade, e assim foi adotado como método de reciclagem para este trabalho.

O EPS foi fundido e misturado com as fibras de algodão, em um homogeneizador de plásticos de laboratório (Figura 8) da MH Equipamentos (modelo MH-50H), disponível na Divisão de Materiais (AMR) do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA). A fusão do EPS e a homogeneização dos compósitos ocorreram dentro da cápsula bi-partida, com arrefecimento de água. As palhetas de homogeneização giram com aproximadamente 2600 rpm na primeira velocidade e 5250 rpm na segunda. A primeira velocidade serve para girar o motor e o eixo do ponto de inércia e a segunda para misturar os materiais. Para a fusão na cápsula, foram preparadas amostras contendo 10% e 15% em massa de fibra de algodão.



Figura 8 - Cápsula de mistura do homogeneizador de plásticos.

Imediatamente após serem retirados do homogeneizador de plásticos, os materiais, já misturados, foram submetidos à passagem por calandras (Figura 9), que são rolos a partir dos quais é possível dar aos compósitos fundidos a forma de placas finas.



Figura 9 – Calandras

Em seguida, os compósitos foram submetidos a um triturador (Figura 10) com o objetivo de transformar as placas de compósitos em grânulos menores, para que fossem injetados em moldes.



Figura 10 - Triturador

Os compósitos moídos foram injetados em molde contendo cavidades com dimensões específicas para ensaios mecânicos de tração e flexão. Foi utilizada a Injetora Jasot 300/130 (Figura 11), disponível na Divisão de Materiais (AMR) do Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA).



Figura 11 - Máquina injetora de plásticos

A temperatura do molde durante a injeção foi de 30°C e o perfil de temperatura utilizado para a injeção está o descrito na Tabela 4.

Tabela 4 - Zonas de aquecimento durante a injeção.

Zonas de Aquecimento	Temperatura (°C)
Zona 0	205
Zona 1	210
Zona 2	210
Zona 3	205

Foram realizadas análises termogravimétricas dos compósitos, antes da injeção, para que fossem definidas as zonas de aquecimento.

3.2. CARACTERIZAÇÃO

3.2.1. Termogravimetria (TGA/DTG)

As amostras das fibras de algodão, do EPS e dos compósitos foram analisadas em uma termobalança Seiko (modelo TGA-50), disponibilizada pelo DMT/FEG/UNESP e adquirida no processo FAPESP 08/00171-1, com uma razão de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, em fluxo de nitrogênio no intervalo de temperatura de 40 a $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ utilizando aproximadamente 10 mg de cada amostra.

A termogravimetria (TGA) e sua derivada (DTG) indicam a perda de massa do material em cada estágio, fornecendo informações sobre a natureza e a extensão de degradação do mesmo em função da temperatura (JOSEPH et al., 2003; MANFREDI et al., 2006; CORRADINI et al., 2009).

3.2.2. Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

As amostras das fibras de algodão, EPS e dos compósitos foram analisadas em um calorímetro TA Instruments modelo DSC Seiko, disponível no DMT/FEG/UNESP, adquirido no Processo FAPESP 08/00171-1, sob atmosfera de nitrogênio à razão de aquecimento $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, aquecendo-se cerca de 9 mg de cada amostra. Foi realizado aquecimento nos materiais de 37°C até 197°C , então os mesmos foram resfriados até 33°C e, em seguida, reaquecidos até 245°C .

Foi realizada com a finalidade de tornar conhecidas as temperaturas de fusão e de transição vítrea do compósito. Esses processos estão associados às transformações físicas ou químicas causadas pelo aquecimento ou resfriamento controlado do material estudado (CORRADINI et al., 2009; ALBANO et al., 2005).

3.2.3. Ensaio de tração e flexão

Para que fossem determinadas as propriedades de resistência à flexão e à tração do material, foi realizado ensaio de flexão em três pontos e ensaio de tração em uma máquina universal de ensaios SHIMADZU do Laboratório de Propriedades Mecânicas do

DMT/FEG/UNESP, sendo adotadas as normas ASTM D790-03 e ASTM D638-08, respectivamente.

Para o ensaio de flexão, foram utilizados cinco corpos de prova preparados com 48 mm de comprimento, o que atende a razão de 16:1 entre o comprimento e a espessura da amostra estabelecida pela norma. Foi utilizada uma célula de 5kN e uma velocidade de 5 mm/min.

Para o ensaio de tração, foram utilizados cinco corpos de prova do tipo I, preparados de acordo com a norma ASTM D 638 – 08. A taxa de carregamento utilizada foi de 5mm/min.

3.2.4. Análise dielétrica

O equipamento de análise dielétrica utilizado foi o Analisador de Impedância Solartron SI1260 acoplado à Interface Eletroquímica SI1250 disponível no laboratório da Divisão de Materiais (AMR) do Centro Técnico Aeroespacial (CTA). Os ensaios foram feitos variando a frequência na faixa de 0,1 Hz a 1 MHz e aplicando-se um sinal de tensão senoidal de 1 V de amplitude.

Através da análise dielétrica foi determinado se o material apresentou características de condutor elétrico.

3.2.5. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As micrografias foram obtidas em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), Zeiss EVO LS-15 com sistema EDS/EBDS Oxford INCA Energy 250 disponível no LAIMat - Laboratório de Análise de Imagens de Materiais da FEG/UNESP, operando com feixe de elétrons de 15 a 20 kW e utilizando detector de elétrons secundários. Foram analisados as superfícies de fratura de corpos de prova de tração e flexão. Antes da análise, as superfícies foram submetidas ao recobrimento metálico com ouro.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. RECICLAGEM DO EPS E FABRICAÇÃO DO COMPÓSITO

O método de reciclagem utilizado neste trabalho para a recuperação do EPS pode ser classificado na categoria de reciclagem secundária (SPINACE; PAOLI, 2005).

Foram realizadas as etapas de separação do resíduo polimérico, moagem, redução de volume (aglutinação), mistura do polímero com a fibra através da fusão e fabricação dos corpos de prova por injeção. Para preparação do EPS, o mesmo foi submetido à redução de volume por processo de aglutinação em estufa. A Figura 12 mostra o EPS antes e depois do processo de aglutinação. Nas imagens é possível observar a redução de volume do material, devido à remoção do ar contido no interior das esferas.

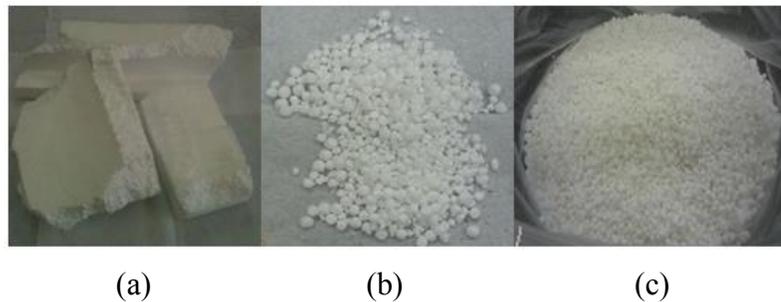


Figura 12 - Etapas para aglutinação do EPS: (a) em pedaços (b) triturado antes da aglutinação (c) após estufa, aglutinado

Em paralelo, foi feita a lavagem das fibras de algodão em água sobre agitação. Posteriormente à lavagem, as fibras foram filtradas com água destilada. A Figura 13 mostra as fibras antes e após a limpeza, na qual é possível identificar a remoção das impurezas, como sujeiras e pó.



Figura 13 - Fibras de algodão: (a) antes da limpeza (b) após lavagem e filtragem

Após os processos de aglutinação do EPS e limpeza das fibras, os mesmos foram misturados à matriz com proporções de fibras de algodão de 10% e 15% em massa, em um misturador termocinético. O material compósito obtido foi triturado em grânulos. O compósito com 15%, após a fusão e granulação, pode ser visto na Figura 14.



Figura 14 - Material compósito triturado, obtido através da fusão do Poliestireno Expandido reforçado com 15% em massa de fibras de algodão.

Após a mistura e fusão do EPS com as fibras de algodão, foram obtidos materiais compósitos homogêneos e de coloração escura. Os compósitos foram então moldados por injeção para a fabricação de corpos de prova de tração e flexão, que podem ser observados na imagem da Figura 15.



(a)

(b)

(c)

Figura 15 - Corpos de prova de flexão e tração dos compósitos de EPS reciclado reforçado com : (a) 0% em massa de fibras de algodão (b) 10% em massa de fibras de algodão e (c) 15% em massa de fibras de algodão.

Na imagem dos corpos de prova da Figura 15 é possível observar também que o aumento do volume de fibras mudou a coloração do material obtido, sendo que os compósitos com 10% e 15% de reforço apresentaram coloração mais escura quando comparados aos de EPS puro, ou seja, o aumento da porcentagem de fibras provocou escurecimento na coloração dos corpos de prova.

4.2. ANÁLISE TÉRMICA

4.2.1. TGA/DTG

Os resultados obtidos a partir das análises termogravimétricas da fibra de algodão, EPS reciclado e compósitos reforçados com 10% e 15% em massa de algodão, estão representados no gráfico de TGA e DTG das Figuras 16 e 17, respectivamente.

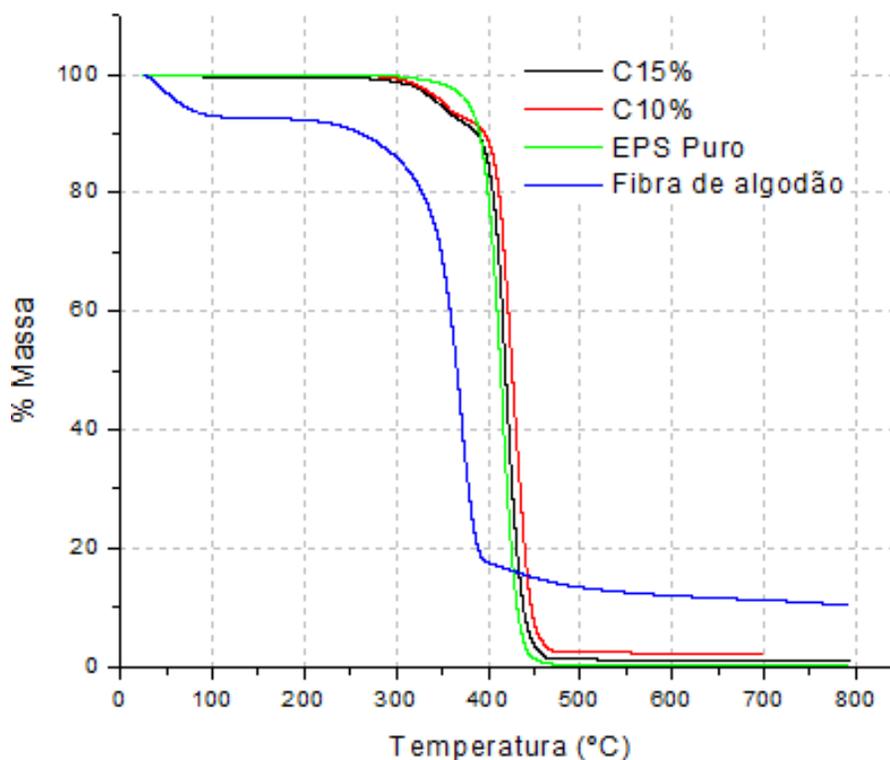


Figura 16 - Curvas Termogravimétricas do EPS reciclado(puro), fibra de algodão e dos compósitos com 10% e 15% de fibras de algodão.

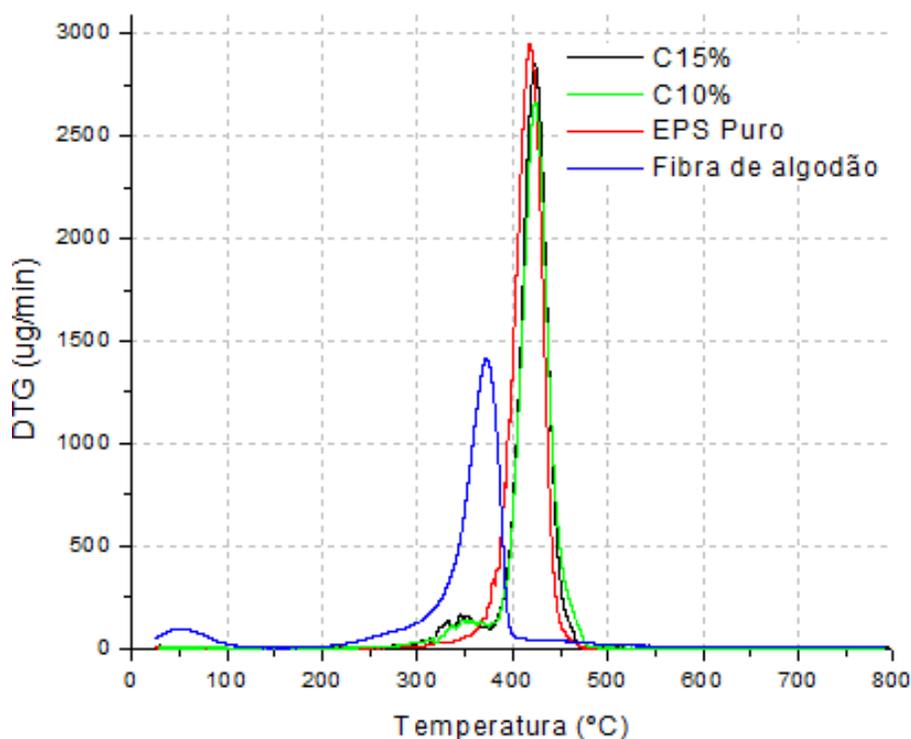


Figura 17 - Curvas DTG do EPS reciclado(puro), fibra de algodão e dos compostos com 10% e 15% de fibras de algodão.

Analisando as curvas TGA e DTG, é possível observar que a perda de massa da fibra de algodão ocorreu em duas etapas principais. Segundo Dobircau et al. (2009), a primeira perda de massa, entre 26°C e 110°C, pode ser atribuída à evaporação de água contida na fibra de algodão decorrente de umidade.

Corradini et al. (2009), no estudo da estabilidade térmica de fibras de algodão, observaram a degradação da celulose no intervalo de temperatura aproximado entre 310°C a 360°C, portanto a segunda perda de massa, entre 213°C e 409°C, pode ser atribuída à degradação da celulose, entre outros componentes contidos nas fibra (BAJWA et al., 2011).

Comparado a outras fibras naturais, o algodão apresenta taxa de degradação máxima a uma temperatura mais elevada, 360°C. Como exemplo, podemos citar a fibra de coco verde e a de abacaxi, as quais atingem sua máxima taxa de degradação à 236°C e 249°C, respectivamente (CORRADINI et al., 2009; ALBANO et al., 2005; SANTOS et al., 2001).

Com base na literatura, podemos atribuir esta característica à composição química da fibra de algodão, pois a celulose, da qual é composto 86,9% da fibra, é uma substância semicristalina e quanto mais cristalino é um material maior é a temperatura de degradação (CHEE et al., 1999).

Os gráficos TGA e DTG forneceram dados importantes sobre as temperaturas de início de degradação (T_{onset}) do polímero puro, da fibra e dos compósitos, assim como a temperatura na qual ocorreu a maior taxa de degradação (T_{pico}) dos mesmos e a quantidade de resíduo ao final dos testes termogravimétricos. Os dados podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5- Valores extraídos dos gráficos TGA e DTG

Amostra	Faixa de temperatura (°C)	T_{pico} (°C)	T_{onset} (°C)	Perda de Massa (%)	Resíduo 700°C (%)
C15%	272-380	352	272	7,84	1,01
	380-472	423		90,01	
C10%	270-382	347	270	7,83	2,29
	382-477	423		89,55	
EPS Puro	303-470	418	303	99,14	0,39
Fibra de Algodão	26-110	53	213	8,2	10,6
	213-409	360		76,1	

A partir da análise do gráfico da DTG foi possível identificar que o poliestireno puro é termicamente estável até a temperatura de aproximadamente 303°C e que a perda de massa do mesmo ocorreu em apenas uma etapa, a partir desta temperatura.

Ao adicionar fibras de algodão à matriz polimérica, houve uma diminuição na estabilidade térmica do material e o processo de decomposição térmica passou a ocorrer em duas etapas para os dois compósitos, a primeira relacionada à decomposição térmica das fibras e a segunda etapa relacionada à decomposição térmica do poliestireno. Os compósitos mostraram-se estáveis termicamente até uma temperatura de aproximadamente 270°C.

Na análise das curvas de DTG dos compósitos, é possível observar que as curvas apresentam perfil de degradação semelhantes. Para os dois compósitos, o primeiro pico pode ser atribuído à degradação da fibra de algodão e o segundo pico à degradação do poliestireno.

A diferença entre as curvas dos compósitos e do EPS reciclado pode ser atribuída às reações ocorridas entre as fibras de algodão e a matriz polimérica, as quais proporcionaram alterações na estabilidade térmica da matriz polimérica.

Ao final da análise o resíduo encontrado para as fibras de algodão foi maior do que o do EPS reciclado puro, por este motivo era esperado que o compósito com mais fibras apresentasse maior quantidade de resíduos no final do ensaio. Entretanto, o compósito com 15% em massa de

fibras apresentou menor quantidade de resíduos do que o compósito com 10%. Tal fato pode ser explicado pela região da qual foi retirada a amostra, provavelmente durante a seleção da mesma, foi escolhida uma região do compósito que continha mais polímero do que fibras de algodão.

4.2.2. DSC

Os resultados obtidos a partir das análises de DSC do polímero e dos compósitos estão apresentados no gráfico da Figura 18 e representam a variação do fluxo de calor das amostras em função do aumento da temperatura.

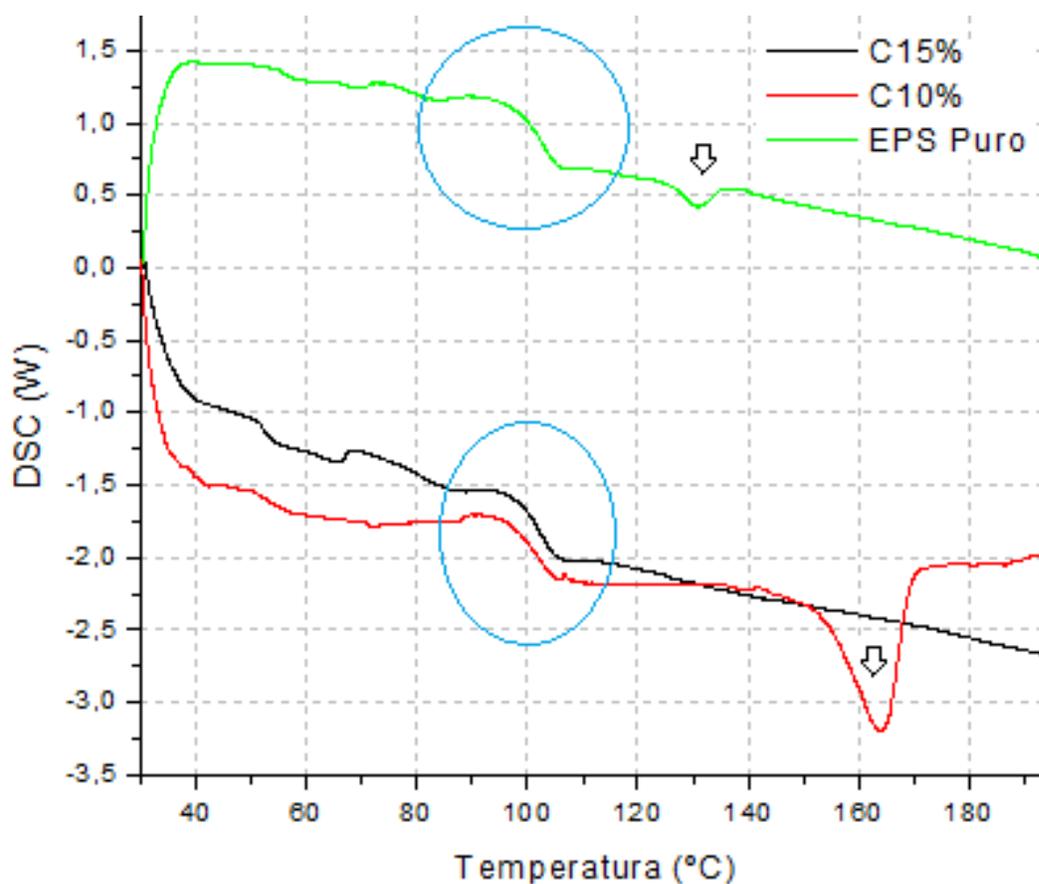


Figura 18 - Curva DSC primeira varredura de aquecimento dos compósitos 10% e 15% de fibras de algodão e do EPS reciclado (puro).

A partir da análise da curva DSC da primeira varredura de aquecimento do EPS reciclado é possível identificar dois eventos térmicos. O primeiro evento, que representa uma alteração na linha de base, pode ser atribuído à temperatura de transição vítrea (T_g), enquanto o segundo

evento, representado por um pico endotérmico, pode ser atribuído à reação de fusão do polímero. A temperatura de transição vítrea (T_g) do poliestireno puro foi de 101,7°C.

Na curva de primeira varredura de aquecimento do compósito 10% foi possível identificar uma alteração na linha de base, atribuída à reação de transição vítrea do compósito, a qual, levando em conta o erro do equipamento, não sofreu alterações em relação à do EPS reciclado. O segundo evento pode ser atribuído à fusão do compósito. A adição de 10% de fibras ao compósito resultou em um deslocamento do evento de fusão para temperaturas mais elevadas, em relação ao polímero reciclado. Este deslocamento pode ser explicado pela interação entre reforço e matriz.

Na Tabela 6 estão apresentados os principais valores encontrados a partir da análise da curva DSC.

Tabela 6 - Dados obtidos a partir de análise de DSC

Amostra	T_g (°C)	T_f inicial (°C)	T_f pico (°C)	T_f final (°C)	ΔH_f (mJ/mg)
Poliestireno Puro	101,7	128,5	131,9	134,1	0,57
Compósito 10%	100,9	154,9	164,1	169,3	8,62
Compósito 15%	102,2	-	-	-	-
Fenolite	97,6*	-	-	-	-

T_g - Temperatura de transição vítrea; T_f - Temperatura de fusão;

ΔH_f - Variação da entalpia de fusão; *Segundo publicação de Schmidt, 2012.

Na curva de primeiro aquecimento do compósito 15% foi possível identificar apenas um evento representado pela alteração da linha de base. Este evento pode ser atribuído à reação de transição vítrea do compósito, que pode ser considerada a mesma temperatura que a do EPS reciclado.

A fusão do compósito 15% não pode ser visualizada a partir da curva DSC, pois a mesma, provavelmente, ocorreu a temperaturas mais elevadas. A diferença de intensidade entre os picos de fusão do compósito 10% e do EPS reciclado pode ser explicada pelo fato de terem sido usados os dados da primeira varredura de aquecimento, os quais ainda carregam histórico térmico do material.

A transição vítrea pode ser identificada no gráfico DSC por uma mudança de calor específico, identificada por uma variação na linha base (CANEVAROLO, 2004). A T_g de um polímero é a temperatura na qual as cadeias moleculares têm suficiente energia para vencer as forças de atração molecular e iniciar movimentações vibracionais e de translação (PANAYIOTOU, 1986). A passagem pela temperatura de transição vítrea envolve modificações de propriedades quando um material sólido amorfo passa para fase viscosa, ou seja, marca a passagem do material do estado sólido para o borrachoso. Esta transição influencia macroscopicamente através de mudanças de propriedades termodinâmicas, como por exemplo, capacidade calorífica, coeficiente de expansividade térmica, coeficiente de compressibilidade e várias propriedades dielétricas, viscoelásticas e mecânicas. (YAMAKI; PEDROSO; ATVARS, 2002).

Desta maneira, a transição vítrea é um importante parâmetro para determinar as condições de processamento e a temperatura máxima de trabalho de um material (EISNBERG, 1984).

Analisando as curvas de DSC, é possível observar que a adição de fibras na matriz de EPS pode ser feita sem que ocorram alterações nas temperaturas de transição vítrea do material, aumentando a temperatura de fusão dos compósitos, além de garantir um destino mais nobre aos resíduos de algodão.

Comparando os compósitos obtidos com a fenolite, estes ainda apresentaram um valor de temperatura de transição vítrea relativamente maior que o apresentado para a fenolite, um dos principais materiais utilizados atualmente para a confecção de placas de circuito impresso.

Schmidt (2012) concluiu em seu estudo que EPS puro está apto a ser utilizado como material para confecção de placas de circuito impresso, portanto, levando em conta a temperatura de trabalho, definida pela temperatura de transição vítrea, superior do compósito 15% em relação à fenolite e equivalente à do EPS reciclado, o novo material pode ser também considerado viável para uso na mesma aplicação.

4.3. ANÁLISE MECÂNICA

4.3.1. Ensaio de flexão e tração

Os resultados obtidos a partir do ensaio mecânico de flexão em três pontos e tração do polímero e dos compósitos estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados obtidos a partir do ensaio de flexão em três pontos e tração.

Material	Resistência à Flexão (MPa)	Módulo em Flexão (MPa)	Deformação em Flexão (%)	Resistência à Tração (MPa)	Módulo em Tração (MPa)	Deformação em Tração (%)
EPS Reciclado (Puro)	55,6 ± 9,2**	2817,8 ± 1246,5**	-	29,3*±3	-	-
Compósito 10%	45,3 ± 5,0	1905,3 ± 260,6	2,0± 0,3	25,5 ± 3,9	1999,3 ± 776,2	3,3±0,4
Compósito 15%	55,8 ± 2,6	2754,7 ± 226,2	1,4±0,3	33,2 ± 2,4	2827,3 ± 159,8	3,1±0,4
Fenolite	443,4±9,4**	13147,8±1053,9**	-	-	-	-

*Poletto et al., 2010; **Schmidt, 2012

Analisando os valores obtidos pelo ensaio de flexão foi possível verificar que o compósito de EPS reciclado reforçado com 10% de fibra de algodão apresentou valores de resistência e módulo em flexão médios 18,5% e 32,4%, respectivamente, menores quando comparados aos valores do EPS reciclado. Por outro lado, a adição de 15% em massa de fibras provocou uma diminuição de apenas 2,24% no valor médio do módulo do material e nenhuma alteração significativa na resistência à flexão.

O compósito com 15% em massa foi o que apresentou melhor desempenho em flexão dentre os materiais fabricados, como pode ser melhor observado nos gráficos das Figuras 19 e 20, visto que seu valor médio de resistência e módulo em flexão foi maior que para o compósito 10% e equivalente ao do EPS reciclado, além de apresentar os menores valores de desvio padrão e coeficiente de variação.

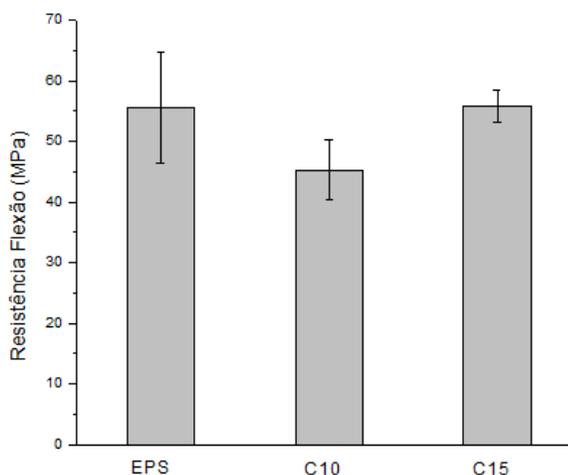


Figura 19 - Resistência à flexão do EPS reciclado(puro) e dos compósitos.

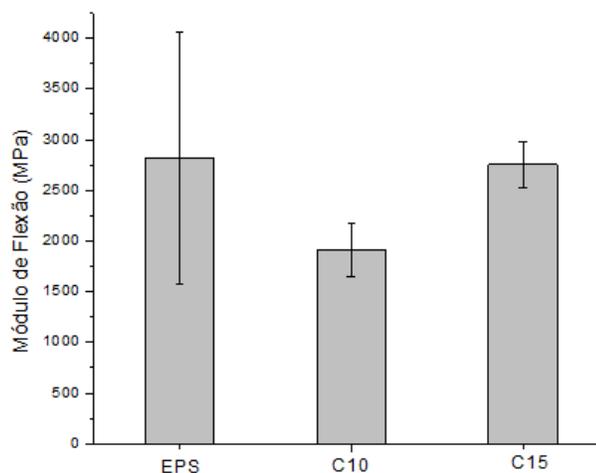


Figura 20 - Módulo em flexão do EPS reciclado(puro) e dos compósitos

Analisando os valores médios de resistência à tração e de módulo em tração foi possível verificar que a adição de 15% de fibras à matriz de poliestireno provocou uma melhora de 13,3% na resistência à tração média do material, enquanto que a adição de apenas 10% de fibras provocou uma diminuição de 12,97% na mesma propriedade.

A adição de 15% de fibras também proporcionou um aumento de 41,4% do módulo médio em tração do material e, conseqüentemente, uma redução de 0,2% na deformação média total, em relação à adição de 10% de fibras.

O compósito com 15% em massa também apresentou melhor desempenho em tração dentre os materiais fabricados, visto que seu valor médio de resistência à tração foi maior quando comparado ao compósito 10% e ao EPS reciclado, além de apresentar melhor reprodutibilidade de resultados, observados através dos valores de desvio padrão e coeficiente de variação, representados nos gráficos das Figuras 21 e 22 e nos dados da Tabela 7.

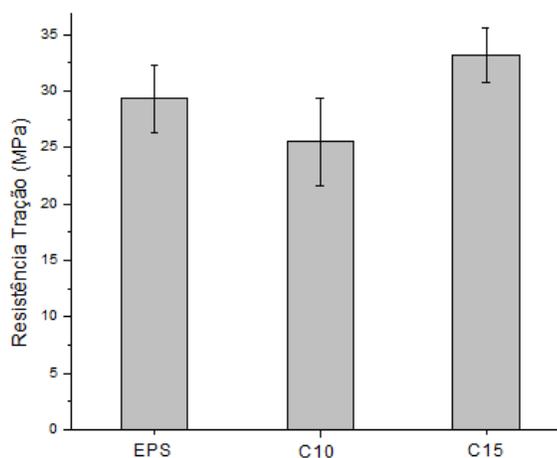


Figura 21 - Resistência á tração do EPS puro e dos compósitos

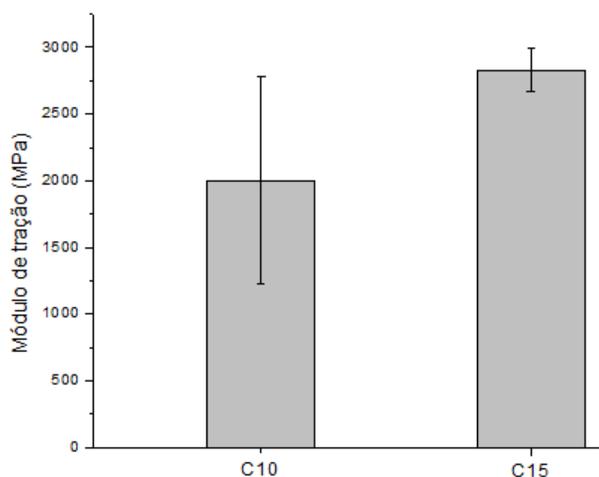


Figura 22 - Módulo de tração dos compósitos

Após análise das propriedades mecânicas em flexão e tração, podemos indicar o compósito 15% como o melhor em termos de controle de processamento e homogeneidade dos componentes devido a seus baixos valores de desvio padrão. Os coeficientes de variação em flexão e em tração deste compósito também indicaram pouca variabilidade entre os corpos de prova, garantindo confiabilidade aos ensaios e validando o resultado.

Analisando portanto todos os valores obtidos nos ensaios mecânicos, considerando os valores de desvio-padrão, é possível concluir que os teores de fibras utilizados não foram suficientes para alterarem significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos em relação ao polímero puro. Porém, a confiabilidade dos resultados para os compósitos é maior do que para o EPS reciclado puro, o que favorece a escolha dos compósitos como materiais a serem priorizados para uso.

Em relação ao EPS puro reciclado, a utilização do compósito 15% também apresenta a vantagem de substituir parte do material sintético, de fonte não renovável, por fibra natural, que é um material que seria descartado e que provém de fonte renovável.

O EPS reciclado e os compósitos mostraram-se com propriedades, em tração e em flexão, expressivamente inferiores em relação à Fenolite. Isso indica que o compósito com fontes recicladas necessitam de melhorias com relação às solicitações de carga em flexão e tração.

4.4. ANÁLISE DIELÉTRICA

A constante dielétrica determina como um material interage com um campo elétrico e é definida como o quociente entre a permissividade elétrica de um meio e a do vácuo. Esta constante depende da distribuição de cargas no material e das polarizações iônica e eletrônica (TOSATO; AIRTON; MARTIN, 2008).

É muito importante para um material ser isolante elétrico quando aplicado em placa de circuito impresso, isto porque o material da placa não deve interagir com o circuito impresso na mesma.

Os resultados da análise dielétrica dos compósitos C10% e C15% mostraram que os materiais não interagem com o campo elétrico, portanto não apresentam características de um material condutor, sendo classificados como materiais isolantes.

4.5. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

As imagens da superfície de fratura dos compósitos ensaiados em flexão e tração estão apresentadas nas Figuras 23 e 24, respectivamente.

Analisando as imagens obtidas da superfície de fratura após o ensaio de flexão, podemos observar nas imagens das Figuras 23(a) e 23(c) a presença de vazios na matriz de poliestireno, formados provavelmente devido a falhas durante o processo de injeção. Nas imagens das Figuras 23 (b) e 23 (d) é possível verificar regiões de boa adesão fibra/matriz e regiões com falta de adesão e a presença de arrancamentos de fibras, também conhecidos como *pull-out*.

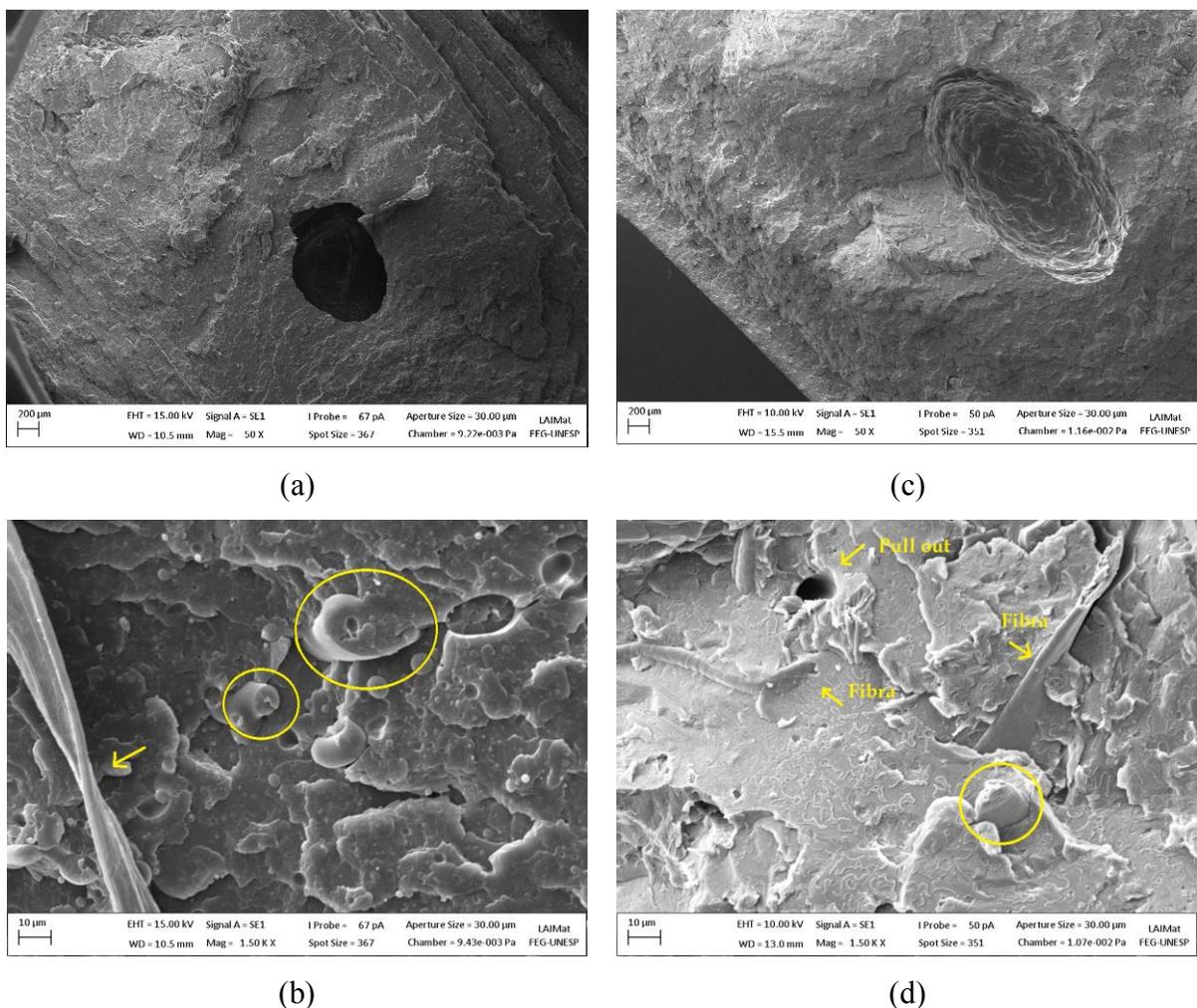
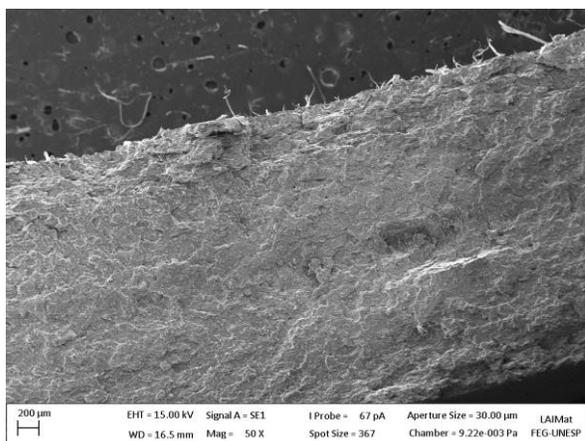


Figura 23 - Imagens de MEV da superfície de fratura em flexão dos compósitos de EPS reforçados: (a), (b) com 10% e (c), (d) com 15% de fibras de algodão.

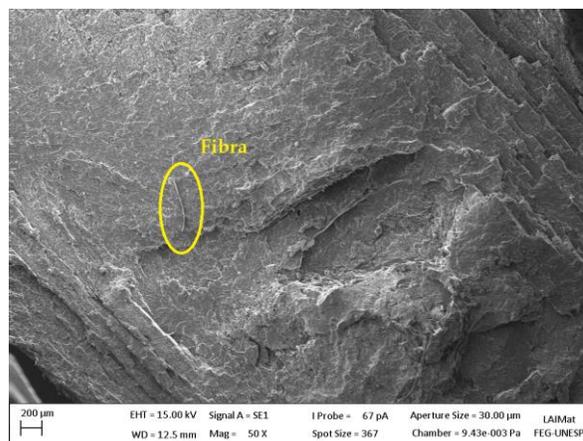
Nas imagens da superfície de fratura em tração é possível identificar na Figura 24(a) concentração de fibras nas extremidades do corpo de prova, e dessa forma, indicando distribuição não homogênea das fibras ao longo da matriz polimérica.

Nas Figuras 24(b) e 24 (c) verificam-se fibras envoltas totalmente pela matriz polimérica de poliestireno, indicando boa interface entre fibra e matriz em alguns pontos do corpo de prova de tração do compósito 10%.

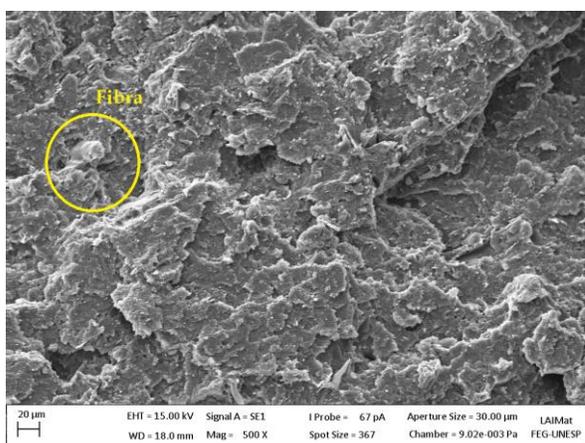
A Figura 25 mostra marcas de arrancamento de fibras da matriz (*pull out*), o que indica também a presença de falta de adesão entre fibra e matriz em algumas regiões. O efeito de arrancamento também foi observado por Benini et al. (2010) após análise em MEV de compósito de HIPS reforçado com fibras de coco.



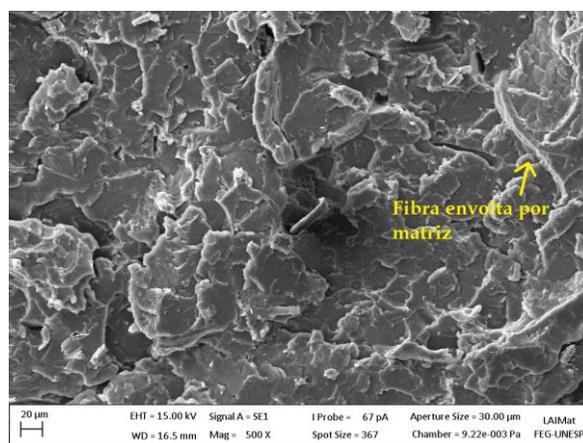
(a)



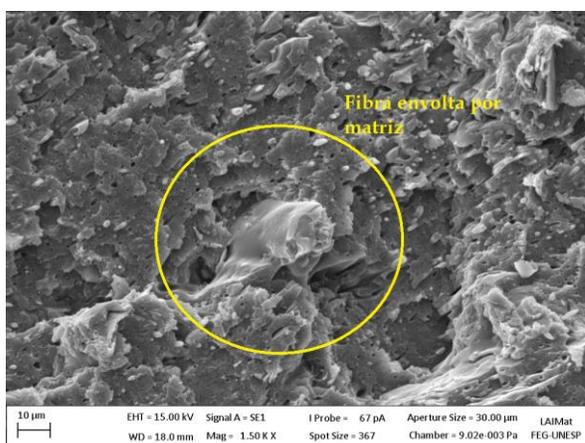
(d)



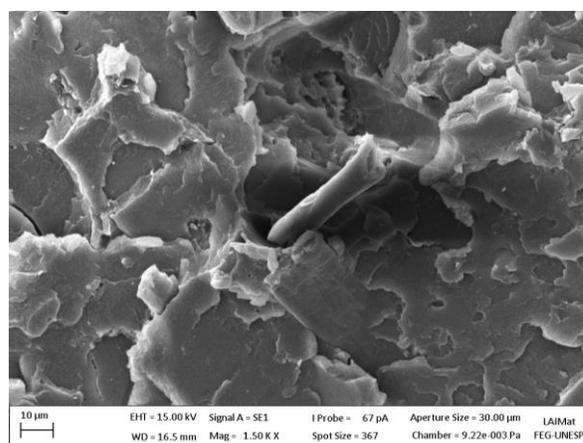
(b)



(e)



(c)



(f)

Figura 24 - Imagens de MEV de corpos de prova de tração dos compostos de EPS reforçados: (a), (b), (c) com 10% e (d), (e), (f) com 15% de fibras de algodão

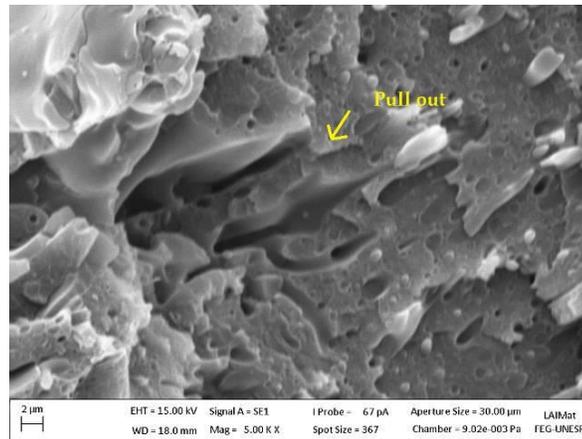


Figura 25 - Imagem de MEV de corpo de prova de tração, compósito 10%

Analisando as imagens 24 (d), 24 (e) e 24 (f) do compósito 15%, observamos que a Figura 24(d) mostra a matriz polimérica e uma fibra aparente ao longo da superfície. A Figura 24(e) evidencia uma boa adesão entre fibra/matriz, mostrando uma fibra totalmente envolta por matriz polimérica. A Figura 24(f) mostra uma interface ruim entre fibra e matriz, visto que foca uma fibra rompida e um vão entre fibra/matriz.

Comparando os resultados da análise de microscopia da fratura com os resultados das propriedades mecânicas dos compósitos foi possível observar que os compósitos C10%, apesar da boa adesão obtida entre fibra e matriz em alguns pontos, apresentou pouca homogeneidade, o que justifica os valores de resistências a tração e flexão médios serem inferiores às do polímero reciclado.

Portanto, a diminuição das propriedades de resistência média à tração e à flexão pode ser atribuída pela heterogeneidade do compósito. Outro fator foi que o teor de fibras utilizado foi, provavelmente, inferior à fração volumétrica crítica, a partir da qual as fibras agiriam como reforço do compósito. Ou seja, com adição de 10% de reforço, as fibras, provavelmente, agiriam como defeitos e não como reforço (IOZZI; MARTINS; MATTOSO, 2004).

Para o compósito de poliestireno reforçado com 15% de fibras de algodão, foi possível observar que existiu boa interface em alguns pontos do material, apesar de nem todas as fibras estarem totalmente aderidas á matriz. Ocorreu também uma melhor distribuição das fibras na matriz polimérica.

Desta maneira, o fato de não ter havido alteração na resistência média em flexão e um pequeno aumento na mesma propriedade em tração pode ser explicado pela boa distribuição das

fibras ao longo da matriz, pelos pontos nos quais houve adesão fibra/matriz e pelo fato de o teor de fibras utilizado ter sido superior à fração volumétrica crítica a partir da qual as fibras agiriam como reforço no compósito (IOZZI; MARTINS; MATTOSO, 2004).

5. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que é possível a confecção de um material compósito à base de poliestireno expandido reciclado via fusão e reforçado com fibras de algodão para aplicação em circuitos impressos.

A adição de fibras de algodão ao poliestireno expandido alterou as propriedades térmicas do material resultando em temperaturas de início de degradação inferiores ao do poliestireno reciclado para os teores de 10% e 15% de fibra. Contudo, essa diminuição na temperatura de degradação não é significativa no caso deste trabalho, levando em conta a faixa de temperatura de trabalho a qual o material pode ser submetido.

Através da análise DSC foi possível verificar que a adição de 15% de fibras de algodão ao poliestireno reciclado provocou um aumento na temperatura de transição vítrea do material, enquanto que a adição de 10% de fibras provocou a diminuição desta mesma temperatura. A temperatura de transição vítrea determinou a temperatura de trabalho dos materiais compósitos, e o melhor resultado foi obtido para o compósito com 15% de fibras.

Quanto às propriedades mecânicas, os melhores resultados também foram obtidos para os compósitos com 15% de reforço, uma vez que nos compósitos com 10% de fibras as mesmas atuaram como cargas e não como agente de reforço.

A análise dielétrica caracterizou o compósito como sendo um isolante elétrico, propriedade desejável para uma placa de circuito impresso.

Com base nas análises realizadas, foi possível verificar que com 15% de fibras de algodão o compósito de matriz poliestireno é mais apropriado para confecção de placas de circuito impresso. Portanto o material obtido atende aos requisitos de propriedades térmicas e isolantes, porém exigem melhorias quanto a solitação em flexão.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPA, *Associação Brasileira dos Produtores de Algodão*. Disponível em <http://www.abrapa.com.br/estatisticas/Paginas/default.aspx>. Acessado em setembro de 2013;

ABRAPEX, *Associação Brasileira do Poliestireno Expandido, Mercado de EPS e Reciclagem*. Disponível em Acessado em www.abrapex.com.br. Acessado em setembro de 2013;

ALBANO, C.; KARAM, A.; DOMÍNGUEZ, N.; SÁNCHEZ, Y.; GONZÁLEZ, J.; AGUIRRE, O.; CATANÕ, L. Thermal, Mechanical, Morphological, Thermogravimetric, Rheological and Toxicological Behavior of HDPE/ Seaweed Residues Composites. **Composite Structures**, v. 71, p. 282-288, 2005;

ALCOCEL E. G.; MAS V. F. Durability of expanded polystyrene mortars. **Construction and Building Materials**, v. 46, p. 175-182, 2013;

ALVES, C.; FERRÃO, P. M. C.; SILVA, A. J.; REIS, L. G.; FREITAS, M.; RODRIGUES, L. B.; ALVES, D. E. Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. **Journal of Cleaner Production**, v.18, p.313-327, 2010;

AMASS, W.; AMASS, A.; TIGHE, B. A review of biodegradable polymers: uses, current developments in the synthesis and characterization of biodegradable polyesters, blends of biodegradable polymers and recent advances in biodegradation studies. **Polymer International**, v. 47, p. 89-144, 1998;

BAJWA, S. G.; BAJWA, D. S.; HOLT, G.; COFFELT, T.; NAKAYAMA, F. Properties of thermoplastic composites with cotton and guayule biomass residues as fiber fillers. *Industrial Crops and Products*, v. 33, p. 747–755, 2011;

BENINI, K. C. C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/Fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**; Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011;

BLEDZKI A.K.; GASSAN J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, v. 24, p. 221-274, 1999;

BORSOI, C.; SCIENZA, L. C.; ZATTERA, A. J. Obtenção e Caracterização de Compósitos Utilizando Poliestireno como Matriz e Resíduos de Fibras de Algodão da Indústria Têxtil como Reforço. **Polímeros**, v. 21, nº 4, p. 271-279, 2011;

BRAATHEN, C. A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem, **In: 3º Encontro Mineiro de Ensino de Química**, Viçosa-MG, 2003;

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. Ed. LTC, 5ª edição, 2008;

CANEVAROLO Jr. S. V. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. Ed. ArtLiber, 1ª edição, 2004;

CERQUEIRA, V. Reciclagem de polímeros: Questões sócio-ambientais em relação ao desenvolvimento de produtos, **In: 9º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design**, São Paulo-SP, 2010;

CHAVES, A. L. O. **Os Polímeros Utilizados na Construção Civil e seus Subsídios**; Dissertação de Mestrado, EESC - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos-SP, 1998;

CHEE, P., DRAVE, X., JIANG, C.X., DECANINI, L., DELMONTE, T.A., BREDHAUER, R., SMITH, C.W., PATERSON, A.H. Molecular dissection of interspecific variation between *Gossypium hirsutum* and *Gossypium barbadense* (cotton) by a backcross-self approach: I. Fiber elongation. **Theor Applied Genetics**, TAG 111, p. 757-763, 2005;

COLTRO, L.; GASPARINO, B. F.; QUEIROZ, G. C. Reciclagem de materiais plásticos: A importância da identificação correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, nº. 2, p. 119-125, 2008;

CORRADINI, E.; TEIXEIRA, E. M.; PALADIN, P. D.; AGNELLI, J. A.; SILVA, O. R. R. F.; MATTOSO, L. H. C. Thermal stability and degradation kinetic study of white and colored cotton fibers by thermogravimetric analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 97, nº. 2, p. 415-419, 2009;

DISSO, *Indústria de EPS*. Disponível em www.diiso.com.br. Acessado em Setembro de 2013;

DOBRICAU, L.; SREEKUMAR, P. A.; SAIHAH, R.; LEBLANC, N.; TERRIÉ, C.; GATTIN, R.; SAITER, J. M. Wheat flour thermoplastic matrix reinforced by waste cotton fibre: Agro-green-composites. **Composites: Part A**, v.40, p. 329-334, 2009;

EISENBERG, A. The glassy state and glass transition. **In: Physical properties of polymers**, American Chemical Society, Washington DC, 1984;

FAEPAPB, *Federação da agricultura e pecuária da Paraíba*. Disponível em <http://faepapb.com.br/noticias.php?id=793>. Acessado em Setembro de 2013;

FARIA, J. A. F.; FORLIN, F.J. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, nº. 1, p. 1-10, 2002;

FRANCA, A.B.M.; VIANA, M.F.A.; RODRIGUES, M.F. **Estudo comparativo entre laje convencional e lajes com blocos de EPS nas modernas construções de concreto armado**. UFP - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1997;

GRUPO POLIMEX, *Reciclabilidade y Ecologia*, 1997. Disponível em: <http://www.polimex.com.mx/new/ecolog.htm>. Acessado em Setembro de 2013;

GUO, J.; GUO, J.; XU, Z. Recycling of non-metallic fractions from waste printed circuit boards: A review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 168, p. 567-590, 2009;

HABIBI, Y.; EL-ZAWAWY, W.K.; IBRAHIM, M.M. DUFRESNE, A. Processing and Characterization of Reinforcement Polyethylene Composites Made with Lignocellulosic Fibers from Egyptian Agroindustrial Residue. **Composite Science and Technology**, v.68, p. 1877-1885, 2008;

HASHIMI, S. A. R.; DWIVEDI, U. K.; CHAND, N. Graphite modified cotton fibre reinforced polyester composites under sliding wear conditions. **Wear**, v.262, p. 1426-1432, 2007;

HUANG, K.; GUO, J.; XU, Z. Recycling of waste printed circuit boards: A review of current technologies and treatment status in China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 164, p. 399-408, 2009;

IBGE, *Instituto brasileiro de geografia e estatística*. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/datas/terra/ozonio.html>. Acessado em Agosto de 2013;

IOZZI, M. A.; MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C. Propriedades de compósitos híbridos de borracha nitrílica, fibras de sisal e carbonato de cálcio. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14, n. 2, p. 93-98, 2004;

JOSEPH, P. V.; OOMMEN, Z.; JOSEPH, K.; THOMAS, S. Melt rheological behaviour of short sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Journal of thermoplastic composite materials**, v. 15, nº.2, p. 89-114, 2002;

JOSEPH, P. V.; JOSEPH, K.; THOMAS, S.; PILLAI, C. K. S.; PRASAD, V. S.; GROENINCKX, G.; SARKISSOVA, M. The Thermal and Crystallization Studies of Short Sisal Fiber Reinforced Polypropylene Composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 34, p. 253-256, 2003;

JOSHI, S.V.; DRZAL, L.T.; MOHANTY, A.K.; ARORA, S. Natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 35, nº. 3, p. 371-376, 2004;

JUNIOR, C. F. Reciclagem de Materiais - Poliestireno expandido (Isopor), **In: 2º Forum Internacional de Resíduos Sólidos**, Ilhéus-BA, 2009;

KAMINSKY, W. *Ullmann's Encyclopedia of industrial Chemistry*. Ed. VCH Verlags, 1ª edição, 1992;

KAN, A.; DEMIRBOGA, R. A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. **Journal of materials processing technology**, v. 209, p. 2994-3000, 2009;

KIM, S. J.; MOON, J. B.; KIM, G. H.; HA, C. S. Mechanical properties of polypropylene/natural fiber composites: Comparison of wood fiber and cotton fiber. **Polymer Testing**, v. 27, p. 801-806, 2008;

KIRBAS, Z.; KESKIN N.; GÜNER, A. Biodegradation of Polyvinylchloride (PVC) by White Rot Fungi. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 63, n°. 3, p. 335-342, 1999;

LEE, S. Y.; CHOI, J. Effect of fermentation performance on the economics of poly(3-hydroxybutyrate) production by *Alcaligenes latus*. **Polymer Degradation and Stability**, v.59, p. 387-393, 1998;

LEI, Y.; WU, Q.; YAO, F.; XU, Y. Preparation and properties of recycled HDPE/natural fibre composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, n°.7, p. 1664-1674, 2007;

MANFREDI, L. B.; RODRÍGUEZ, E. S.; WLADYKA-PRZYBYLAK, M.; VÁZQUEZ, A. Thermal degradation and fire resistance of unsaturated polyester, modified acrylic resins and their composites with natural fibres. **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, n°. 2, p. 255-261, 2006;

MANO, B.; ARAÚJO, JR.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M.A. Polyolefin composites with curaua fibres: Effect of the processing conditions on mechanical properties, morphology and fibres dimensions. **Composites Science and Technology**, v.70, p. 29–35, 2010;

MANO, E. B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Ed.Edgard Blücher Ltda, 1ª edição, 1991;

MARCON, J. S., **Efeito da modificação da fibra de abacaxi sobre as propriedades mecânicas de compósitos poliméricos**; Trabalho de conclusão de curso, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012;

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposites. **Taylor & Francis Group, LLC**, v. 2, p. 39-97, 2005;

MULINARI, R.; VOORWALD, H.J.C.; CIOFFI, M.O.H.; LIMA, C.A.A.; BAPTISTA, C.A.P.R. and ROCHA, G.J.M. Composite materials obtained from textile fibres residue. **Journal of Composite Materials**, v. 45, n°. 5, p. 543-547;

NATURAL FIBRES, *Governmental site*. Disponível em <http://www.naturalfibres2009.org/en/fibres/cotton.html>. Acessado em Setembro de 2013;

NOGUCHI, T.; MIYASHITA, M.; INAGAKI, Y.; WATANABE, H. A New Recycling System for Expanded Polystyrene using a Natural Solvent. Part 1. A New Recycling Technique. **Packaging technology and science**, v. 11, p. 19-37, 1998;

NOGUCHI, T.; MIYASHITA, M.; INAGAKI, Y.; WATANABE, H. A New Recycling System for Expanded Polystyrene using a Natural Solvent. Part 2. Development of a prototype production system. **Packaging technology and science**, v. 11, p. 29-37, 1998;

NOGUEIRA, C. L.; MARLET, J. M. F.; REZENDE, M. C. Processo de obtenção de pré-impregnados poliméricos termoplásticos via moldagem por compressão a quente. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 9, nº. 3, p.1-1, 1999;

OLIVEIRA P. F. **Reciclagem de embalagens de alimentos produzidas a partir de poliestireno extrudado pós-consumo**. Dissertação de pós-graduação em engenharia química, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2006;

PANAYIOTOU, C.G. Glass transition temperatures in polymer mixtures. **Polymer Journal**, v.18, nº.12, p. 895-902, 1986;

PARDINI, L. C. L. N.; FLAMÍNIO. **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. Ed.Edgard Blucher, 1ª edição, 2006;

PASQUINI, D.; TEIXEIRA, E. M.; CURVELO, A. A. S.; BELGACEM, M. N.; DUFRESNE, A. Surface esterification of cellulose fibres: Processing and characterization of low-density polyethylene/cellulose fibres composites. **Composites Science and Technology**, v. 28, p. 193-201, 2008;

POLETO, M.; DETTENBORN, J.; ZATTERA, A. J.; ZENI, M. Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno expandido pós-consumo e serragem de *Pinus Elliottii*. **Revista Iberoamericana de polímeros**, v. 11, p. 169-177, 2010;

POLETO, M; DETTENBORN, J.; ZENI, M.; ZATTERA, J. A. Characterization of composites based on expanded polystyrene wastes and wood flour. **Waste Management**, v. 31, p. 779-784, 2011;

POLLETO, M., **Obtenção e caracterização de compósitos preparados com poliestireno expandido reciclado e pó de madeira**; Dissertação de mestrado, Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, 2009;

PRACHAYAWARAFORN, J.; SANGNITIDEJ, P.; BOONPASITH, P. Properties of thermoplastic rice starch composites reinforced by cotton fiber or low-density polyethylene. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, p. 425-433, 2010;

ROSA, D. S.; Lotto, N. T.; GUEDES, C. G. F. The use of roughness for evaluating the biodegradation of poly- β -(hydroxybutyrate) and poly- β -(hydroxybutyrate-co- β -valerate). **Polymer Testing**, v. 23, nº. 1, p. 3-8, 2004;

SAHEB, D.N.; JOG, J.P. Natural fiber polymer composites a review. **Advances in Polymer Technology**, v. 18, p. 351-363, 1999;

SANTOS, M.L.; LIMA, O.J.; NASSAR, E.J.; CIUFFI, K.J.; CALEF, P.S. Estudo das condições de estocagem de bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. **Química Nova**, v. 34, nº. 3, p. 507-511, 2001;

SCHMIDT, P. N. S., **A qualidade de placas de circuito impresso confeccionadas a partir de poliestireno reciclado**. Dissertação mestrado (engenharia mecânica), Faculdade de engenharia de Guaratinguetá -Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012;

SPINACE, M. A. S.; PAOLI M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, v.28, nº.1, p. 65-72, 2005;

TECELAGEM MANUAL, *site empresarial*. Disponível em <http://www.tecelagemmanual.com.br/algodao.htm>. Acessado em Setembro de 2013;

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials: a review. **Bioresource**, v. 2, n. 3, p. 472-499, 2007.

TECHNICAL INFORMATION. **Properties – General**. Ludwigshafen, Alemanha, 1992. Catálogo Técnico da Basf, nº. 22246, [CD-ROM];

TESSARI, J., ROCHA, J. C. Utilização de Poliestireno Expandido e Potencial de Aproveitamento de seus Resíduos na Construção Civil. **In: Workshop de Desempenho de Sistemas Construtivos**, Chapecó-SC, 2006.

TORIKAI, A.; HASEGAWA, H. Accelerated photodegradation of poly(vinyl chloride). **Polymer Degradation and Stability**, v. 63, nº. 3, p. 441-445, 1999;

TOSATO, M. G.; AIRTON, L. D.; MARTIN, A. Análise da constante dielétrica através do modelo harmônico, **In: XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica/VIII Encontro Latino Americano de Pós-graduação**, São José dos Campos – SP, 2008.

WALLENBERGER, F. T.; WESTON, N. Natural Fibers, Plastics and Composites. Ed.Kluwer Academic Publishers, 2004;

YAMAKI, S. B.; PEDROSO, G. A.; ATVARS, T. D. Z. O estado vítreo dentro da perspectiva do curso de graduação em química (Físico-Química). **Química nova**, v. 25, nº.2, p 330-334, 2002;