



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS**  
**MATERIAIS**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO**  
**EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA:**  
**IMPERMEABILIZANTE DE SUPERFÍCIES.**

**Mestranda: Valéria Denise Barros Nunes**

**Orientadora: Prof. Dr. José Ribeiro dos Santos Júnior**

**Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Barbosa**

**Teresina – Piauí**

**2016**

**VALÉRIA DENISE BARROS NUNES**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO  
EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA:  
IMPERMEABILIZANTE DE SUPERFÍCIES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais – PPGCM da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Ciência dos Materiais.

**Orientador: Prof. Dr. José Ribeiro dos Santos Júnior**

**Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Barbosa**

**Teresina – Piauí**

**2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí  
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco  
Serviço de Processamento Técnico

N972c Nunes, Valéria Denise Barros.  
Caracterização do compósito formado por poliestireno expandido (EPS) e celulose microcristalina: impermeabilizante de superfícies / Valéria Denise Barros Nunes – 2016.  
92 f.  
Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Piauí, 2016.  
“Orientação: Prof. Dr. José Ribeiro dos Santos Júnior.”  
  
1. Compósitos. 2. Poliestireno Expandido. 3. Celulose Microcristalina. 4. Barbosa, Renata. I. Título.

CDD 541.3

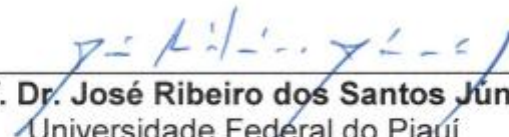
**VALÉRIA DENISE BARROS NUNES**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO  
EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA:  
IMPERMEABILIZANTE DE SUPERFÍCIES.**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais – PPGCM da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito para a obtenção do Grau de Mestre em Ciência dos Materiais.

**Aprovada em: 11/03/2016**

**Banca Examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Ribeiro dos Santos Júnior**  
Universidade Federal do Piauí  
Orientador

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. José Milton de Elias Matos**  
Universidade Federal do Piauí  
Examinador Interno

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Vicente Galber Freitas Viana**  
Instituto Federal do Piauí  
Examinador Externo

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ter me dado força e coragem durante esta jornada.

*“Tudo posso naquele que me fortalece”. Filipenses 4:13*

Dedico também esta conquista a minha família que sempre esteve ao meu lado dando todo o apoio necessário. Aos amigos que sempre me motivaram ao longo desse tempo. Ao meu orientador professor José Ribeiro dos Santos Júnior por toda colaboração e paciência durante a pesquisa.

Dedico este trabalho ao LIMAV, ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, a Universidade Federal do Piauí pela oportunidade e aos colaboradores do grupo Bioeletroquímica – UFPI.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que me deu saúde, sabedoria e compreensão durante esses dois anos de mestrado. Por nunca ter me abandonado nos meus momentos de fraqueza e por sempre me encorajar diante das dificuldades.

A toda a minha família, por entender e saber que era por um bem maior quando precisava me ausentar, em especial a minha mãe, Francisca Édina Barros e a meu pai Salustiano Nunes Barbosa por sempre me incentivar durante toda a minha trajetória e sempre me ajudar em tudo. Agradeço a meus avós dona Maria e seu Francisco que por muitas vezes assumiram o papel de pai e mãe, por sempre me motivar, me encorajar diante de todas as dificuldades.

Ao meu orientador professor José Ribeiro dos Santos Júnior, por aceitar me orientar desde o início de bom grado, por me ajudar durante toda a pesquisa com ensinamentos e sugestões, sempre me mostrando o caminho certo e tomar. Ao grupo de pesquisa bioeletroquímica em especial ao aluno Francisco Cardoso Figueiredo, Jéssica Lemos e Inês Maria pelo incentivo e ajuda durante o mestrado. A palavra obrigada é pouco para expressar tudo que devo agradecer.

A melhor turma de mestrado que alguém poderia ter (turma 2014.1), foram pessoas maravilhosas que levarei sempre comigo a amizade de todos, em especial Jefferson, Dilson, Raquel, Luiz Brito, Alexandro e Armystrong por todo o apoio, por sempre me ajudar com o trabalho, sempre estar a disposição quando necessário, assistir minhas prévias dando críticas e sugestões para melhorar tanto o trabalho escrito como o trabalho sob a forma de apresentação

dialogada. Pela amizade nos momentos difíceis da pesquisa. Agradeço a todos de coração.

As minhas amigas Raquel, Raizza, Amanda e Carla por sempre me motivar, me encorajar, me animar e sempre estarem ao meu lado durante toda minha trajetória desde a graduação. Sempre amarei vocês meus amores!

A toda a equipe do LIMAV e PPGCM, em especial Kelson por me ajudar em tudo que precisasse durante o mestrado, amizade que levarei por toda a vida.

Aos professores da banca José Milton de Elias Matos, Luiz Fernando Meneses Carvalho e Vicente Galber Freitas Viana por todas as colaborações e sugestões para a evolução desta pesquisa.

A toda a equipe técnica da UFPI que realizaram as análises necessárias para a execução deste trabalho.

A Universidade Federal do Piauí por toda a oportunidade dada e pela bolsa CAPES concedida. Agradeço em especial ao reitor José Arimatéia Dantas Lopes, por sempre me ajudar quando necessário e ser além de professor, um grande amigo que sei que sempre poderei contar. Muito obrigada por tudo!

## Sumário

Lista de figuras .....	III
Lista de tabelas .....	V
Lista de abreviatura e símbolos.....	VI
Resumo .....	VIII
Abstract .....	IX
1. Introdução .....	1
2. Referências bibliográficas .....	3
<b>CAPÍTULO I: Compósitos formados por poliestireno expandido (EPS) e celulose microcristalina: Uma revisão .....</b>	<b>5</b>
Resumo .....	7
Abstract .....	8
1. Introdução .....	9
<b>Polímeros .....</b>	<b>9</b>
1.1 Poliestireno .....	11
1.2 Poliestireno Expandido (EPS) .....	13
1.3 Reciclagem de EPS .....	14
2 Fibras Naturais .....	17
2.1 Celulose .....	19
2.2 Celulose Microcristalina .....	20
2.3 Inserção de fibras naturais a compósitos poliméricos .....	22
3 Resinas Impermeabilizantes .....	26
4 Referências .....	28
<b>CAPÍTULO II: Caracterização do compósito formado por poliestireno expandido (EPS) e celulose microcristalina: Impermeabilizantes de superfícies .....</b>	<b>29</b>
Resumo .....	31
Abstract .....	32
1 Introdução .....	33
1.1 Materiais poliméricos: Definições e aspectos gerais .....	33
1.2 Poliestireno .....	35
1.2.1 Poliestireno Expandido .....	36



1.3 Reciclagem de EPS .....	38
1.4 Celulose .....	40
1.5 Celulose Microcristalina .....	41
1.6 Incorporação de fibras naturais a compósitos poliméricos.....	42
2 Parte Experimental.....	43
2.1 Materiais.....	44
2.1.1 Preparação do poliestireno expandido .....	44
2.1.2 Celulose microcristalina.....	45
2.2 Preparação do compósito Poliestireno Expandido (EPS) / Celulose Microcristalina .....	45
2.3 Preparação dos filmes de Poliestireno Expandido e do compósito Poliestireno Expandido (EPS) / Celulose Microcristalina .....	47
2.4 Caracterização .....	48
2.4.1 Microscopia Eletrônica de Varredura .....	48
2.4.2 Espectroscopia na Região do Infravermelho – FTIR (ATR) .....	48
2.4.3 Análise Termogravimétrica (TG) .....	48
2.4.4 Calorimetria Exploratória Diferencial .....	49
2.4.5 Ensaio de Absorção de Água .....	49
3. Resultados e discussão.....	50
3.1 Microscopia eletrônica de varredura .....	50
3.2 Espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).....	53
3.3 Análise termogravimétrica (TG) e (DTG).....	57
3.4 Calorimetria exploratória diferencial (DSC) .....	63
3.5 Ensaio de absorção de água.....	66
4. Conclusões.....	67
5. Referências .....	69
Considerações finais .....	73

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO I: COMPÓSITOS FORMADOS POR POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA: UMA REVISÃO**

Figura 1- Processo de polimerização do poliestireno .....	10
Figura 2 – Diversas formas de reaproveitamento do EPS .....	14
Figura 3 – Esquema estrutural das fibras do material lignocelulósico.....	15
Figura 4 – Constituição de uma fibra vegetal .....	16
Figura 5 – Estrutura da celulose e as interações das ligações de hidrogênio intramolecular e intermolecular .....	17
Figura 6– Esquema com regiões amorfas e cristalinas da celulose.....	18
Figura 7 – Principais produtores mundiais de resina termoplástica .....	20

### **CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA: IMPERMEABILIZANTES DE SUPERFÍCIES**

Figura 1 – Reação de polimerização do poliestireno.....	33
Figura 2 – Geração e destinação do lixo produzido no Brasil .....	37
Figura 3 - Materiais que compõem o lixo .....	37
Figura 4 – Estrutura da celulose.....	38
Figura 5 – Peças de EPS destinadas ao reaproveitamento .....	41
Figura 6 – Foto do EPS triturado.....	43
Figura 7 – Esquema do banho de areia com temperatura controlada.....	45
Figura 8 – Resultado de MEV para as porcentagens: (a) EPS/CM 1%, (b) EPS/CM 3%, (c) EPS/CM 5%, (d) EPS/CM 10% .....	50

Figura 9 - Resultados de MEV para as porcentagens: (e) EPS/CM 20%, (f) EPS puro e (g) e (h) cristais de CMC .....	51
Figura 10 – Espectros de infravermelho para o EPS e a Celulose Microcristalina .....	52
Figura 11 – Espectros de infravermelho para EPS puro e os compósitos formados com as diferentes proporções de celulose microcristalina .....	53
Figura 12 – Curvas termogravimétricas para o EPS e a CMC .....	56
Figura 13 – Curvas DTG para EPS e CMC .....	57
Figura 14 – Curva termogravimétrica dos compósitos formados por EPS e CMC em diferentes proporções e dos materiais puros.....	59
Figura 15 – Curvas DTG para os compósitos formados por EPS/CMC e os materiais puros.....	60
Figura 16- Curva de DSC para o EPS e a CMC.....	61
Figura 17 – Curva de DSC para os compósitos formados EPS/CMC e os materiais puros.....	61
Figura 18 – Curva de absorção de água dos compósitos e do EPS puro .....	65

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO I: COMPÓSITOS FORMADOS POR POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA: UMA REVISÃO**

Tabela 1 – Classificação dos polímeros quanto à fusibilidade, subdivididos em termoplásticos e termofixos.....	34
Tabela 2 - Principais características do EPS.....	12

### **CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA: IMPERMEABILIZANTES DE SUPERFÍCIES**

Tabela 1 – Porcentagem nos compósitos dos constituintes CMC e EPS.....	46
Tabela 2 – Valores em massa dos filmes dos compósitos e do EPS puro antes e após imersão.....	66

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ASTM – *American Standard for Testing and Methods*

ATR – Reflexão total atenuada

C – Átomo de carbono

CFC – Clorofluorcarboneto

CIS – *Commnwealth of independent states*

CMC – Celulose microcristalina

CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono

C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> – Molécula de glicose

cm<sup>-1</sup> – Centímetros à menos um

DSC – Calorimetria exploratória diferencial

DTG – Termogravimetria diferencial

EPS – Poliestireno expandido

EU-CH-NO (União Européia, Suíça e Noruega)

EUA – Estados Unidos

FTIR – Infravermelho com transformada de Fourier

G – Gramas

H<sub>2</sub>O – Água

H – Átomo de hidrogênio

L – Litro

m<sub>inicial</sub> – Massa em gramas do filme antes da imersão

m<sub>t</sub> – Massa absorvida pelo filme após a imersão

m<sup>3</sup> – metro cúbico

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

Min – minuto

mL – mililitros

O – Átomo de oxigênio

O<sub>2</sub> – Molécula de Oxigênio

P.A. – Para análise

PE – Polietileno

PET – Polietileno tereftato

PP – Polipropileno

OS – Poliestireno

PVC – Policloreto de vinila

rpm – rotações por minuto

TG ou TGA – Termogravimetria ou análise termogravimétrica

Tg – Temperatura de transição vítrea

W/g – Fluxo de calor

% – Porcentagem

°C – Graus Celsius

u.a. – Unidades arbitrárias

## RESUMO

O trabalho apresenta a formação de compósitos em várias proporções formados por poliestireno expandido como matriz polimérica e celulose microcristalina como fibra de reforço. Posteriormente foi testada a sua capacidade de reter água. O Material será submetido a experimentos de impermeabilização de superfícies, dado o seu caráter hidrofóbico. A formação dos compósitos se deu por aglomeração realizada com o auxílio de uma adaptação de banho de areia com temperatura controlada. A influência da concentração da celulose microcristalina, nos compósitos foi avaliada por MEV, sendo possível a observação de que a maior dispersão ocorre nos filmes de baixas porcentagens de CMC. Para as medidas de infravermelho, com transformado de Fourier, foram observadas as bandas características dos dois materiais e as possíveis relações entre ambos. Nas análises termogravimétricas (TGA) identificou-se que os compósitos possuem boa estabilidade térmica quando comparados ao EPS puro. As medidas de calorimetria exploratória diferencial (DSC) mostraram que não existem interações químicas entre os materiais. Os ensaios de absorção de água evidenciaram que a quantidade e dispersão de celulose microcristalina na superfície dos compósitos conferem aos materiais uma alta absorção.

**Palavras-chave:** compósitos, poliestireno expandido, celulose microcristalina.

## ABSTRACT

The paper presents the formation of composites in various ratios formed by expanded polystyrene as polymer matrix and microcrystalline cellulose as reinforcing fiber. It was subsequently tested for their ability to retain water. The material will be subjected to experiments waterproofing surfaces, given its hydrophobic character. The formation of the composite is given by agglomeration carried out with the aid of a sand bath temperature-controlled adjustment. The influence of the concentration of microcrystalline cellulose in the composites was evaluated by SEM, it being possible to observe that the largest dispersion occurs in low percentages of CMC films. For infrared measurements with Fourier transformed, the characteristic bands of the two materials and the possible relationships were observed between them. In the thermogravimetric analysis (TGA) was identified that the compounds have good thermal stability when compared to pure EPS. Differential scanning calorimetry measurements (DSC) show that there are no chemical interactions between materials. Water absorption tests showed that the amount and microcrystalline cellulose dispersion on the surface of composite materials to provide high absorbency.

**Keywords:** composites, polystyrene, microcrystalline cellulose.



## INTRODUÇÃO

Com a evolução da humanidade, o homem vem buscando alternativas e desenvolvendo tecnologias que melhorem e garanta a sobrevivência da espécie. Diversos avanços foram observados com o passar dos anos nas áreas da saúde, alimentação, comunicação, transporte e etc. A maior parte das transformações ocorridas se deve ao fato de termos materiais, adequados e disponíveis, que transformam ideias em realidade (OLIVEIRA, 2013). Nos último anos, grande parte dessas mudanças ocorreram devido a descoberta e ao uso dos polímeros sintéticos como novos materiais, pois os mesmos apresentam características que são 100% reaproveitáveis, recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima. Materiais como borrachas sintéticas, plásticos e fibras sintéticas revolucionaram as áreas dos setores automotivos, eletroeletrônicos, têxteis, embalagens, medicina e etc (HAGE, 1998).

Os polímeros podem ser de origem natural ou sintética. Os sintéticos são obtidos através de reações (polimerizações) de moléculas simples (monômeros) fabricados comercialmente. Os polímeros podem ser classificados de acordo com sua composição (homopolímeros ou copolímeros), quanto ao comportamento mecânico (elastómeros) e quanto ao seu comportamento de fusibilidade que podem ser (termoplásticos e termofixos ou termorrígidos). (SPINACÉ, 2005; LIMA e SOUZA, 2011).

Partindo deste contexto, dentre os polímeros sintéticos o poliestireno, e em especial o poliestireno expandido (EPS) merece destaque, devido a sua grande utilização e infinidade de aplicações como, por exemplo, materiais de isolamento, recobrimento e proteção, no setor de transportes, na indústria de

alimentos, em produtos eletrônicos, e, embalagens em geral entre outras aplicações (BORSOI, 2013).

O EPS foi descoberto pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz na Alemanha em 1949. É considerado um plástico rígido, obtido por meio de um processo de polimerização do estireno com a água. No seu processamento é realizado uma reação de enxertia para a transformação do EPS, utilizando como agente expensor o gás pentano sendo degradado rapidamente por reação fotoquímica gerada pelos raios solares, não comprometendo o meio ambiente. Suas desvantagens são, a sua rigidez dependendo da aplicação e não ser biodegradável ocasionando a geração de resíduos, porém os EPS são recicláveis (ABRAPEX, 2015; SILVA, 2002).

Diante da utilização do EPS, e conseqüentemente os resíduos sólidos gerados por ele no meio ambiente, surgiu a necessidade do seu reaproveitamento. O EPS pertence à classe dos polímeros sintéticos, os quais são utilizados em larga escala em trabalhos para a formação de compósitos com fibras naturais incorporadas a matriz polimérica, tendo como objetivo tornar mais rápida a degradação.

Segundo Rubira, *et. al.* (2009) as fibras lignocelulósicas representam matérias primas de características excelentes para a química de polímeros e compósitos. A adição de fibras nesses materiais representa uma atividade econômica em franco desenvolvimento, gerando conhecimento científico e tecnológico, associado a uma atividade produtiva. A elevada disponibilidade das fibras lignocelulósicas aliada à necessidade da criação de materiais oriundos de fontes renováveis abrem muitas oportunidades para avanços tecnológicos.

Tavares e Santos (2013) afirmam que dentre as fibras lignocelulósicas a celulose microcristalina apresenta-se como um reforço promissor para a química de polímeros e compósitos, pois em seu processamento são eliminadas por hidrólise ácida as regiões amorfas dos polímeros. A celulose é encontrada em larga escala, sendo derivada da polpa de madeira altamente purificada.

Considerando a situação apresentada a dissertação está dividida em dois capítulos: no primeiro foi realizada uma revisão acerca dos temas poliestireno expandido, celulose microcristalina, incorporação de fibras naturais a compósitos poliméricos e sistemas impermeabilizantes; no segundo encontram-se relatados os resultados dos experimentos para determinação de propriedades térmicas, morfológicas, espectroscopia no infravermelho e ensaio de absorção de água.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAPEX. (2015). Associação Brasileira de Poliestireno Expandido: Informações gerais. Disponível em: <[www.abrapex.com.br/62Recicla02.html](http://www.abrapex.com.br/62Recicla02.html)> Acesso em: 12 jun. 2015.

Borsoi, C., Scienza, L. C., Zattera, A. J. (2012). Characterization of composites based on recycled expanded polystyrene reinforced with curaua fibers. *Journal of applied polymer science*, 653-659.

Hage, E., Jr. (1998). Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 8, 2.

Lima, R M. F. de; Souza, V. V. de. Polímeros Biodegradáveis: Aplicação na Agricultura e sua Utilização como Alternativa para a Proteção Ambiental. *Revista Agrogeoambiental* - Abril/2011.

Oliveira, Lívia Souza de. Reaproveitamento de resíduos de poliestireno expandido(isopor) em compósitos cimentícios / Lívia Souza de Oliveira. – 2013. 75f; Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de São João del-Rei. Departamento de Engenharia Mecânica

Rubira, A. F., Silva, R., Haraguchi, S. K., Muniz, E. C. (2009). Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Química Nova*, 32, 661-671.

Silva, G. A. (2002). Compatibilização de blendas acetato de celulose e poliestireno com viniltriacetoxissilano: comportamento morfológico e biodegradação. Tese de doutorado em Química. Universidade Estadual de Campinas.

Spinacé, M. A. F., Paoli, M. A. (2005). A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, 28, 65-72.

Tavares, M. I. B., Santos, F. A. (2013). Preparo e Caracterização de Filmes Obtidos a Partir de Poli (Ácido Lático) e Celulose Microcristalina. *Polímeros*, 23, 229-235.

## **CAPÍTULO 1**

### **COMPÓSITOS FORMADOS POR POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA (CMC): UMA REVISÃO**

# **COMPÓSITOS FORMADOS POR POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA (CMC): UMA REVISÃO**

*Valéria Denise Barros Nunes<sup>1\*</sup>; Renata Barbosa<sup>2</sup> e José Ribeiro dos Santos Júnior<sup>3</sup>;*

*<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Centro de Tecnologia – CT,  
Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI.*

*<sup>2</sup> Curso de Graduação em Engenharia de Materiais e Programa de Pós-Graduação em Ciência  
dos Materiais, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI.*

*<sup>3</sup> Curso de Graduação em Química / CCN e Programa de Pós-Graduação em Ciência dos  
Materiais, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI.*

## RESUMO

Com o passar dos anos os polímeros sintéticos sofreram um aumento na sua utilização devido às suas propriedades, tais como: a durabilidade, a resistência e o baixo custo de produção, fazendo com que estes fossem colocados em uma série de aplicações. Em decorrência da sua utilização houve um aumento na produção de resíduos gerados e lançados no meio ambiente. Para reaproveitamento dos polímeros sintéticos não existe uma legislação estabelecida ou local para que seja feito o descarte adequado. Dessa forma, a incorporação de fibras naturais a polímeros sintéticos vem sendo estudada com o intuito de proporcionar uma nova aplicação ao material ou acelerar a sua degradação, diminuindo consideravelmente a quantidade de resíduos descartados no meio ambiente. Diante do exposto, o presente capítulo apresenta uma revisão sobre materiais compósitos tendo como matriz polimérica o poliestireno expandido e como fibra a celulose microcristalina, reciclagem de EPS e sistemas impermeabilizantes.

**Palavras-chave:** compósitos, poliestireno expandido, celulose microcristalina.

## ABSTRACT

Over the years the synthetic polymers have experienced an increase in their use because of its good properties as durability, strength and low production cost, causing them to be used for a range of applications. With its wide use there is also an increase in the number of generated waste released into the environment as synthetic polymers do not have a recycling policy or location for proper disposal is made. Based on this problem, the inclusion of natural fibers to synthetic polymers have been studied with the aim of giving the material a new application or accelerates degradation, considerably reducing the amount of waste discharged into the environment. Given the above, this chapter is a review of composite materials with polymer matrix as expanded polystyrene and fiber as microcrystalline cellulose, EPS recycling and waterproofing systems.

**Keywords:** composites, polystyrene, microcrystalline cellulose.



# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 POLÍMEROS: DEFINIÇÕES E ASPECTOS GERAIS**

No século 20 o avanço tecnológico no mundo recebeu uma importante contribuição com a descoberta dos polímeros. Os materiais poliméricos foram adaptados às necessidades tecnológicas. E são capazes de substituir materiais tais como, metais, cerâmicas em nas inúmeras aplicações do cotidiano, conferindo importantes características como o isolamento elétrico ou a condutividade. Os polímeros são constituídos por unidades de moléculas pequenas, chamados de monômeros, que se repetem inúmeras vezes, unidas por ligações covalentes ao longo de uma cadeia (HAGE JR., 1998; PITT et al, 2011).

O nome, polímero, foi popularizado pelo cientista J. Berzelius, em 1832, e seu conceito atual descrito apenas em 1922. Já com a descoberta da síntetização, cientistas pioneiros nessas técnicas como Staudinger e Wallace H. Carothers, criaram uma infinidade de materiais, que podem ser classificados em diversas categorias, estas que vão de acordo com a fusibilidade, tipo de reação, tipo de mecanismo, aplicações, estrutura molecular ou grupo funcionais, entre outros (HAGE JR., 1998; PITT et al, 2011; GUIMARÃES et al, 2014).

A classificação dos polímeros quanto à fusibilidade – parâmetro que mede a facilidade com que um material “derrete, se funde” – é muito utilizada; esta se subdivide em termoplásticos e termofixos (CORDEBELLO, 2003; PITT et al, 2011).

Tabela 1. Classificação dos polímeros quanto à fusibilidade, subdividida em termoplásticos e termofixos.

Classificação	Tipos de polímeros	Sigla (IUPAC)
<b>Termoplásticos</b>	Poliétileno	PE
	Polipropileno	PP
	Poliestireno	PS
	Poliestireno de alto impacto	PSAI
	Copolímero (estireno-acrilonitrila)	SAN
	Copolímero (etileno-acetato de vinila)	EVA
	Poli(cloreto de vinila)	PVC
	Poli(acetato de vinila)	PVAc
	Poli(cloreto de vinilideno)	PVDC
	Poli(metacrilato de metila)	PMMA
<b>Termofixos</b>	Epóxi	ER
	Fenol-formaldeído	PR
	Ureia-formaldeído	UR
	Melanina-formaldeído	MR
	Poliuretano	PU

Fonte: GUIMARÃES *et. al.*, 2014.

Os chamados termoplásticos são aquelas substâncias que quando submetidas a temperaturas (calor) e pressões, podem ser moldadas, de acordo com o formato requerido, por mais de uma vez; formam-se de macromoléculas lineares ou ramificadas, com ligações não-permanentes. Em contrapartida, os termofixos em sua primeira moldagem passam por uma cura, onde as ligações entre as macromoléculas são permanentes, dificultando uma possível nova fusão no material (CORDEBELLO, 2003; PITT *et al*, 2011).

No grupo dos grandes plásticos citados acima, cinco entram em destaque no mercado: os polietilenos, o polipropileno, o PVC, o PET e o poliestireno. O poliestireno, por exemplo, é produzido em larga escala, e justamente por isto contribui bastante para a poluição (impacto ambiental), porém, práticas de reciclagem inovadoras incentivam um novo olhar para este tipo de polímero (CORDEBELLO, 2003; RODRIGUES FILHO *et al*, 2008).

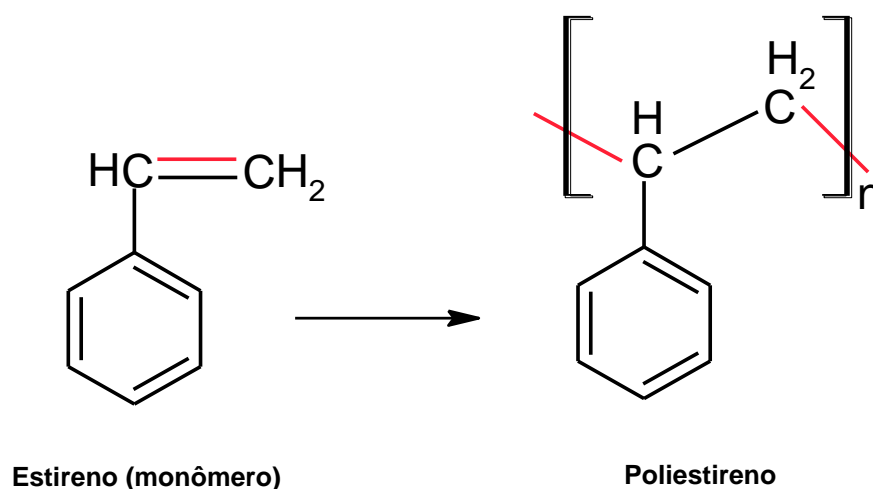
Polímeros também podem ser classificados como de origem natural e sintética, com massa molar na ordem de  $10^4$  a  $10^6$  formados pela repetição de unidades químicas e que são unidas por ligações covalentes ao longo de suas cadeias. Os polímeros também podem ser classificados em orgânicos e inorgânicos. Exemplos de polímeros naturais, são a seda, as fibras de algodão, etc. E sintéticos como o polipropileno (PP), o poli (tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o poli (cloreto de vinila) (PVC), o poliestireno (PS) e etc (SPINACÉ, M. A. S., PAOLI, M. A. 2005).

Segundo a IUPAC, os polímeros estão divididos em duas classes distintas: os termoplásticos (plásticos) e os termofixos (borrachas e fibras). O termo plástico vem do grego "*plastikus*" e significa material moldável, ou seja, são materiais que quando submetidos ao calor podem ser moldados de acordo com o formato desejado, por mais de uma vez. Estes são formados por ligações do tipo não permanentes. Os plásticos são materiais que quando aquecidos a cima de sua temperatura de "amolecimento" tornam-se fluidos passíveis de moldagem por ação isolada ou conjunto de calor e pressão. Já os denominados termofixos, em sua primeira moldagem, passam por um processo de cura, onde as ligações entre as macromoléculas são permanentes dificultando uma nova fusão do material. (CORDEBELLO, 2003; PITT *et al*, 2011; SPINACÉ, M. A. S., PAOLI, M. A. 2005).

## **1.2 POLIESTIRENO (PS)**

É um tipo de polímero sintético e pertencente a classe dos polímeros termoplásticos que em seu processo de polimerização une sucessivas moléculas do seu monômero estireno, como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Processo de polimerização do poliestireno.



Fonte: Autor.

O PS é uma das mais antigas resinas sintéticas, foi descoberto em 1831 e teve o seu primeiro plástico industrial introduzido na Alemanha e posteriormente no mundo em 1930. Esta diferença em anos entre a sua descoberta e a comercialização deve-se a descoberta de métodos satisfatórios para a produção de seu monômero o estireno, e a criação de um meio de se evitar o processo de polimerização durante as etapas de carregamento e estocagem do material. Sua produção em países tal como Estados Unidos se deu por volta do ano de 1937, a partir da criação do programa de borracha sintética da Segunda Guerra Mundial foram intensificadas as práticas para a produção em larga escala do estireno (ABRAPEX, 2000).

O poliestireno (PS) à temperatura ambiente é considerado um polímero vítreo que apresenta baixa resistência, devido à ausência de mobilidade de seus segmentos de cadeia, que por sua vez a Temperatura de Transição Vítreo (T<sub>g</sub>) ocorre na faixa de temperatura entre 90 °C e 100 °C, temperatura a partir

da qual acontecem a mobilidade de seus segmentos de cadeia que são responsáveis pela propagação de energia no material (GRASSI, V. G., FORTE, M. M. C., PIZZOL, M. F., 2001).

### **1.3 POLIESTIRENO EXPANDIDO – EPS**

EPS é produto conhecido no Brasil como Isopor. Foi descoberto no ano de 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz na Alemanha. O termo expandido vem do formato do processamento do material, onde pérolas de 0,4 a 2,5 mm de diâmetro podem ser ampliadas em até 50 vezes o seu tamanho original. O EPS é um derivado do petróleo é constituído de um polímero do hidrocarboneto estireno que é expandido pelo gás pentano. Uma pérola de EPS contém em massa 98% de ar e 2% de poliestireno (ABRAPEX, 2006).

EPS é amplamente utilizado como material de isolamento, proteção no setor de transportes, na indústria alimentícia, produtos eletrônicos e etc. O EPS geralmente perde suas propriedades físico-químicas em um tempo mais curto quando comparado aos produtos elaborados de poliestireno (PS) (BORSOI, C., SCIENZA, L. C., ZATTERA, A. J., 2012).

No processamento do EPS ocorre inicialmente a expansão do poliestireno com um agente pré-expansor por meio do aquecimento do material com vapor de água, o que resulta em um granulado de partículas constituído por células fechadas que se estabilizam e vão sendo armazenadas. Durante este procedimento o espaço do interior de cada célula fica composto de ar circundante. É importante ressaltar que os agentes expansores do processamento de EPS, não são utilizados nenhum gás clorofluorcarbono (CFC), mas sim o gás pentano, que é menos prejudicial ao meio ambiente e

que facilmente é degradado por reações fotoquímicas que agem rapidamente (ABRAPEX, 2006). A tabela 2 apresenta as principais características do EPS.

TABELA 2. Principais características do EPS.

**PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO EPS**

<b>BAIXA CONDUTIVIDADE TÉRMICA</b>	A estrutura das células fechadas dificulta a passagem de calor conferindo ao EPS a característica de isolante.
<b>EXPOSIÇÃO A TEMPERATURAS EXTREMAS</b>	Não se limita a baixas temperaturas, porém a altas temperaturas se limita na faixa de 80 °C à 100 °C.
<b>BAIXO PESO ESPECÍFICO</b>	Entre 9 kg/m <sup>3</sup> e 40 kg/m.
<b>RESISTÊNCIA MECÂNICA</b>	Possui boa resistência a compressão que varia de 7000 kgf/m <sup>2</sup> à 1400 kgf/m <sup>2</sup> .
<b>BAIXA ABSORÇÃO DE ÁGUA</b>	Absorve pouco, porém a umidade não interfere nas suas propriedades térmicas e mecânicas.
<b>DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA</b>	É permeável ao vapor de água.
<b>RESISTENTE AO ENVELHECIMENTO</b>	Tem vida útil de 150 anos e durante o transcorrer dela suas propriedades são inalteradas.

Fonte: Adaptado ABRAPEX, 2000.

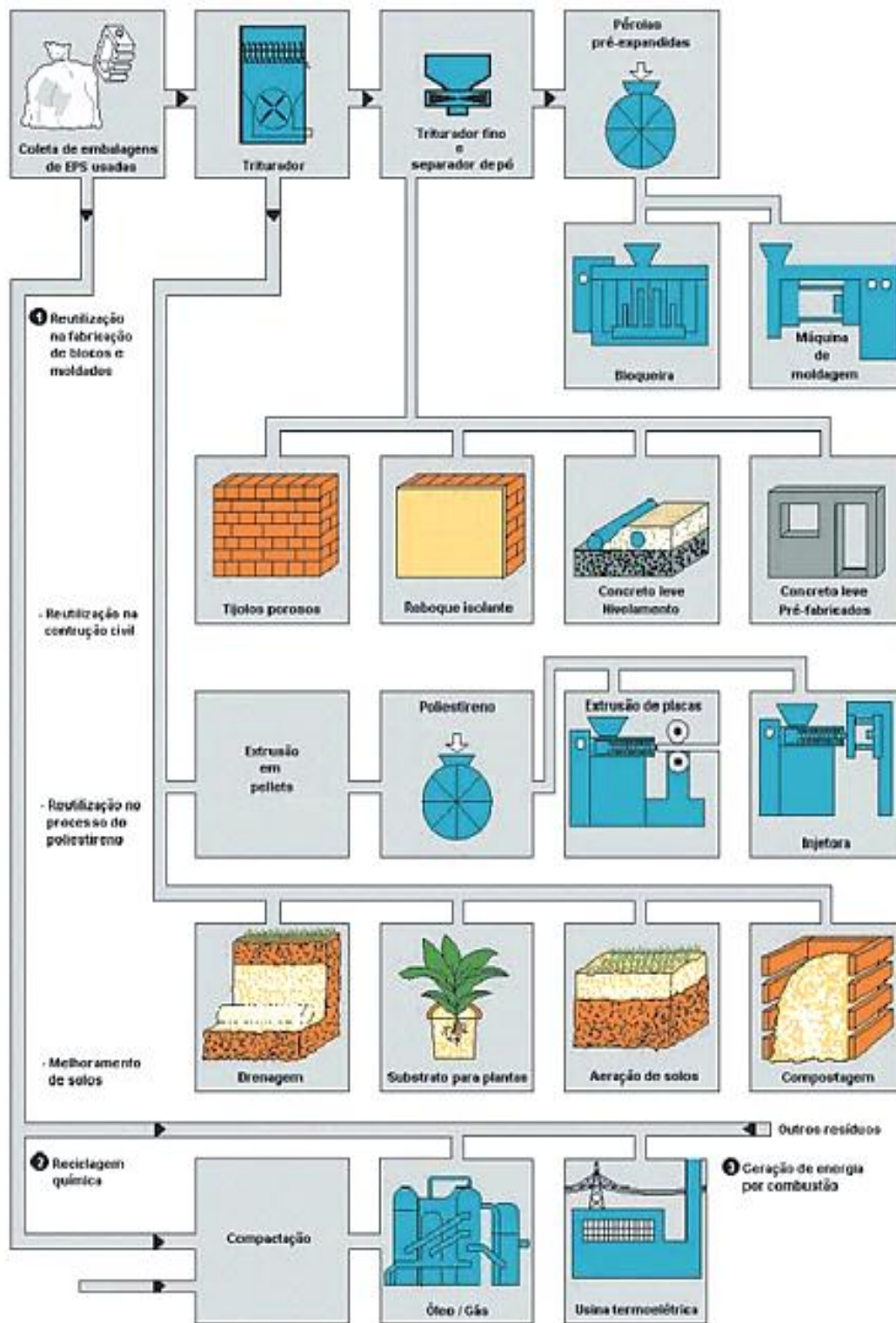
#### **1.4 RECICLAGEM DE EPS**

Apesar da grande variedade de polímeros sintéticos apenas os PE, PP, PS, PVC e o PET representam aproximadamente 90% do consumo nacional. No Brasil os principais termoplásticos são utilizados em: embalagens primárias (31%), descartáveis (22%), construção civil (14%), outros materiais (13%), produtos ao consumidor (6%), filmes (5%), eletrodomésticos (5%), fibras (3%) e setor automotivo (1%) (SPINACÉ, M. A. S., PAOLI, M. A. 2005).

O descarte de EPS tem promovido problemas para o Brasil, pois devido ao seu grande volume acaba por saturar os aterros sanitários. Este material não é considerado um contaminante e nem um poluente, mas gera um enorme problema pois demora a se decompor na natureza, estima-se que o tempo de vida do EPS seja cerca de 150 anos (ABRAPEX, 2000).

A reciclagem do EPS pode ser feita por via mecânica ou química. No processo de reciclagem mecânica pode ser viabilizado o reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão e etc.. Para se fazer uso da reciclagem mecânica são necessárias algumas etapas em sequência: 1) Separação do resíduo polimérico, 2) moagem, 3) lavagem, 4) secagem, 5) reprocessamento e transformação do polímero no produto final. Na reciclagem química os processos de despolimerização acontecem 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) (SPINACÉ, M. A. S., PAOLI, M. A. 2005). Na Figura 2 são apresentadas as diversas formas de reaproveitamento de EPS.

Figura 2. Diversas formas de reaproveitamento de EPS.



Fonte: (ABRAPEX, 2006)

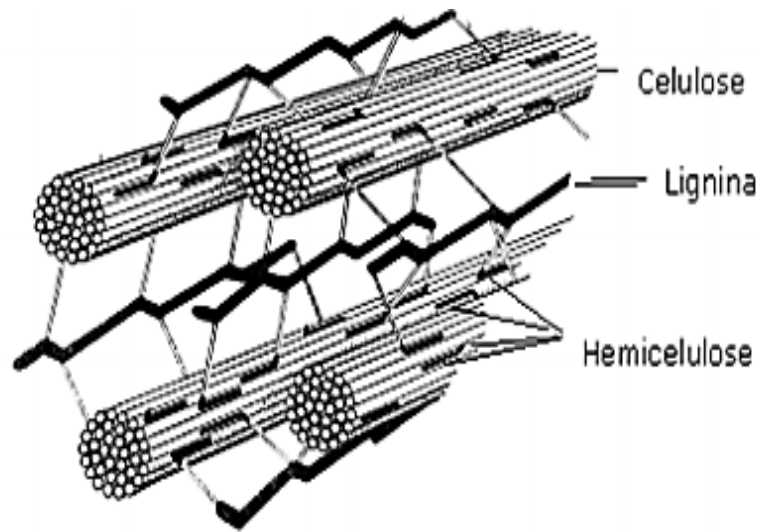


## **2 FIBRAS NATURAIS**

São materiais facilmente encontrados na natureza “*in natura*” e em larga escala. Apresentam geometria uniforme com diâmetro pequeno e natureza diferenciada, variando em suas propriedades físico-químicas. As fibras naturais apresentam como principais propriedades a capacidade de alongamento, resistência a temperatura, boa resistência mecânica, baixa densidade, baixo custo e enorme disponibilidade no mercado (MARINELLE, A. L., MONTEIRO, M. L., AMBRÓSIO, J. D., 2008).

As fibras naturais apresentam como seus principais constituintes a celulose, a hemicelulose e a lignina. Além desses constituintes também são encontrados compostos inorgânicos que podem ser extraídos com o auxílio de solventes orgânicos, como pectinas, carboidratos simples, terpenos, alcaloides, saponinas, polifenólicos, gomas, resinas, gorduras, graxas, entre outros. As plantas típicas são constituídas de 40% à 50% de celulose, 20% à 30% de hemicelulose e 20% à 28% de lignina, além dos outros constituintes em menor porcentagem (ROGALINSK, T., INGRAM, T., BRUNNER, G., 2008). A Figura 3 apresenta o esquema mostrando a representação de uma fibra lignocelulósica.

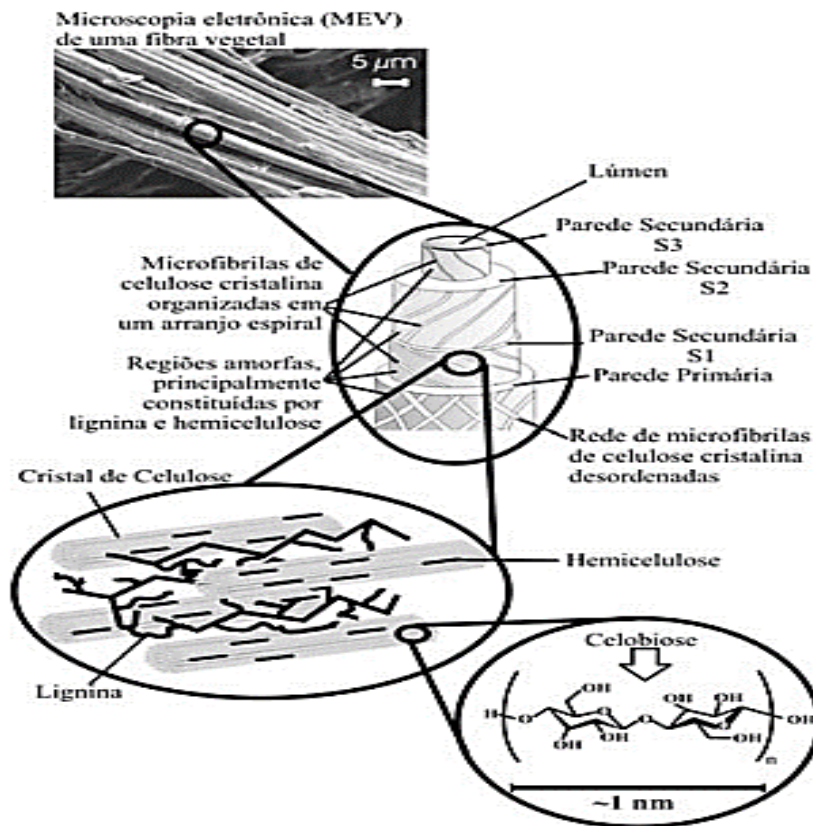
Figura 3. Esquema estrutural das fibras do material lignocelulósico.



Fonte: LEE, 1997; SILVA, 2010.

As fibras lignocelulósicas possuem uma estrutura de camadas complexas que são constituídas por uma parede primária fina que é depositada durante o crescimento das células, circundando uma parede secundária. A parede secundária por sua vez é constituída por três camadas (S1, S2 e S3), sendo que a camada de intermédio (S2) é a que determina as propriedades mecânicas da fibra, consistindo em uma série de microfibrilas helicoidalmente formadas por longas cadeias de celulose que são organizadas no mesmo sentido que a fibra. A Figura 4 apresenta o esquema de composição de uma fibra vegetal.

Figura 4. Constituição de uma fibra vegetal e a imagem de MEV da fibra do eucalipto.

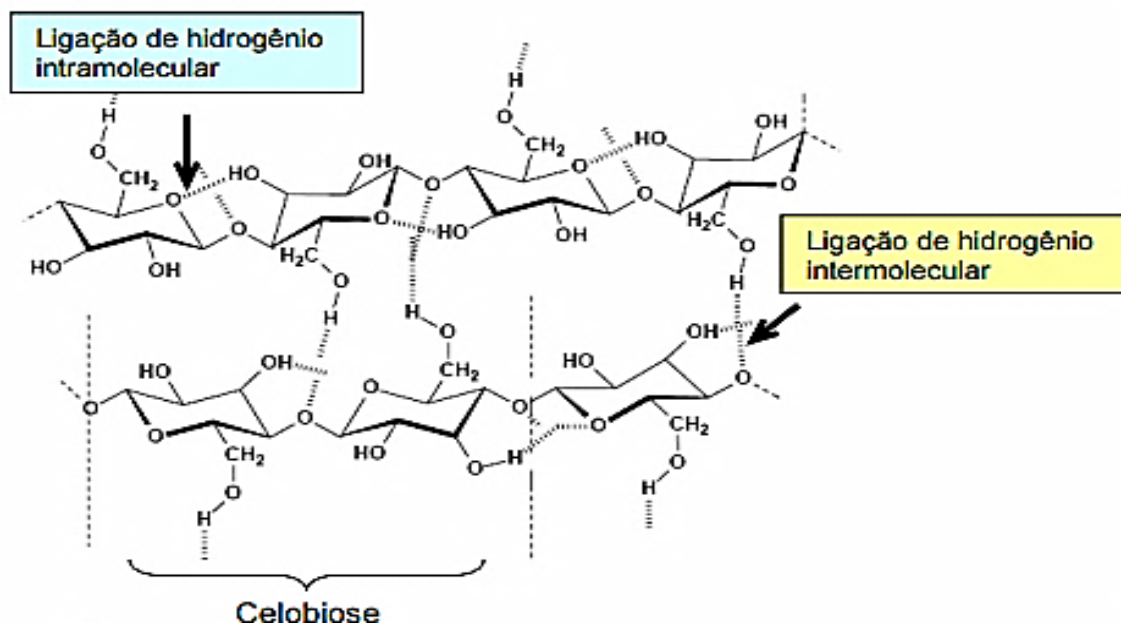


Fonte: (RUBIRA, 2009)

## 2.2 CELULOSE

Representa cerca de 23% à 50% da biomassa lignocelulósica e provem do processo natural de fotossíntese das plantas. Possui estrutura linear e chegar a conter até 15.000 unidades de  $\beta$ -D-glicose unidas por ligações glicosídicas na posição  $\beta$ -1,4 carbono-carbono e por ligações de hidrogênio intramoleculares (ligações entre unidades de glicose da mesma molécula) e intermoleculares (entre unidades de glicose de moléculas adjacentes) (ARANTES, V. & SADDLER, 2010; MOHANTY, 2005). A Figura 5 apresenta a estrutura de celulose, bem como as ligações de hidrogênio intramolecular e intermolecular.

Figura 5. Estrutura da celulose e as interações das ligações de hidrogênio intramolecular e intermolecular.



Fonte: Morais, 2005.

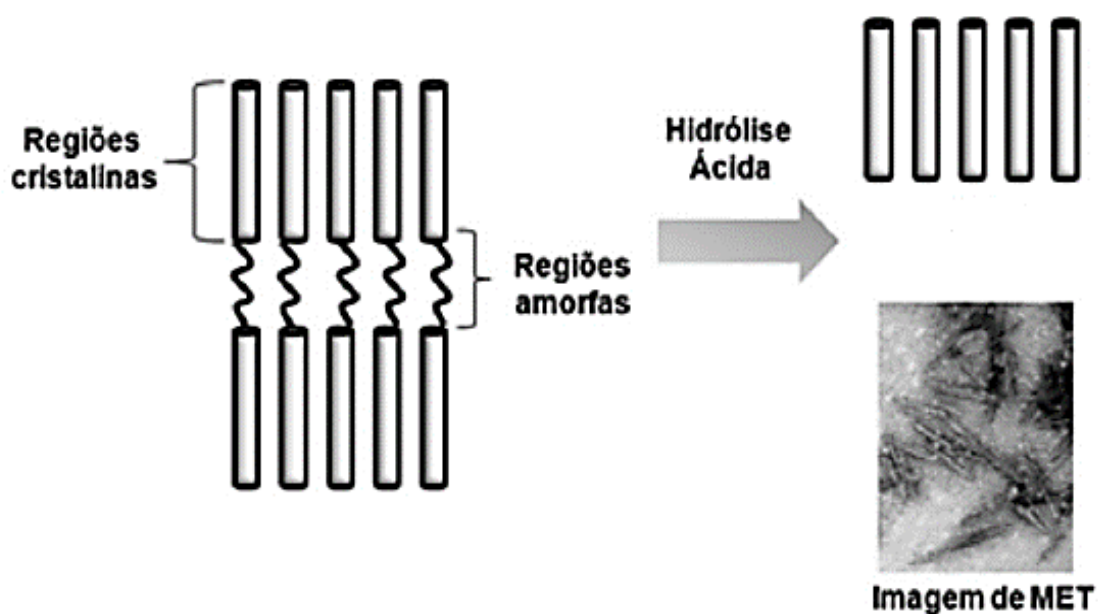
A rigidez da molécula provém das ligações intermoleculares e as ligações intramoleculares são responsáveis pela formação de fibrilas, que são estruturas altamente ordenadas que se organizam formando as fibras de celulose. Nas regiões cristalinas, as fibras possuem resistência a tração, ao alongamento e à solvatação (absorção de solventes) do que na região amorfa, que confere a maior flexibilidade a fibra (VÁSQUEZ et al., 2007).

## **2.2 CELULOSE MICROCRISTALINA**

A celulose é um material de origem vegetal de maior abundância na terra, conferindo a característica de rigidez à parede celular das plantas. É um polissacarídeo de cadeia linear onde a unidade repetitiva é a celobiose. A

celulose microcristalina passa por procedimentos onde pode ser obtida em larga escala a partir da polpa de madeira e que por hidrólise ácida perde todas as regiões não cristalinas do material, ou seja, o material após o tratamento apresenta um alto índice de cristalinidade. A Figura 6 apresenta o esquema do processo de hidrólise ácida da celulose.

Figura 6. Esquema com as regiões amorfas (mais suscetíveis à hidrólise) e cristalinas de celulose.



Fonte: Adaptado de PEREIRA, *et. al.*, (2014).

A celulose microcristalina pode ser composta por microfibras fragmentadas apresentando diâmetro entre 5 e 10 nm e comprimento de 100 nm a alguns micrômetros, conferindo uma elevada área superficial ao material. A aplicação de materiais que possuem uma elevada área superficial como reforço é considerado um bom método para promover uma boa interação entre

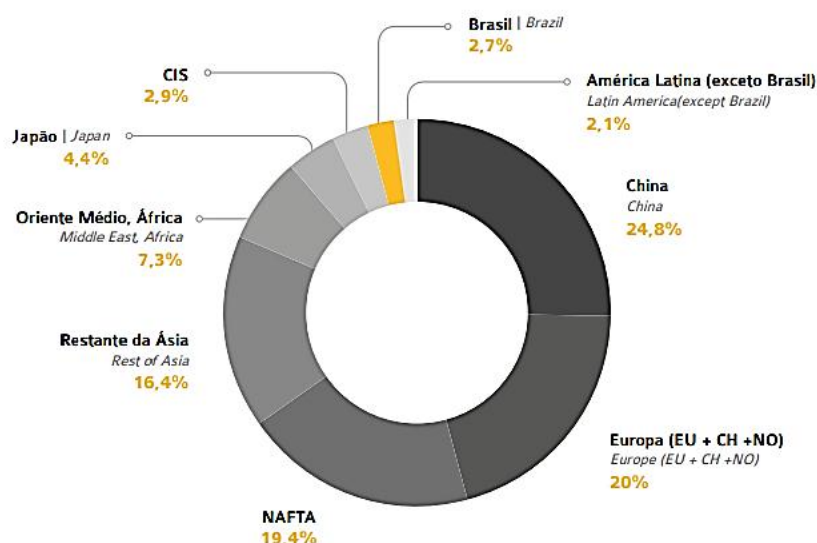
a fibra e a matriz polimérica, pois melhoram as propriedades mecânicas, a estabilidade dimensional e a estabilidade térmica (RAMIRES, *et. al.* 2010).

### **2.3 INSERÇÃO DE FIBRAS NATURAIS A COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**

Ao longo dos anos, aumento no uso dos plásticos e evolução nas suas aplicações, que trouxe para a sociedade mais comodidade e praticidade. O crescimento da indústria petroquímica e da indústria de transformados plásticos, ocorreu, quando a Alemanha e EUA lideraram os progressos tecnológicos devido à descoberta de produtos derivados do petróleo e artigos plásticos que posteriormente foram difundidos pelo mundo. Materiais importantes, como a fibra de nylon e as de PET, para a confecção de tecidos e janelas de aviões, foram feitas a partir do acrílico (ABIPLAST, 2014).

A Figura 7 apresenta os principais produtores mundiais de resina termoplásticas. A sigla CIS (Commnwealth of Independent States) representa os países Armênia, Belarus, Cazaquistão, Federação Russa, Moldávia, Quirguistão, Tadjiquistão, Turcomenistão, Ucrânia, Uzbequistão, Geórgia e Azerbaijão. A Europa (EU + CH + NO) compreende a União Europeia, Suíça e Noruega. Destacando-se o Brasil, que sozinho apresenta uma maior porcentagem em relação a todos os países da América Latina juntos.

Figura 7. Principais produtores mundiais de resina termoplástica.



Fonte: ABIPLAST, 2014.

O interesse mundial pela química limpa, sem o uso de produtos tóxicos vem crescendo nos últimos anos, pois utiliza em suas tecnologias produtos que possuem um menor impacto ambiental, diante deste contexto materiais produzidos a partir de plásticos sintéticos tem recebido uma maior atenção devido a sua forma de processamento. Na produção destes materiais os produtos finais não são biodegradáveis e os mesmos são originados de fontes não renováveis, o que representa um problema para a sociedade (RUBIRA, 2009).

Em busca de garantir que a sustentabilidade ocorra, diversas pesquisas na área de materiais poliméricos e compósitos estão sendo desenvolvidas no intuito de melhorar a vida da sociedade e preservar o meio ambiente. Nesse cenário uma vertente que vem crescendo é a de preparação dos materiais

incluindo a utilização de fibras naturais durante as formas de processamento (RUBIRA, 2009).

Os compósitos termoplásticos são oriundos de uma matriz polimérica, sendo esta contínua ou descontínua de resina que possui o reforço das partículas de madeira, com o objetivo de associar suas melhores propriedades, como por exemplo, a baixa massa específica, alta estabilidade dimensional e a reforçada resistência à corrosão, o que o torna distinto de outros materiais (BORSOI, C., SCIENZA, L. C., ZATTERA, A. J., ANGRIZANI, C. C., 2011).

A utilização de fibras vegetais merece destaque em razão da enorme variedade de fibras presentes na natureza que são denominadas materiais lignocelulósicos. Essas fibras podem ser cultivadas em diversas atividades agrícola e também podem ser geradas a partir de resíduos provenientes da agroindústria (RUBIRA, 2009).

A tecnologia empregada na produção de compósitos termoplásticos reforçados com o auxílio de fibras lignocelulósicas, utilizam como produto principal materiais que tenham uma maior disponibilidade e que tenha facilidade para se adequar aos sistemas de produção empregados, como por exemplo, sistemas que utilizem a fusão dos materiais. Durante a fusão desses compósitos o calor afeta negativamente as maioria das propriedades desses materiais, entretanto na busca de manter inalteradas tais propriedades novos tipos de plásticos e processamentos têm sido avaliados para a elaboração de materiais compósitos, dando destaque ao poliestireno (PS) e o polietileno tereftalato (PET) que por sua vasta disponibilidade e dureza tem se mostrado



bastante eficazes para uma série de aplicações (BORSOI, C., SCIENZA, L. C., ZATTERA, A. J., ANGRIZANI, C. C., 2011).

A necessidade de uma fonte renovável para o processamento dos polímeros aliada a grande disponibilidade das fibras lignocelulósicas na natureza, abrem oportunidades para pesquisas que agreguem valores aos produtos gerados e que atuem na fixação de carbono na natureza, consequentemente reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> durante a produção, o processamento e a utilização dos materiais (RUBIRA, 2009).

A celulose por sua vez, vem sendo muito aplicada como reforço para produção de compósitos de polímeros termoplásticos, revelando-se altamente benéfica, pois melhora a resistência e tenacidade dos plásticos. É também um material barato, biodegradável e flexível, possuem baixa densidade e não trazem malefícios a saúde (MANIKANDAN, 2001).

As indústrias de papel, celulose e agregados que representam em torno de 220 empresas conhecidas mundialmente que produzem anualmente cerca de 10,1 milhões de toneladas de celulose, entretanto no Brasil estima-se produzir aproximadamente 8,6 milhões de toneladas de papel. A produção anual corresponde a 1,4% do produto interno bruto (PIB), fazendo do Brasil o sétimo maior produtor de celulose e líder na produção da celulose tipo fibra curta e o 11º na produção de papel. O papel e a celulose no Brasil são produzidos exclusivamente a partir do reflorestamento de árvores plantadas em áreas degradadas, evitando o corte desnecessário de árvores nativas (MANIKANDAN, 2001).

A capacidade de aderência da fibra celulósica à matriz polimérica torna-se prejudicada devido à existência de água livre e grupos OH provenientes das regiões amorfas dos materiais que, com a elevada tendência a absorção de água da fibra de celulose provoca na mesma um inchaço e efeitos de plasticidade ocasionando em uma instabilidade dimensional e baixas propriedades mecânicas. A incompatibilidade entre os materiais se torna responsável por uma baixa aderência entre a fibra e a matriz polimérica e baixa dispersão das fibras causando uma diminuição das propriedades mecânicas dos materiais, fazendo-se necessário na maioria das vezes de um agente compatibilizante (BORSOI, C., SCIENZA, L. C., ZATTERA, A. J., ANGRIZANI, C. C., 2011).

### **3 RESINAS IMPERMEABILIZANTES**

Segundo a NBR 9575/2003, a impermeabilização resulta de um conjunto de componentes e serviços que tem como objetivo principal a proteção das construções e materiais em geral contra a ação devastadora de fluidos, de vapores e da umidade.

A impermeabilização é de fundamental importância na durabilidade dos materiais, pois agentes trazidos através da água e os poluentes existentes no ar causam danos irreversíveis às estruturas além de prejuízos financeiros difíceis de serem controlados. Segundo Righi (2009) sistemas impermeabilizantes apresentam uma infinidade de aplicações, com destaque para uma grande área da construção civil, onde a principal função é proteger as edificações dos malefícios causados por infiltrações, eflorescências e vazamentos.

A impermeabilização ainda representa uma das principais preocupações para o setor da construção civil, devido os efeitos negativos causados nas edificações. É um problema que esta fora do nosso alcance visual e que se negligenciada ou feita sem um material adequado pode causar muitos danos, dentre eles podemos destacar as doenças respiratórias causadas por mofo e bolores gerados em superfícies úmidas. Segundo Righi (2009) a desinformação sobre as técnicas e materiais para impermeabilização são os principais problemas, acarretando em insucessos durante os processos. Muitas construtoras só dedicam atenção a impermeabilização ao final da obra obtendo diversos prejuízos. Por não haver previsão nos detalhes e imprevistos geram-se diversas falhas.

Por outro lado, vários estudos vem sendo feitos no sentido de criar sistemas impermeabilizantes feitos a partir de polímeros termoplásticos, destacando-se os estudos com poliestireno na forma expandida (EPS), por apresentar baixa absorção de água, resistência ao envelhecimento e ser inócuo, ou seja, não constitui substrato para a proliferação de microrganismos (AMIANI, M.I., BOTARO, V.R., 2008).

Segundo a norma ASTM D570 o teor de umidade de um plástico está intimamente relacionado com propriedades tais como a resistência elétrica, a força mecânica, a aparência e as dimensões do material. Os efeitos destas propriedades podem ser afetados pelo teor de umidade absorvida. A absorção de água depende da forma e do tipo de exposição que o material sofreu, ou por imersão em água, ou por exposição à alta umidade, estando sujeito as propriedades intrínsecas do plástico. Para sistemas homogêneos e não homogêneos a taxa de absorção de água pode ser variada da superfície para

as extremidades, e para ter uma maior precisão na correlação dos valores de absorção em água, faz-se necessário a pesagem do material.

#### 4.REFERENCIAS

ABIPLAST. (2014). Associação Brasileira da Indústria do Plástico. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas> > Acesso em: 10 nov. 2015.

ABRAPEX. (2006). Associação Brasileira de Poliestireno Expandido: Informações gerais. Disponível em: <[www.abrapex.com.br/62Recicla02.html](http://www.abrapex.com.br/62Recicla02.html)> Acesso em: 10 ago. 2015.

Amianti, M. I., Botaro, V. R. (2008). Concreto impregnado com polímero (CIP): uso e aplicação do EPS reciclado para redução da permeabilidade de superfícies de concreto. *Revista Matéria*, 13, 664-673.

Arantes, V., Saddler, J. N. (2010). Access to cellulose limits the efficiency of enzymatic hydrolysis: the role of amorphogenesis. *Biotechnology for Biofuels*, 3, 1-11.

ASTM D570. (2010). Standard Test Method for Water Absorption of Plastics.

Borsoi, C., Scienza, L. C., Zattera, A. J. (2012). Characterization of composites based on recycled expanded polystyrene reinforced with curaua fibers. *Journal of applied polymer science*, 653-659.

Borsoi, C., Scienza, L. C., Zattera, A. J., Angrizani, C. C. (2011). Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. *Polímeros*, 21, 271-279.

Cordebello, F. S. (2003). Polímeros do futuro: Tendências e Oportunidades. *Polímeros*, 13, 4-43.

Grassi, V. G., Forte, M. M., Pizzol, M. F. (2001). Aspectos morfológicos e relação estrutura-propriedades de poliestireno de alto impacto. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 11, 158-168.

Lee, J. (2007). Biological conversion of lignocellulosic biomass to ethanol. *Journal of Biotechnology*, 56, 1–24.

Manikandan Nair, KC., Sabu, T., Groeninckx, G. (2001). Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. *Composites Science and Technology*, 61, 2519-2529.

Marinelli, A. L.; Monteiro, M. R.; Ambrósio, J. D.; Branciforte, M. C.; Kobayashi, M.; Nobre, A. D. (2008). Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade da Amazônia. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18, 92-99.

Mohanty, A. K.; Misra, M.; Drzal, L. T. (2005). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites, Boca Raton, *Taylor and Francis*. 896.

Morais, S.A.L.; Nascimento, E.A.; Melo, D.C. (2005). Chemical analysis of Pinus oocarpa wood PARTE I – quantification of macromolecular components and volatile extractives. *Revista Árvore*, 29, 461-470.

NBR 9575. (2010). Impermeabilização – Seleção e projeto.

Pereira, F. A., Paula, E. L., Mesquita, J. P., Lucas, A. A., Mano, V. (2014). Bionanocompósitos preparados por incorporação de nanocristais de celulose em polímeros biodegradáveis por meio de evaporação de solvente, automontagem ou eletrofiação. *Química Nova*, 37, 1209-1219.

Pitt, F. D., Boing, D., Barros, A. A. C. (2011). Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. 9, 10-11.

- Ramires, E. C., Megiatto Jr, J. D., Gardrat, C., Castellan, A., Frollini, E. (2010). Biocompósitos de matriz glioxal-fenol reforçada com cellulose microcristalina. *Polímeros*, 20, 126-133.
- Righi, G. V. (2009). Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – análise de casos, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria.
- Rogalinski, T., Ingram, T., Brunner, G. (2008). Hydrolysis of lignocellulosic biomass in water under elevated temperatures and pressures. *The Journal of Supercritical Fluids*, 47, 54-63.
- Rubira, A. F., Silva, R., Haraguchi, S. K., Muniz, E. C. (2009). Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Química Nova*, 32, 661-671.
- Silva, N. L. C. (2010). Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria de celulose, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Silva, R.; Haraguchi, Shirani, K.; Muniz, E. C.; Rubira, A. F. (2009). Aplicação de fibras lignocelulósicas na química de polímeros em compósitos. *Química Nova*, 32, 661-671.
- Spinacé, M. A. S., Paoli, M. A. (2005). A tecnologia da reciclagem de polímeros. *Química Nova*, 28, 65-72.
- Vásquez, M.P.; Silva, J. N. C.; Souza Jr., M.B.; Pereira Jr., N. (2007). Enzymatic hydrolysis optimization to ethanol production by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, v. 12,137-140.

## **CAPÍTULO 2**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO  
EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA:  
IMPERMEABILIZANTE DE SUPERFÍCIES.**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO FORMADO POR POLIESTIRENO  
EXPANDIDO (EPS) E CELULOSE MICROCRISTALINA:  
IMPERMEABILIZANTE DE SUPERFÍCIES.**

*Valéria Denise Barros Nunes<sup>1\*</sup>; Renata Barbosa<sup>2</sup> e José Ribeiro dos Santos Júnior<sup>3</sup>;*

*<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Centro de Tecnologia – CT,  
Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI.*

*<sup>2</sup> Curso de Graduação em Engenharia de Materiais e Programa de Pós-Graduação em Ciência  
dos Materiais, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI.*

*<sup>3</sup> Curso de Graduação em Química / CCN e Programa de Pós-Graduação em Ciência dos  
Materiais, Centro de Tecnologia – CT, Universidade Federal do Piauí, Teresina – PI.*



## RESUMO

O EPS como resíduo sólido no meio ambiente representa um problema ambiental e reaproveitar esse material é necessário. Neste trabalho foram preparados compósitos EPS/CMC 1, 3, 5, 10 e 20%. Para a obtenção do compósito foi elaborado um banho de areia com temperatura controlada, para aglomeração e misturas dos constituintes. As análises das micrografias sugerem que ocorreu maior dispersão nos compósitos com menores concentrações de CMC. Os gráficos de FTIR indicam que não ocorreu interações entre os materiais, revelando a presença de CMC nas bandas de  $3200\text{ cm}^{-1}$  à  $3500\text{ cm}^{-1}$  conforme a concentração foi aumentada. Para as análises de TG e DTG, foi evidenciados 2 estágios de perda de massa para celulose e apenas 1 estágio para o EPS. Os compósitos por sua vez apresentaram comportamento intermediário entre os dois materiais. Para os ensaios de absorção de água foi observado que a quantidade de cristais de CMC presentes no compósito de maiores porcentagens e a alta dispersão dos cristais na superfície do material são fatores que resultam na alta absorção.

**Palavras-chave: Poliestireno Expandido, Celulose Microcristalina, Compósito.**

## ABSTRACT

The EPS as solid waste in the environment represents a serious environmental problem and reusing this material is required. On the other hand, the natural fibers are widely used for being biodegradable and present a low cost. In this work were prepared mixtures expanded polystyrene and microcrystalline cellulose in different percentages 1, 3, 5, 10 and 20% of microcrystalline cellulose for application as waterproofing surfaces. To obtain the composite has been developed a different methodology, involving a sand bath at controlled temperature, to agglomeration and mixtures constituents.

The analysis of micrographs suggest that there was greater dispersion in composites with lower CMC concentrations. FTIR graphs indicate that there was no interaction between materials, revealing the presence of CMC in the bands of  $3200\text{ cm}^{-1}$  to  $3500\text{ cm}^{-1}$  as the concentration was increased. For the analysis of TG and DTG was evidenced two mass loss stages for pulp and just one stage to the EPS. Composite turn showed intermediate behavior between the two materials and that for the second stage of degradation in function of the temperature occurred at a slower rate when compared to polymer matrix. The results of differential scanning calorimetry corroborated with the temperature ranges found in the analysis of TG and DTG. For water absorption tests it was observed that the amount of CMC present in the composite crystals larger percentages and high dispersion of the crystals in the material surface are factors that result in high absorption.

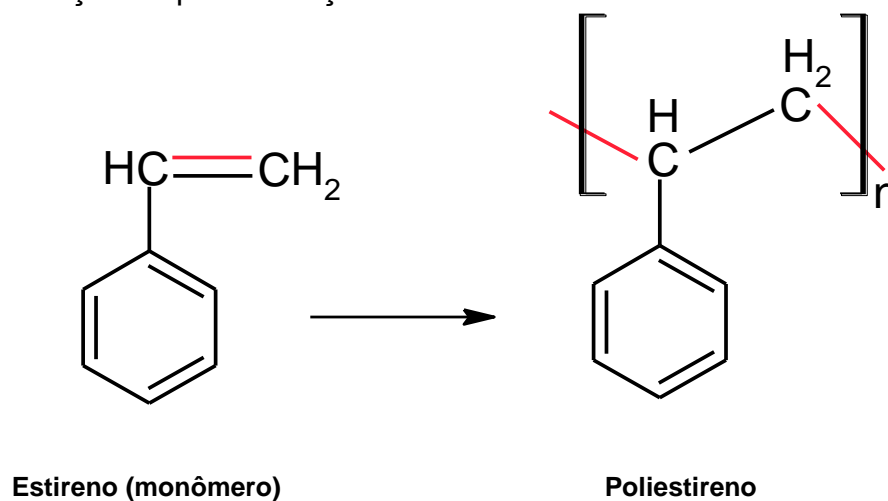
**Key-words:** Expanded polystyrene, Microcrystalline cellulose, Composite.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 POLIESTIRENO

O poliestireno (PS) é um polímero sintético formado pela união de sucessivas moléculas de estireno. O estireno é constituído pela ligação das moléculas do benzeno e etileno. A Figura 1 apresenta o esquema da reação de polimerização do estireno:

Figura 1. Reação de polimerização do estireno.



Fonte: Autor.

A cadeia do poliestireno possui vários anéis benzênicos, os mesmos se atraem proporcionando uma maior rigidez ao material além tornar ele muito semelhante ao vidro. Esse empacotamento da cadeia confere ao material a característica de transparência e um alto índice de refração (AKCELRUD, 2007).

O poliestireno foi descoberto em 1839 e passou a ser comercializado em 1930, pois possuía boas propriedades como o baixo custo, resistência a ácidos, bases e sais, isolante térmico, elétrico e acústico. Ele possui várias formas de preparo dependendo da finalidade desejada e com isso recebe

diferentes nomes dependendo da forma de processamento. Destacando-se o resistente ao calor, o poliestireno cristalino, o de alto impacto e o expandido (ABRAPEX, 2015).

O poliestireno é um termoplástico de baixo custo, que apresenta boas propriedades isolantes, mecânicas e elétricas; justificando assim o fato de ser bastante consumido; emprega-se principalmente para produção de materiais descartáveis (bandejas, copos, pratos e outros). Entretanto, apresenta duas desvantagens: o descarte excessivo e incorreto, que acarreta em poluição do meio ambiente; e a sua rigidez, tornando-se pouco aplicável quando necessária uma boa resistência ao impacto (TORRES *et al*, 1998; RODRIGUES FILHO *et al*, 2008).

Atualmente diversas pesquisas buscam de diminuir os impactos ambientais dos materiais produzidos, tornando-os mais sustentáveis. A reciclagem, um assunto muito discutido, é uma saída para a reutilização dessas matérias-primas, diminuindo a extração indiscriminada de recursos que pode promover sua escassez. Logo, avaliando-se a grande importância dos polímeros para as mais diversas aplicações, aliada à pesquisa com caráter sustentável. O poliestireno é um material com enorme destaque que se encaixa nesta proposta, e, mesmo com dificuldades como a sua rigidez, há trabalhos na bibliografia que provam a sua possibilidade de reciclagem (RODRIGUES FILHO *et al*, 2008).

### **1.2.1 POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)**

De acordo com a norma DIN ISSO-1043/78 EPS é a sigla internacional do poliestireno expandido que no Brasil é mais conhecido como “Isopor®”, a marca registrada pela Knauf Isopor Ltda que comercializa os produtos obtidos a partir deste material. O EPS foi descoberto pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz da Alemanha. O EPS é designado como um plástico rígido que resulta de um processo de polimerização do estireno com a água. Durante o processamento é utilizado como agente expensor do EPS o gás pentano, um hidrocarboneto que rapidamente se deteriora por ocorrer uma reação fotoquímica gerada pelos raios solares sem comprometer o meio ambiente (ABRAPEX, 2015).

O produto final do processamento do EPS são pérolas de até 3 milímetros de diâmetro que serão expandidas. Ao serem expandidas essas pérolas ficarão 50 vezes maiores que seus tamanhos originais, fundidas e moldadas em diversas formas. A composição de cada pérola se dá em 98% de ar e apenas 2% de poliestireno. Em 1 m<sup>3</sup> de EPS expandido cabem de 3 a 6 bilhões de células fechadas e com ar. Os produtos de EPS são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são reaproveitáveis e recicláveis podendo voltar à condição de matéria prima (ABRAPEX, 2015).

O poliestireno expandido (EPS) é um polímero com características termoplásticas, é inerte, não é tóxico, possui baixa densidade, é isolante térmico, é hidrófobo e possui certa resistência química quando colocado em ambiente ácido ou alcalino. Ele pode ser processado em pequenos grãos e não

absorver água se tornando um forte agregado polimérico (FERRANDIZ-MAS, 2013).

O EPS anteriormente tinha como característica principal a sua baixa densidade, mas após muitos estudos hoje ele é relatado na comunidade científica como um material que possui diversas vantagens que independem de sua densidade (MIHLAYANLAR, 2008).

Estudos têm relatado as propriedades mecânicas e térmicas do EPS em diversos materiais no que diz respeito a diversos parâmetros. Estes estudos propõem métodos que otimizem essas propriedades. Alguns utilizaram os grãos de EPS para testa-lo em compósitos com a finalidade de se produzir um material que possua a característica de isolamento térmico (FERRANDIZ-MAS, 2013).

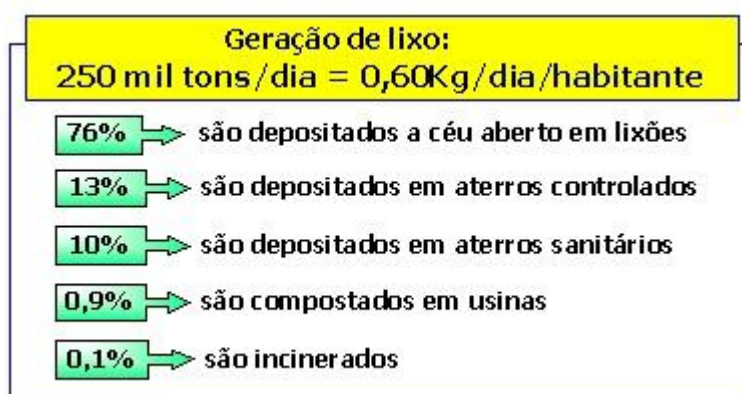
O EPS tem sido utilizado na construção civil, sendo utilizado em gessos, placas, painéis, na fabricação de componentes industriais e com misturas para se obter materiais poliméricos inorgânicos. Em materiais cimentícios o EPS é utilizado em diferentes tipos e dosagens (comercial ou reciclado) para alterar as características físicas e mecânicas de muitos tipos de argamassa. Através de pesquisas nesta área conclui-se que é possível se obter um material com propriedades mecânicas adequadas para a alvenaria utilizando-se de um alto teor de resíduo de EPS (FERRANDIZ-MAS, 2013).

### **1.3 RECICLAGEM DE EPS**

No Brasil são perdidos US\$ 3 bilhões por ano devido ao não reaproveitamento dos resíduos gerados. De todo o lixo produzido e despejado em aterros sanitários 35% é composto por materiais que podem ser

reaproveitados (ABRAPEX, 2006). A Figura 1 apresenta um quadro da distribuição conforme o destino do lixo produzido. Como 76% do lixo esta sendo destinado a lixões a céu aberto isso torna difícil a coleta e reciclagem dos materiais poliméricos. A contribuição dos polímeros no lixo, Figura 2, corresponde a 3% do total. Dos 2,7 milhões de toneladas anuais apenas 200 mil toneladas são recicláveis (ABRAPEX, 2015).

Figura 2. Geração e destinação do lixo produzido no Brasil.



Fonte: ABRAPEX, 2000.

Figura 3. Materiais que compõem o lixo.



Fonte: ABRAPEX, 2000.

Os processos, serviços e produtos utilizados atualmente tem agredido muito o meio ambiente tornando-se uma preocupação frequente para todos os setores. Os considerados principais vilões são os polímeros naturais (modificados) e sintéticos, que por sua vez tem uma grande utilização para a produção de embalagens em geral, esses materiais tem uma grande contribuição na produção de resíduos sólidos obtendo o segundo lugar em incidência na composição do lixo, considerando somente o lixo composto de plástico (MANRICH, 2000).

### **1.5 CELULOSE**

As reações de fotossíntese que as plantas realizam na presença de água, gás carbônico e energia do sol retida por clorofila, geram glicose que é um carboidrato classificado como monossacarídeo como mostrado na Equação 1:

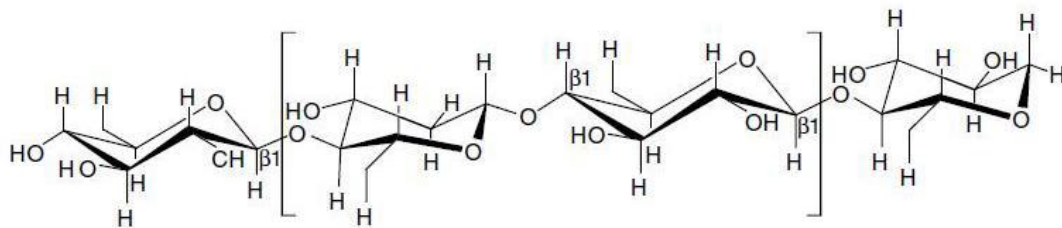
Equação 1: Reação de fotossíntese realizada pelas plantas.



As moléculas de glicose formadas pela reação de fotossíntese se combinam formando polissacarídeos que são polímeros de condensação naturais (MOHANTY, 2005). Se esta união ocorrer através das unidades de  $\beta$ -glicose da molécula dar-se-á formação da celulose, como representado na Figura 4.

Figura 4: Estrutura da celulose.





Fonte: MOHANTY *et al.*, 2005.

A produção anual de celulose é de mais de 50 milhões de toneladas sendo assim, o material orgânico mais abundante na terra. A unidade que se repete na estrutura da celulose são duas moléculas de glicose esterificadas por ligações  $\beta$ -1,4-glicosídicas. Esta unidade repetitiva na estrutura da celulose conhecida como, celobiose, possui seis grupos hidroxilas que estabelecem ligações de hidrogênio intra e intermolecular e devido a estas ligações a celulose possui uma forte tendência a formar cristais que tornam-se completamente insolúvel em água e na grande maioria dos solventes orgânicos (RUBIRA, *et al.* 2009).

Entre os diversos tipos de processamento desse material um tipo de celulose vem se destacando no mercado devido as suas propriedades é a celulose microcristalina (CMC).

## **1.6 CELULOSE MICROCRISTALINA**

É desenvolvida a partir da purificação da celulose natural, onde ela é preparada por hidrólise ácida a partir da polpa de madeira altamente purificada, que sob condições controladas libera microcristais celulósicos que são compostos de firmes cadeias de celulose em um arranjo linear rígido. A massa

úmida durante o processo de fabricação da celulose microcristalina é incorporada a água e a massa resultante é neutralizada e desidratada para a produção da celulose sob a forma de pó. A celulose microcristalina tem sido amplamente utilizada como um aditivo para fármacos, alimentos, cosméticos e uso industrial em geral pois possui propriedades como: insolúvel aquoso, partículas em forma de haste o que explica a sua vasta aplicabilidade (EL-SAKHAWY e HASSAN, 2007).

## **1.7 INCORPORAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS A COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**

A produção de compósitos termoplásticos feitos utilizando a celulose como material a ser incorporado no polímero é altamente benéfico uma vez que estes materiais melhoraram a resistência e tenacidade de plásticos. Ao contrário da fibra de vidro, os compósitos de celulose reduzem o desgaste das máquinas e não produzem riscos para a saúde (MANIKANDAN, N. K.C. SABU, T. GROENINCKX, G., 2001).

As fibras naturais celulósicas são hidrofílicas e geralmente incompatíveis com matrizes poliméricas hidrofóbicas necessitando de um tratamento prévio ou utilização de agentes compatibilizantes. Os compatibilizantes por sua vez farão com que haja ligações químicas entre a matriz e a carga de reforço, ou até mesmo a alteração da tensão superficial da carga de reforço sob a matriz polimérica, permitindo assim uma melhor adesão entre ambas (BORSOI, C. SCIENZA, L. C. ZATERRA, A. J., 2011).

A interação dos constituintes do compósito não será apenas uma função da resistência a tração da fibra, do seu comprimento e da fração volumétrica

desta no compósito, mas também depende da natureza química e da ligação física entre a fibra e a matriz polimérica. As interações entre a fibra e a matriz desempenham um papel fundamental na transferência de tensão da matriz para a fibra. A ligação entre a fibra e a matriz é criada durante a fase de produção dos materiais compósitos. A junção de fibras vegetais a termoplásticos vem sendo estudada devido a fatores tais como: aumento do módulo de elasticidade e resistência mecânica, além de reduzir o peso do produto final (BORSOI, C. SCIENZA, L. C. ZATERRA, A. J., 2011)

## **2. PARTE EXPERIMENTAL**

As peças de poliestireno expandido (EPS) escolhidas para serem reaproveitadas foram as provenientes das embalagens dos equipamentos eletrônicos adquiridos pelo Centro de Ciências da Natureza (CCN - 2) e destinados aos laboratórios do Programa de Pós Graduação em Ciência dos Materiais (PPGCM) da Universidade Federal do Piauí – UFPI Figura 5.

Figura 5: Peças de EPS destinadas ao reaproveitamento.



Fonte: Autor.

O método utilizado nesta pesquisa se baseia em uma forma alternativa de tratamento do EPS e formação dos compósitos. O método convencional se

baseia no uso de extrusora. Nesta pesquisa o EPS é feito com duas triturações e os compósitos são feitos a partir da fusão de polímeros através do banho de areia com temperatura controlada.

## 2.1. MATERIAIS

### 2.1.1 PREPARAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO - EPS

As peças de poliestireno expandido foram devidamente higienizadas com água e seca à temperatura ambiente por 24 horas. Após a higienização, foram dissolvidas em 300 mL de acetona P.A. e secas em estufa à 40 °C por 48 horas, para a retirada de quaisquer resquícios de solvente. Todos os solventes usados nesta pesquisa foram posteriormente reaproveitados.

Após a secagem o material passou por dois processos de trituração: O primeiro processo com o auxílio do liquidificador industrial de marca *METVISA* e modelo LQQ8BIVMF60N5 durante 10 min com o intuito de reduzir o tamanho das peças de EPS e o segundo processo se utilizou do aparelho de trituração *Turrax* de marca *Ultra turrax* e modelo *IKA T18 digital* durante 10 minutos e potência de 18000 rpm sendo que para este segundo procedimento, as peças já trituradas pelo 1º processo foram colocadas em um béquer de 1 L com 300 mL de água tipo “mili-Q”, para reduzir ainda mais granulometria do material, Figura 6. Após a segunda trituração o EPS foi filtrado e colocado em estufa à 60 °C por um período de 48 horas.

Figura 6. Foto material triturado



Fonte: Autor.

Com o material obtido, sob a forma de pó, foram feitos filmes do material puro e dos compósitos em diferentes proporções.

### **2.1.2 CELULOSE MICROCRISTALINA**

A celulose microcristalina utilizada neste trabalho de marca *Synty* foi adquirida pelo Laboratório de Bioeletroquímica da Universidade Federal do Piauí, sendo utilizada, sem purificação, como carga de reforço no material compósito. O EPS foi utilizado como a matriz polimérica e a incorporação da celulose microcristalina foi realizada em um aglomerador improvisado (banho de areia) onde foram misturadas as porcentagens definidas na Tabela 3.

## 2.2 PREPARAÇÃO DO COMPÓSITO POLIESTIRENO EXPANDIDO – EPS / CELULOSE MICROCRISTALINA

Na preparação do material compósito foram utilizados o EPS previamente tratado e triturado e a celulose microcristalina adquirida comercialmente, onde a metodologia utilizada na junção dos dois materiais foi por fusão de polímeros através do banho de areia com temperatura controlada. A quantidade de EPS e a do material de reforço (celulose microcristalina) variavam dependendo da porcentagem conforme a Tabela 1, que apresenta os valores em porcentagem do EPS e CMC para a formação dos compósitos.

Tabela 1. Porcentagem nos compósitos dos constituintes CMC e EPS

Amostras	Proporções dos Materiais (massa/massa)	
	EPS	CMC
EPS puro	100%	-
CMC pura	-	100%
Compósito 1%	99%	1%
Compósito 3%	97%	3%
Compósito 5%	95%	5%
Compósito 10%	90%	10%
Compósito 20%	80%	20%

As porcentagens em massa das amostras utilizadas para a caracterização do compósito EPS/Celulose Microcristalina foram: 1%, 3%, 5%, 10% e 20%, sendo também comparadas com as amostras de EPS puro para

observar as possíveis mudanças das características que a celulose microcristalina causa no material. Para obtenção dos compósitos foi utilizado um banho de areia a 180 °C, mostrado na Figura 7. O EPS e a CMC, em pó, foram misturados, sob aquecimento, até a formação de aglomerados. Em seguida os aglomerados foram triturados e levados para preparação de filmes.

Figura 7: Esquema do banho de areia com temperatura controlada.



Fonte: Autor.

### **2.3 PREPARAÇÃO DOS FILMES DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS) E DE COMPÓSITO POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)/CELULOSE MICROCRISTALINA:**

Para a preparação dos filmes foi feita a higienização das chapas metálicas de suporte com álcool gel, em seguida foi aplicado uma camada de silicone industrial da marca *MUNDIAL PRIME* para que os filmes não adiram nas chapas metálicas após a prensagem. Adotadas essas medidas as chapas metálicas estão prontas para receber o material a ser prensado.

Após a obtenção do compósito EPS/Celulose Microcristalina sob a forma de pó, foram pesadas 4 g do material, preparado de acordo com a proporção. A massa pesada foi colocada no centro de uma das chapas e em seguida



recoberto com a outra chapa metálica. A montagem foi submetida à prensagem hidráulica no equipamento de marca *MH-08-MN* nas seguintes condições: temperatura de 180 °C e pressão de 2 toneladas durante o tempo de 1 minuto, para obtenção dos filmes. É importante ressaltar que foram feitos filmes com o pó de EPS puro, para fins de comparação, e não foram preparados filmes de celulose.

Após a formação dos filmes os mesmos foram encaminhados as análises de Infravermelho com transformado de Fourier (FTIR), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), análise termogravimétrica (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e ensaio de absorção de água.

## **2.5 CARACTERIZAÇÃO**

### **2.5.1 Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV**

A observação da morfologia, adesão e a distribuição das fibras na matriz polimérica foram feitas utilizando o equipamento da marca *SHIMADZU*, modelo *SSX- 550 superscan*. Para a metalização das amostras foi utilizada a metalizadora da marca *SANYU ELETRON* e modelo *Quick Coater SC- 701*, onde a ampliação utilizada para as amostras foi de 1000x. A análise foi feita no LIMAV – Universidade Federal do Piauí.

### **2.5.2 Espectroscopia na Região do Infravermelho – FTIR (ATR)**

Foi utilizado o equipamento de marca *BRUCKER* e modelo *Vertex 70*. Esta técnica foi utilizada para observar os possíveis grupos funcionais presentes nas amostras do material compósito e a diferença entre os picos nas diferentes porcentagens do compósito. A análise foi feita no Laboratório do

Programa de Pós- Graduação em Química – (PPGQ) da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

### **2.5.3 Análise Termogravimétrica (TG)**

Foi realizada no equipamento de modelo SDT Q600 91 V20.9 Build 20, e marca TA Instrument operando com taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> a partir da temperatura ambiente até 700 °C em atmosfera de argônio sob um fluxo de 50 mL.min<sup>-1</sup> . A análise objetivou observar a degradação térmica dos materiais puros e dos compósitos com diferentes porcentagens de celulose microcristalina. Esta análise foi realizada no Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados – LIMAV na Universidade Federal do Piauí – UFPI.

### **2.5.4 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)**

As propriedades térmicas do poliestireno expandido, da celulose microcristalina e dos compósitos foram avaliadas pela técnica de calorimetria exploratória diferencial, utilizando o aparelho de modelo SDT Q600 91 V20.9 Build 20, e marca TA Instrument operando com taxa de aquecimento de 10 °C.min<sup>-1</sup> a partir da temperatura ambiente até 700 °C em atmosfera de argônio. Esta análise foi realizada pelo laboratório interdisciplinar de materiais avançados – LIMAV na UFPI.

### **2.5.5 Ensaio de absorção de água**

Para a execução deste ensaio os filmes foram seccionados e identificados conforme a porcentagem de celulose, e em seguida os mesmos foram pesados antes e imersos após a pesagem em um béquer com cerca de

200 mL de água destilada, seguindo os padrões estabelecidos pela norma ASTM D570. A análise obedeceu a sequência de 7 dias de imersão registrando os valores das pesagens sempre no mesmo horário. Após o término das pesagens os valores dos filmes em massa foram registrados para observar a absorção de água pelos mesmos. A análise foi realizada no Laboratório de Bioeletroquímica na UFPI.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA – MEV**

As análises foram feitas com pedaços retirados dos filmes de cada porcentagem de amostra e de poliestireno puro. A superfície de cada amostras foi metalizada (depósito de ouro sob a superfície da amostra), dessa forma permitindo a realização do ensaio de microscopia. A ampliação utilizada foi a de 1000x. Nas Figuras 8 e 9 estão apresentadas as micrografias dos compósitos e dos materiais puros. É possível identificar a presença de partículas de celulose microcristalina dispersas nos filmes.

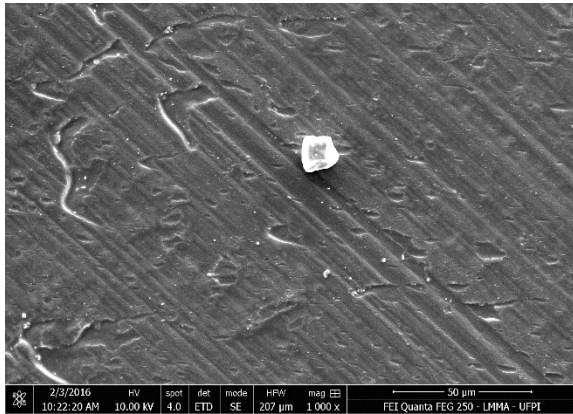
Foram observados em todos os compósitos exceto na proporção de 20%, uma boa dispersão da celulose microcristalina no EPS em formas e tamanhos variados. A CMC se apresentou nas micrografias em todas as proporções dos compósitos com diferentes formatos e em alguns casos com perfil alongado, evidenciados em todas as micrografias.

Tavares e Santos (2013) afirmam que esses cristais maiores são evidenciados nas micrografias, devido haver uma tendência das partículas de celulose sofrerem uma auto agregação em função da presença de grupos hidroxila em sua superfície. Ainda, afirmam que o perfil alongado dos cristais de celulose é um aspecto inerente as suas partículas, não tendo dependência com as condições utilizadas na sua obtenção.

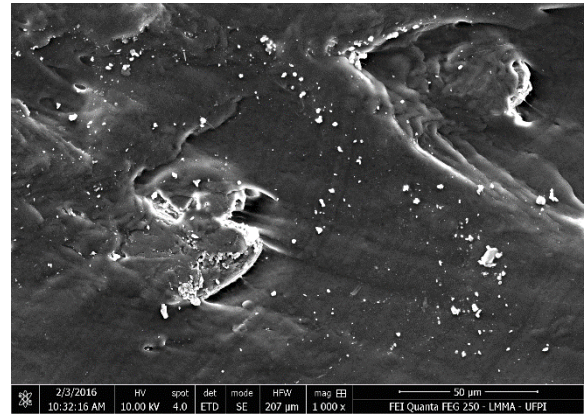
El-Sakhawy e Hassan (2007) em seus estudos sobre propriedades físicas e mecânicas da celulose microcristalina de fontes agrícolas indicam que a variação da origem da celulose e também do tipo de ácido empregado na sua

hidrólise não produz diferença na morfologia das partículas dos materiais observados por MEV.

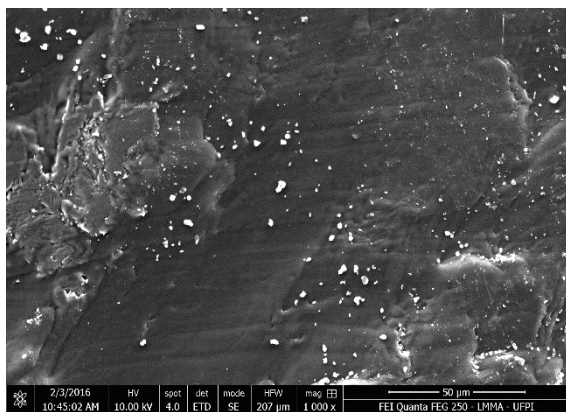
Figura 8. Resultados de MEV para as porcentagens: (a) EPS/CM 1%, (b) EPS/CM 3%, (c) EPS/CM 5%, (d) EPS/CM 10%.



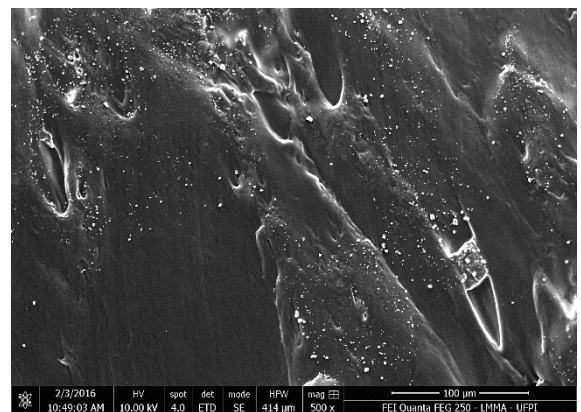
(a)



(b)

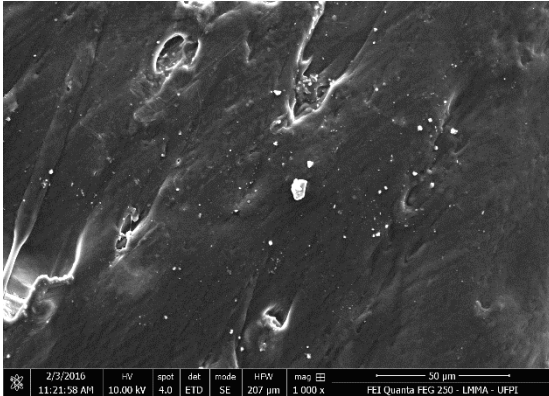


(c)

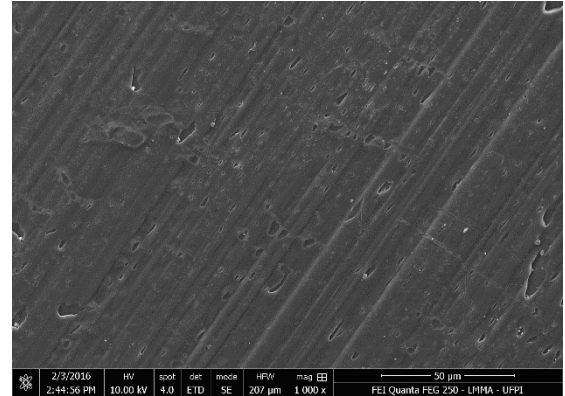


(d)

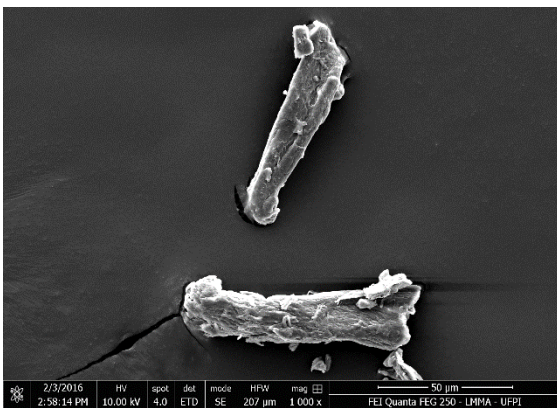
Figura 9. Resultados de MEV para as porcentagens: (e) EPS/CM 20%, (f) EPS puro e (g) e (h) cristais de CMC.



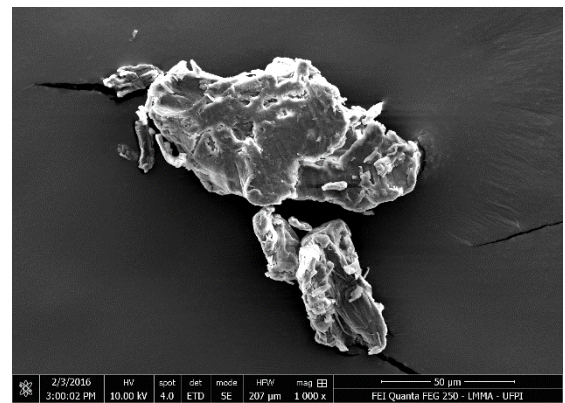
(e)



(f)



(g)



(h)

Foi observado que as maiores dispersões na área superficial dos filmes que continham celulose microcristalina ocorreram nos compósitos de menores porcentagens, ou seja, até a porcentagem de 10% da fibra, apresentando uma uniformidade dos cristais de CMC na superfície do filme. Conforme a proporção de CMC no filme aumenta, é notado que esta dispersão não ocorre de forma organizada e não apresenta uniformidade, é notada a presença dos cristais de CMC em apenas algumas regiões do filme onde são

formados mais aglomerados. Segundo Ramires, *et. al.* (2010) o aumento na proporção de celulose microcristalina pode ocasionar em uma maior dificuldade na dispersão da fibra de reforço na matriz polimérica.

### 3.2 ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

A técnica de infravermelho com transformado de Fourier utilizada em conjunto com a técnica de ATR (reflexão total atenuada) é importante na detecção de grupos funcionais presentes na fibra e na matriz polimérica, além de propor as possíveis interações entre ambas. A Figura 10 apresenta os resultados de infravermelho para as amostras de EPS e celulose microcristalina puros, e a Figura 11 os gráficos de FTIR do EPS em comparação com os compósitos formados a partir dos dois materiais.

Figura 10. Espectros de infravermelho para o EPS e a Celulose Microcristalina puros.

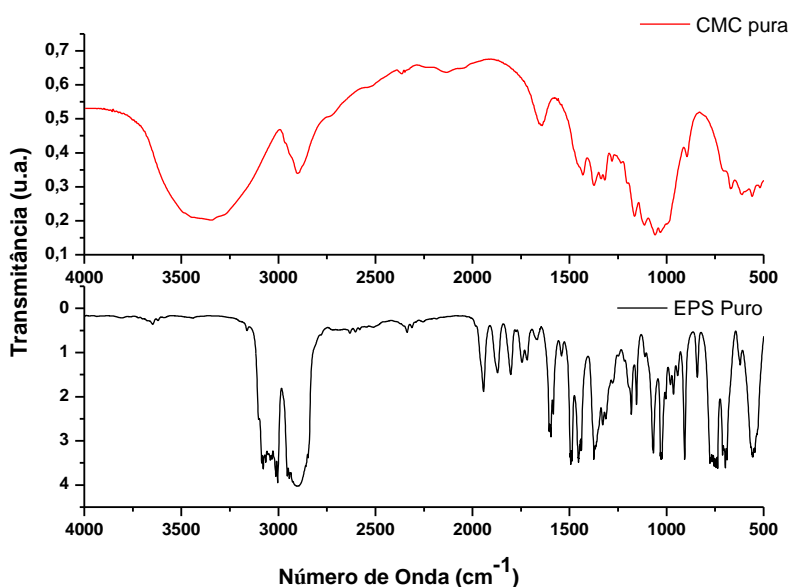
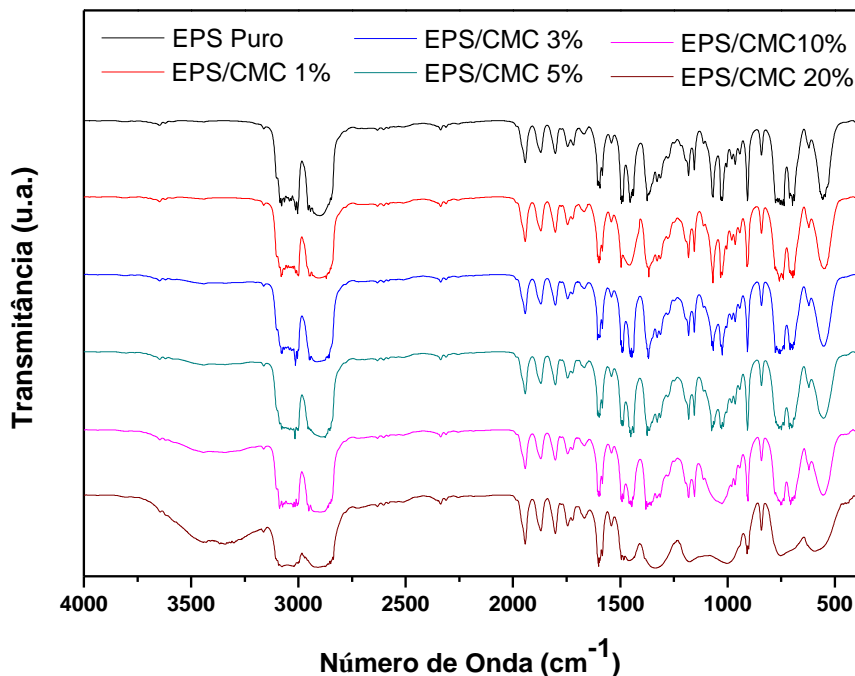


Figura 11. Espectros de infravermelho para EPS puro e os compósitos formados com as diferentes proporções de celulose microcristalina.



A partir da análise de infravermelho do EPS puro foram reveladas as bandas características de poliestireno, em  $1451\text{ cm}^{-1}$  e  $1493\text{ cm}^{-1}$  atribuídas respectivamente ao estiramento C-H do anel no plano e em  $1493\text{ cm}^{-1}$  devido ao estiramento da ligação C-C do anel no plano. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos feitos com poliestireno de copos descartáveis de Meireles (2007).

Também foram evidenciadas nos espectros de infravermelho do EPS puro e de todos os compósitos, exceto o do compósito na proporção 20% duas bandas nas regiões de aproximadamente  $777\text{ cm}^{-1}$  e  $697\text{ cm}^{-1}$ , sendo indicativo de presença de anel aromático monossustituído fora do plano.



Segundo Pavia (2010) essas duas bandas geram fortes absorções nessas regiões, sendo um padrão para estes tipos de compostos aromáticos.

Para o EPS puro e nos compósitos formados EPS/CMC com exceção do compósito 20%, também foram detectadas três bandas em  $1680\text{ cm}^{-1}$ ,  $1600\text{ cm}^{-1}$  (banda de maior intensidade) e  $1545\text{ cm}^{-1}$  referentes às ligações C=C de anéis aromáticos e duas bandas na região entre  $900\text{ cm}^{-1}$  e  $1000\text{ cm}^{-1}$  provenientes de ligações =C-H vinílico, resultados estes encontrados por Pavia (2010) ao analisar por infravermelho o estireno na forma líquida e pura por placas de KBr.

Foram observadas bandas compreendendo as regiões de  $2800\text{ cm}^{-1}$  à  $3000\text{ cm}^{-1}$  que são referentes a agrupamentos metila e metileno presentes no EPS e na celulose, com o destaque para a banda em  $2927\text{ cm}^{-1}$  que é uma banda característica das ligações alifáticas  $\text{CH}_2$  do poliestireno. Observou-se bandas entre  $3000\text{ cm}^{-1}$  à  $3100\text{ cm}^{-1}$  que são bandas características de grupos aromáticos. Estas bandas também foram constatadas nos estudos com blendas de policarbonato-poliestireno, feitos por Oréfice, Vasconcelos e Moraes (2004).

Segundo Meireles (2007) a intensidade das bandas entre as regiões de  $2900\text{ cm}^{-1}$  à  $3000\text{ cm}^{-1}$  estão associadas com deformações axiais dos grupos C-H presentes na estrutura do anel aromático da matriz e da fibra.

Pavia (2010) atribui a grande absorção da ligação C-H em função principalmente ao tipo de hibridização das ligações. A banda em  $2910\text{ cm}^{-1}$  esta associada ao carbono tipo  $\text{sp}^2$  e a banda em  $3021\text{ cm}^{-1}$  ao anel aromático presente no polímero.

Segundo Meireles (2007) as maiores mudanças morfológicas relacionadas aos compósitos formados por poliestireno e celulose microcristalina ocorrem nas regiões entre  $1300\text{ cm}^{-1}$  à  $1600\text{ cm}^{-1}$ , onde ao confrontar essas informações com os resultados obtidos deste trabalho somente o compósito com a proporção 20% de CMC obteve tal mudança, nos sugerindo que estas maiores mudanças ocorrem nas maiores concentrações de CMC dos compósitos formados.

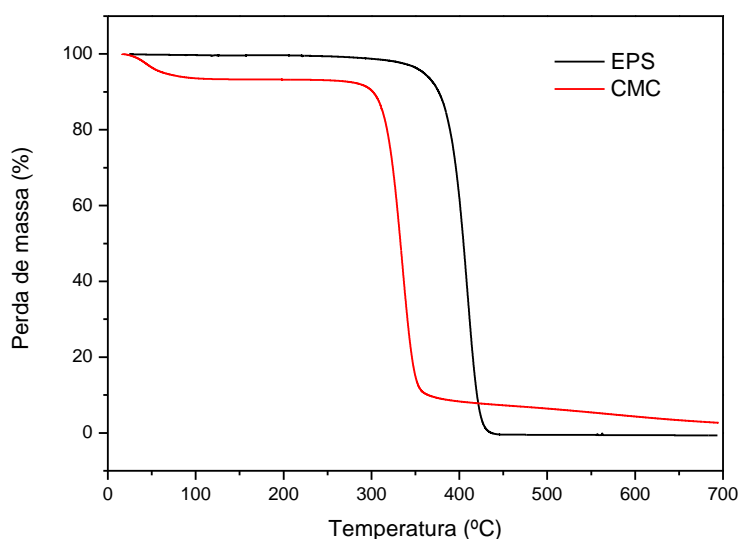
Segundo Pavia, *et al.* (2010) as quatro bandas que compreendem a região entre  $1740\text{ cm}^{-1}$  à  $1940\text{ cm}^{-1}$  referem-se as bandas para anéis aromáticos monossustituídos e estas permanecem quando analisados os compósitos de EPS/Celulose Microcristalina em todas as proporções.

Para os compósitos de baixas concentrações (1 a 5%) de CMC, os espectros do EPS apresentam modificações de pequenas intensidades. Na proporção de 20% as bandas que caracterizam anéis aromáticos em  $690\text{ cm}^{-1}$  e  $777\text{ cm}^{-1}$  sofrem deslocamento para uma única banda em aproximadamente  $750\text{ cm}^{-1}$ . O espectro do compósito de EPS com 20% de CMC apresenta uma intensa modificação no espectro como um todo. Mostra uma banda larga e intensa entre 3200 e 3500, característico de OH com ligação de hidrogênio celulósico. Entretanto, essa banda vem aumentando de intensidade a partir da porcentagem de 5% de CMC. Apesar das modificações que se pode observar nos espectros, não é possível afirmar que ocorre interação química entre os materiais, já que as maiores modificações ocorrem nas maiores proporções de CMC.

### 3.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

Para a caracterização térmica dos materiais puros e dos compósitos formados foi realizada a análise termogravimétrica. A técnica permite observar as perdas de massa dos materiais compósitos e relacioná-las com as perdas dos materiais puros. A Figura 12 apresenta as curvas termogravimétricas dos materiais puros e a Figura 13, as curvas DTG, respectivamente.

Figura 12. Curvas termogravimétricas para o EPS e a CMC.



O EPS apresentou 1 estágio de degradação térmica iniciando a partir da temperatura de aproximadamente 350 °C e como temperatura final 440 °C, quando quase todo o material é consumido. Segundo Botan, *et al.* (2011) neste intervalo de temperatura ocorre a degradação das cadeias poliméricas e o material é consumido em quase toda a sua totalidade. Para a celulose foram observados 2 estágios de degradação térmica, onde a primeira

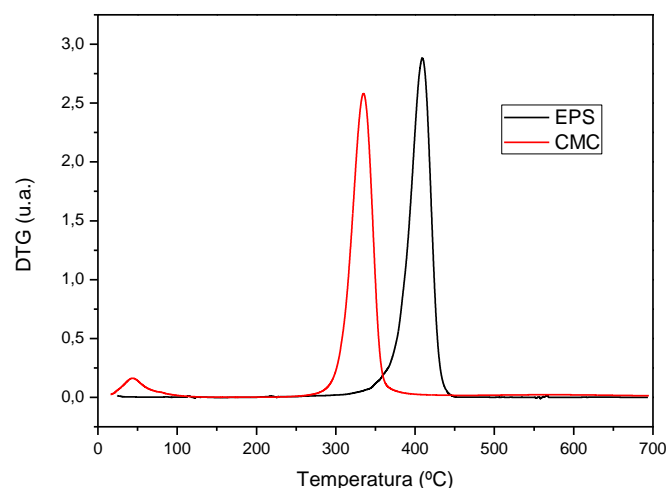
perda de massa iniciou antes de 100 °C, representando cerca de 8% de degradação em massa do material. Segundo Shebani, *et al.* (2009) este primeiro estágio de degradação pode ser atribuído a perda de água do material. No segundo estágio foi observada a perda de massa iniciando em aproximadamente 280 °C e terminando em 370 °C, o que representam cerca de 82% de perda em percentual de massa. Shebani, *et al.* (2009) afirma que o segundo estágio de degradação da celulose ocorre na faixa de aproximadamente 250 °C a 375 °C, está relacionada a decomposição das ligações C-C provenientes da estrutura da celulose.

Borsoi, *et al.* (2013) em seus estudos com compósitos formados por poliestireno expandido reforçado com fibras de Curauá, afirmam que durante o segundo estágio as fibras de celulose sofrem a perda de massa a partir da temperatura de 200 °C e que esta degradação inicia-se pela região amorfa do material e que a adição de fibras na matriz polimérica resultam na redução da estabilidade térmica do material que se inicia aproximadamente em 260 °C.

Devallencourt, *et al.* (1996) afirma que após o segundo estágio de perda de massa as cinzas resultantes no final da degradação podem ser principalmente de compostos aromáticos policíclicos e que geralmente os produtos finais de degradação dos materiais lignocelulósicos são resíduos carbonáceos.

A Figura 13 apresenta as curvas de DTG para o EPS e CMC.

Figura 13. Curvas DTG para EPS e CMC.



Na curva de DTG do poliestireno expandido foi evidenciada a ocorrência da perda de massa em apenas 1 estágio, compreendendo a faixa de temperatura de aproximadamente 350 °C à 440 °C. Para a celulose microcristalina foram evidenciados 2 estágios de perda de massa o primeiro em cerca de 40 °C e o segundo compreendendo a faixa de 280 °C à 370 °C, corroborando assim com os resultados das curvas termogravimétricas observados anteriormente.

Foi observado que a degradação da CMC ocorreu primeiro quando comparada a degradação sofrida pelo EPS, visto que quando a maior parte do segundo estágio de degradação térmica da fibra termina é que se observa o início do estágio de degradação térmica do polímero.

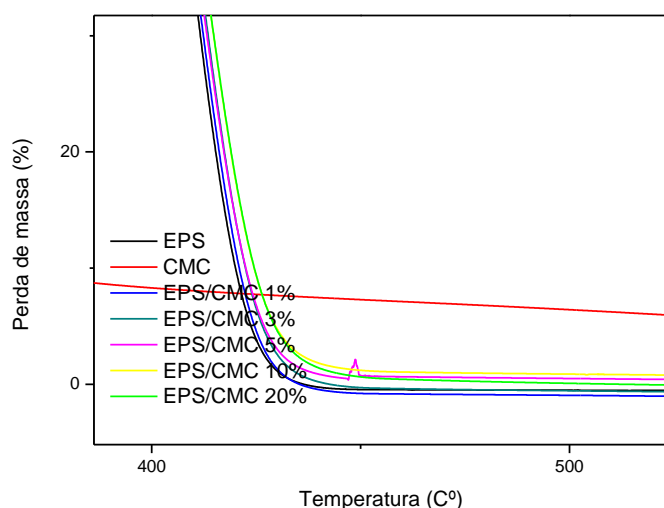
Santos, *et. al.* (2011) em seus estudos sobre as condições de estocagem do bagaço da cana-de-açúcar por análise térmica afirma que, os resultados de DTG para a celulose comprovam que a maior parte da fibra sofre degradação térmica durante os dois primeiros estágios, representando cerca

de 80% da amostra inicial e que na faixa compreendendo as temperaturas de 350 °C à 480 °C ocorre a queima dos constituintes carbonizados, ocasionando a degradação total do material.

Ramires, *et. al.* (2010) afirma que de uma forma geral, as reações que resultam na decomposição da celulose ocorrem por diversos fatores dentre eles a clivagem de ligações glicosídicas, ligações C-H, C-O, e C-C, desidratação, descarboxilação e descarbonilação. São várias as temperaturas onde ocorrem a formação de água a partir da celulose pois são vários os estágios de degradação deste polissacarídeo que resultam na formação de água.

As Figuras 14 e 15 apresentam as curvas de TG e DTG para os compósitos formados pela matriz polimérica EPS e a fibra CMC.

Figura 14. Curva termogravimétrica dos compósitos formados por EPS e CMC em diferentes proporções e dos materiais puros.



Os compósitos apresentaram um comportamento intermediário entre o EPS e a CMC. Foi observado que quanto maior a porcentagem de CMC na

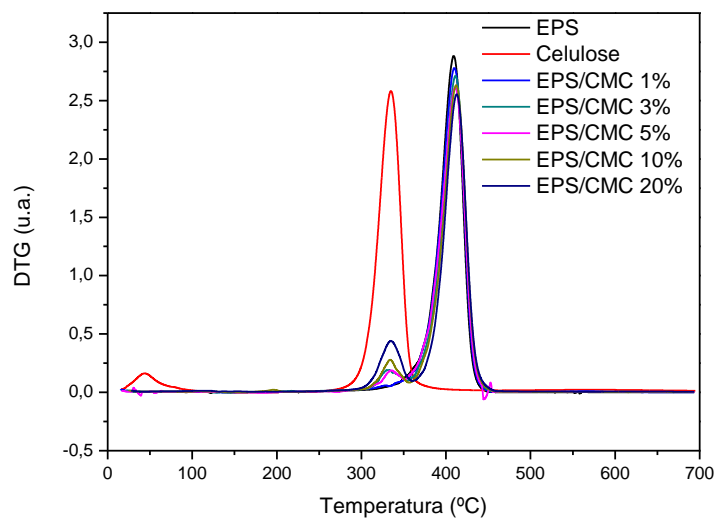
matriz polimérica, menor era a estabilidade térmica dos mesmos, nos sugerindo que a degradação ocorre de forma mais rápida após a adição da fibra. A degradação térmica dos compósitos formados iniciou em cerca de 320 °C. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos de Jesus (2014) ao trabalhar com compósitos de poliestireno expandido pós-consumo reforçado com celulose de bagaço de cana-de-açúcar.

Foram evidenciados nos compósitos a perda de massa representada por 2 estágios. O primeiro compreendendo a faixa de 320 °C à 350 °C, nos sugerindo inicialmente a degradação da CMC e o segundo na faixa de 370 °C à 400 °C, representando a degradação da matriz polimérica.

Quando comparados à matriz polimérica os compósitos formados apresentam características de degradação térmica mais acelerada no primeiro estágio devido a degradação da CMC, e no segundo estágio a degradação ocorre de forma mais lenta em relação a faixa de temperatura de degradação térmica do EPS, nos sugerindo uma boa interação entre os materiais. Botan *et al.* (2011) afirma que quando os compósitos formados ultrapassam a faixa de degradação da matriz polimérica isso indica além da boa interação, um bom sinergismo entre a matriz e a carga de reforço e como resultado desta boa interação, os materiais formados vão possuir uma maior resistência a difusão de oxigênio de compostos voláteis, sendo de bastante importância para esta degradação térmica mais lenta.

A Figura 16 apresenta a curva DTG para os compósitos formados.

Figura 15. Curvas DTG para os compósitos EPS/CMC e os materiais puros.



Para os compósitos formados foram evidenciados 2 estágios de perda de massa em função da temperatura, o primeiro que corresponde ao intervalo compreendendo as temperaturas de 320 °C à 350 °C, e o segundo representado pelo intervalo correspondente as temperaturas 370 °C à 420 °C. Resultados estes que corroboram com os resultados obtidos nas curvas termogravimétricas.



### 3.4 CALORIMETRIA EXPLORATÓRIA DIFERENCIAL (DSC)

As Figuras 16 e 17 representam as curvas de DSC para a matriz de poliestireno expandido (EPS), a fibra de CMC e os compósitos formados em diferentes proporções.

Figura 16. Curva de DSC para o EPS e a CMC.

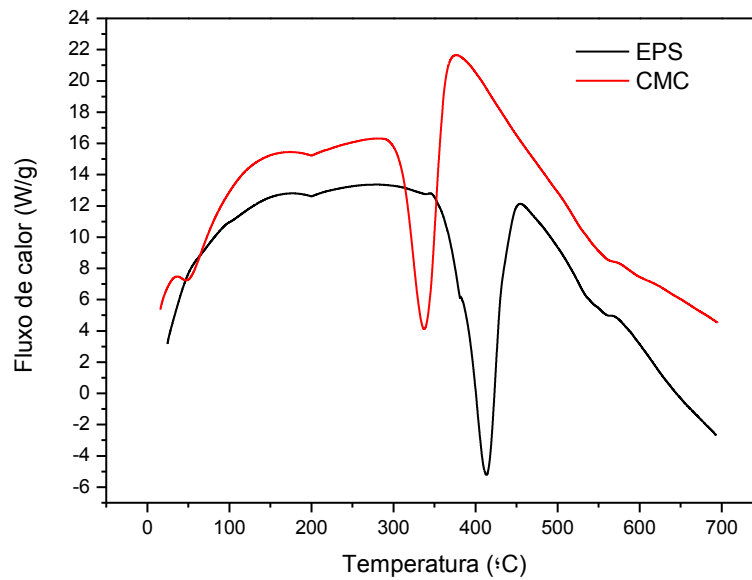
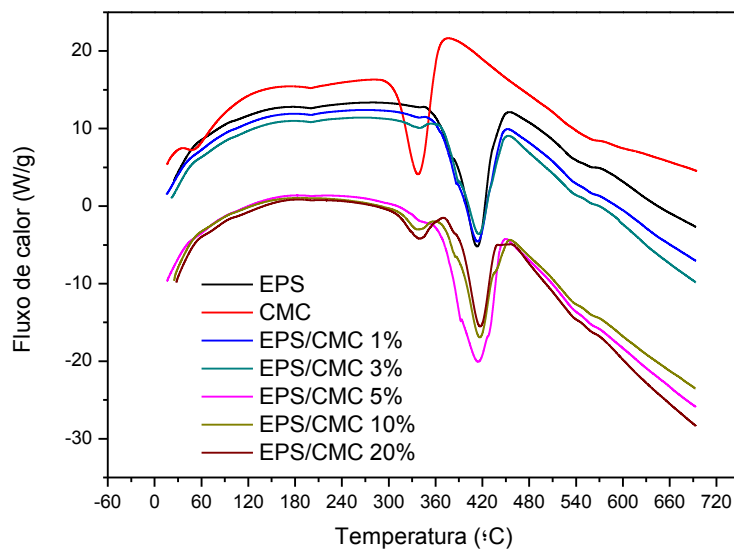


Figura 17. Curva de DSC para os compósitos EPS/CMC e os materiais puros.



Para as curvas de DSC da matriz polimérica de EPS e da fibra de CMC foram observados 2 eventos de origem endotérmica. O primeiro correspondente a fusão dos materiais ( $T_f$ ) em cerca de 200°C e o segundo a temperatura de degradação dos materiais ( $T_{máx}$ ). Para a CMC a temperatura máxima de degradação foi em cerca de 350°C e o EPS apresentou sua  $T_{máx}$  em cerca de 420°C. Resultados estes que corroboram com os obtidos nas análises de  $T_g$  e DTG.

Jesus (2014) afirma nas curvas de DSC do PS reciclado e nos compósitos por ele formados, apresentaram evento de degradação térmica da matriz de caráter endotérmico entre 400°C e 420°C, característico da temperatura de decomposição destes materiais. O principal componente volátil produzido a partir da degradação térmica do poliestireno sob atmosfera inerte é o monômero de estireno. A temperatura do pico de degradação foi pouco afetada, entretanto a adição de fibras contribui significativamente para o aumento do calor de degradação do compósito.

Nos compósitos formados, foram evidenciados 3 eventos de origem endotérmica, sendo que o primeiro evento na faixa de temperatura de 200°C corresponde à temperatura de fusão dos materiais ( $T_f$ ). Os compósitos EPS/CMC apresentaram comportamento de degradação térmica intermediário entre os valores de degradação da fibra e da matriz polimérica, apresentando seu segundo evento em cerca de 350°C, correspondendo a degradação da CMC e o terceiro evento em cerca de 420°C correspondendo a degradação do polímero. Foi observado que a adição da fibra não alterou  $T_f$  da matriz de EPS, que permaneceu na mesma faixa de temperatura, bem como as temperaturas de degradação máxima, que permaneceram inalteradas.

Ramires *et. al.* (2010) em seus estudos com biocompósitos de matriz glioxal-fenol reforçada com celulose microcristalina afirma que em torno de 300 °C é observado um pico endotérmico nas curvas da CMC e nos compósitos formados, referentes à volatilização de moléculas de baixa massa molar, geradas provavelmente com o início da degradação da celulose. Em torno de 350 °C é observado um pico exotérmico devido às etapas posteriores de degradação térmica da CMC em compósitos formados.

### 3.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

Para o estudo da absorção de água do EPS puro e nos compósitos EPS/CMC em todas as proporções foram aplicados testes gravimétricos para observar o ganho de massa nos filmes formados no transcorrer de 7 dias, seguindo os padrões estabelecidos pela norma ASTM D570. As porcentagens de ganho de massa dos filmes eram calculadas de acordo com a Equação 1:

$$\text{Aumento de massa (\%)} = 100 \times m_t - m_{\text{inicial}} / m_{\text{inicial}}$$

Onde:

$m_t$  = Massa em gramas absorvida pelo filme após a imersão

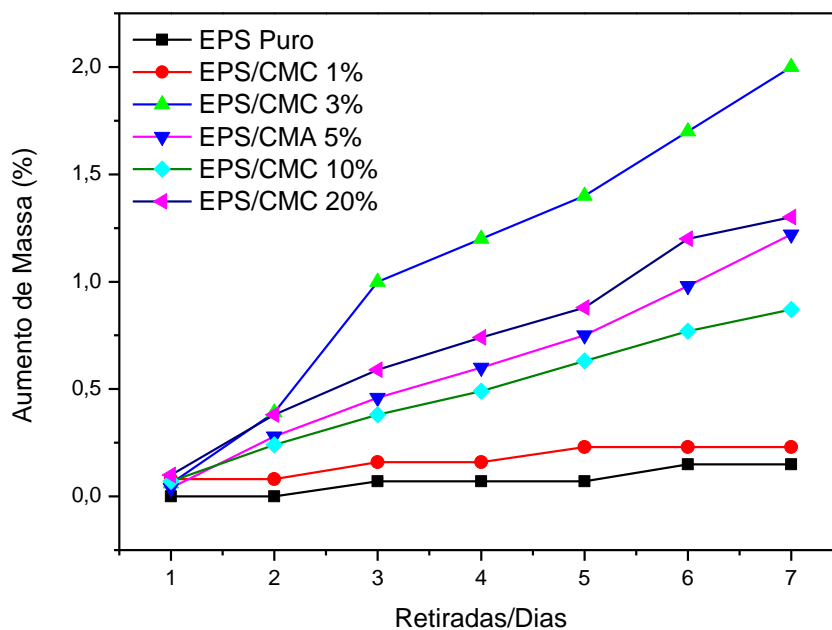
$m_{\text{inicial}}$  = Massa em gramas do filme seco pesado antes da imersão

A Tabela 2 apresenta os valores em porcentagem de água absorvida pelos compósitos e o EPS puro durante os 7 dias de ensaio, e a Figura 18 curva de absorção de água feita a partir das porcentagens.

Tabela 2. Valores em porcentagem de água absorvida pelos compósitos EPS/CMC e o EPS puro.

Amostras	Dias de análise						
	1º dia	2º dia	3º dia	4º dia	5º dia	6º dia	7º dia
EPS puro	0%	0%	0,07%	0,07%	0,07%	0,15%	0,15%
EPS/CMC 1%	0,08%	0,08%	0,16%	0,16%	0,23%	0,23%	0,23%
EPS/CMC 3%	0,06%	0,39%	1%	1,2%	1,4%	1,7%	2,0%
EPS/CMC 5%	0,04%	0,28%	0,46%	0,60%	0,75%	0,98%	1,22%
EPS/CMC 10%	0,07%	0,24%	0,38%	0,49%	0,63%	0,77%	0,87%
EPS/CMC 20%	0,10%	0,38%	0,59%	0,74%	0,88%	1,22%	1,30%

Figura 18. Curva de absorção de água dos compósitos e do EPS puro.



A partir dos dados relativos à porcentagem de absorção de água da matriz polimérica pura e dos compósitos por ela formados juntamente com a CMC, foi possível observar que as maiores absorções de água foram nos compósitos onde a CMC estava dispersa com uniformidade, o que garantiu uma maior absorção de água nos compósitos com a proporção de 3% e de 5% com valores de absorção de 2,0% e 1,22%, respectivamente, ao final do 7º dia de ensaio. Resultados estes que corroboram com os resultados de MEV, nos sugerindo a absorção de água também considera a boa dispersão de CMC nos filmes dos compósitos.

Outro fator que contribuiu para uma alta absorção de água foi a grande concentração de CMC nos compósitos formados, visto que a mesma é uma substância hidrofílica, o que mostrou uma alta absorção de água em relação à amostra contendo EPS puro dos compósitos de porcentagens 10% e 20%, que possuíram valores em porcentagem para absorção de água de

0,87% e 1,30%, respectivamente. Resultados estes que corroboram com os resultados de MEV, nos sugerindo a absorção de água também considera a boa dispersão de CMC nos filmes dos compósitos.

Ramires, *et. al.* (2010) em seus estudos com biocompósitos de matriz glioxal-fenol reforçada com celulose microcristalina afirmam que, as microfendas e os vazios existentes na superfície da matriz polimérica podem armazenar moléculas de água, ocasionando numa maior absorção. O aumento da CMC nos compósitos resulta no aumento de absorção de água, devido à quantidade de grupos polares (hidroxilas) que podem interagir com as moléculas de água. A CMC é composta de cadeias em que, na sua grande maioria, se encontram em regiões cristalinas, onde a interação com as moléculas de água torna-se dificultada quando comparadas as fibras sem o tratamento.

A amostra contendo a porcentagem de 1% apresentou comportamento semelhante à amostra contendo EPS puro, com valores em porcentagem de absorção de 0,23%. Segundo a ABRAPEX (2000) o EPS absorve uma quantidade mínima de água, mas a quantidade absorvida não influencia nas suas propriedades.

#### 4. CONCLUSÕES

A metodologia para a recuperação do EPS no estado físico de pó mostrou-se satisfatória permitindo a obtenção dos compósitos por aglomeração. O banho de areia com temperatura controlada, para preparar os compósitos EPS/Celulose Microcristalina foi bastante eficaz dispensando o uso de agentes compatibilizantes na junção dos materiais. A Microscopia eletrônica de varredura foi eficiente para mostrar a dispersão da fibra na superfície da matriz polimérica, onde as melhores dispersões na área superficial ocorreram nos compósitos das concentrações mais baixas de CMC (3%, 5% e 10%). A análise de FTIR acoplada a técnica de ATR foi bastante eficiente para detectar os grupos funcionais presentes na molécula e prever as possíveis interações entre a fibra e a matriz, sendo evidenciada a presença de CMC (banda evidenciada na região entre  $3200\text{ cm}^{-1}$  à  $3500\text{ cm}^{-1}$ ) em todos os compósitos, onde a maior modificação no espectro nesta região ocorreu no compósito formado pela porcentagem de 20% de CMC.

As análises de TG e DTG comprovam que a degradação da celulose acontece em dois estágios principais, o primeiro se inicia antes da temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  e o segundo a perda inicia em aproximadamente  $280^{\circ}\text{C}$  e termina em  $370^{\circ}\text{C}$ . Para o EPS apresentam um único estágio de degradação térmica iniciando em  $350^{\circ}\text{C}$  e finalizando na temperatura de  $440^{\circ}\text{C}$ . Os compósitos formados apresentaram segundo os resultados obtidos para TG e DTG comportamento intermediário entre a degradação térmica sofrida pela CMC e EPS apresentando 2 estágios de degradação. Com relação ao primeiro estágio foi evidenciada que a degradação ocorreu de forma acelerada na faixa de

temperatura 320°C à 350°C, relativos à degradação da celulose. Já o segundo estágio de degradação ocorreu de forma mais lenta em relação a matriz polimérica, compreendendo a faixa de temperatura 320°C à 350°C o que conferiu aos compósitos formados uma boa resistência térmica quando comparados aos seus materiais de origem.

A calorimetria exploratória diferencial evidenciou 2 eventos nos materiais puros um na faixa de temperatura de 200°C para o EPS e a CMC correspondente a fusão dos materiais e o segundo nas faixas de temperaturas de degradação máxima dos mesmos, em cerca de 350°C e 420°C respectivamente. Os compósitos apresentaram nas análises de calorimetria exploratória diferencial resultados intermediários entre o EPS e a CMC, evidenciando 3 eventos. O primeiro evento correspondendo a temperatura de fusão em 200°C que permaneceu inalterado, assim como o segundo e terceiro eventos que ocorreram nas temperaturas de degradação máxima do EPS e CMC, em cerca de 350°C e 420°C respectivamente.

O ensaio de absorção de água pela norma ASTM D570 permitiu a observação dos valores em porcentagem de retenção de água para cada compósito formado, onde dois fatores foram imprescindíveis para a absorção: o primeiro corresponde a boa dispersão da celulose no compósito o que foi observado nas amostras de 3% e 5% com valores de absorção em porcentagem de 2,0% e 1,22%, respectivamente e o segundo fator que corresponde a grande porcentagem de CMC no compósito, compósitos com 10% e 20% com absorção de 0,87% e 1,30%, respectivamente. A amostra contendo 1% de CMC mostrou comportamento semelhante a amostra de EPS puro, devido a pouca quantidade de CMC no compósito com valor de absorção



em porcentagem de 0,023%. Resultados que corroboram com os resultados encontrados a análise de MEV.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKCELRUD, L. (2007). Fundamentos da ciência dos polímeros. Manole, São Paulo. 288p.

ABRAPEX. (2015). Associação Brasileira de Poliestireno Expandido: Informações gerais. Disponível em: <[www.abrapex.com.br/62Recicla02.html](http://www.abrapex.com.br/62Recicla02.html)> Acesso em: 12 jun. 2015.

Borsoi, C. et al. (2011). Obtenção e caracterização de compósitos utilizando poliestireno como matriz e resíduos de fibras de algodão da indústria têxtil como reforço. *Polímeros*, 21, 271-279.

Borsoi, C. (2013). Compósitos de poliestireno e poliestireno expandido reciclado reforçado com fibras de curauá: Propriedades e degradação. Tese de Mestrado, Universidade de Caxias do Sul.

Botan, R., Nogueira T. R., Lona, L. M. (2011). Síntese e caracterização de nanocompósitos esfoliados de poliestireno – hidróxido duplo lamelar via polimerização in situ. *Polímeros*, 21, 34-38.

Cordebello, F. S. (2003). Polímeros do futuro: Tendências e Oportunidades. *Polímeros*, 13, 4-43.

Devallencourt, C., Saiter, J. M., Capitaine, D. (1996). Characterization of recycled celluloses: thermogravimetry/Fourier transform infra-red coupling and thermogravimetry investigations. *Polymer Degradation and Stability*, 3, 327-334.

El-Sakhawy, M., Hassan, M. L. (2007). Physical and mechanical properties of microcrystalline cellulose prepared from agricultural residues. *Carbohydrate Polymers*, 67, 1-10.

- Ferrándiz-Mas, V., García-Alcocel, E. (2013). Durability of expanded polystyrene mortars. *Construction and Building Materials*, 46, 175-182.
- Guimarães, K. L. M. et al. (2014). O uso de polímeros em mobiliário: Classificação dos principais tipos para aplicações em cadeiras. *Blucher Designer Proceedings*, 4, 2163-2170.
- Hage, E. (1998). Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e da tecnologia de polímeros. *Polímeros*, 2, 6-9.
- Jesus, L. C. C., (2014). Obtenção e Caracterização de Compósitos de Poliestireno Expandido Pós-consumo Reforçados com Celulose de Bagaço de Cana-de-açúcar, Tese de Mestrado, Universidade de Brasília.
- Manikandan Nair, KC., Sabu, T., Groeninckx, G. (2001). Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. *Composites Science and Technology*, 61, 2519-2529.
- Meireles, C. S. (2007). Síntese e caracterização de membranas de acetato de celulose obtidos do bagaço da cana de açúcar e blendas de acetato de celulose com poliestireno de copos descartáveis, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Mihlayanlar, E., Dilmaç, S., Guner, A. (2008). Analysis of the effect of production process parameters and density of expanded polystyrene insulation boards on mechanical properties and thermal conductivity. *Materials and Design*, 29, 344-352.
- Mohanty, A. K.; Misra, M.; Drzal, L. T. (2005). Natural fibers, biopolymers, and biocomposites, Boca Raton, Taylor and Francis. 896 p.

Oréface, R. L., Vasconcelos, W. L., Moraes, M. A. S. (2004). Estabilidade de Fases em Blendas de Policarbonato-Poliestireno Avaliada por Micro FTIR, Análise Térmica e Microscopia Eletrônica de Varredura. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 14, 129-133.

PAVIA, D. L., LAMPMAN, G. M., KRIZ, G. S., VYVYAN, J. R. (2010). Introdução à espectroscopia. Cengage, São Paulo. 716p.

Pitt, F. D., Boing, D., Barros, A. A. C. (2011). Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. 9, 10-11.

Ramires, E. C., Megiatto Jr, J. D., Gadrat, C., Castellan, A., Frollini, E. (2010). Biocompósitos de matriz glioxal-fenol reforçada com celulose microcristalina. *Polímeros*, 20, 126-133.

Rodrigues Filho, G., Assunção, R. M. N., Marques, F. C. A., Corrente, N. G., Meireles, C. S., Cerqueira, D. A., Landim, A. S. (2008). Síntese de poliestireno sulfonado para aplicações no tratamento de água produzido a partir de copos e bandejas descartadas de poliestireno. *Química Nova*, 8, 2004-2008.

Rubira, A. F., Silva, R., Haraguchi, S. K., Muniz, E. C. (2009). Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Química Nova*, 32, 661-671.

Santos, F. A., Tavares, M. I. B. (2012). Preparo e Caracterização de Filmes Obtidos a Partir de Poli (Ácido Lático) e Celulose Microcristalina. *Polímeros*.

Santos, M. S., Lima, O. J., Nassar, E. J., Ciuffi, K. J., Calef, P. S. (2011). Estudo das condições de estocagem do bagaço de cana-de-açúcar por análise térmica. *Química Nova*, 34, 507-511.

Shebani, A. N., Reenena, A. J., Meinckenb, M. (2009). The effect of wood extractives on the thermal stability of different wood-LLDPE composites. *Thermochimica Acta*, 481, 52–56.

Torres, M. A. P. R., Telles, M. T., Oliveira, C. M. F. (1998). Avaliação das propriedades de misturas de poliestireno com oligômeros de poli(óxido de propileno) e poliestireno. *Polímeros*, 8, 41-45.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Considerando os resultados, discussões e conclusões abordadas nesta pesquisa, algumas sugestões e perspectivas para trabalhos futuros devem ser destacadas, incluindo:

- ✓ A aplicação do compósito desta pesquisa em superfície de concretos para realizar novos ensaios de absorção em água;
- ✓ Elaborar compósitos com o mesmo polímero, de forma a variar somente a fibra utilizada, ao invés de celulose microcristalina utilizar a fibra presente no babaçu, comparando os seus resultados com os do compósito elaborado nesta pesquisa feito de CMC;
- ✓ Elaborar corpos de prova do compósito desta pesquisa para realizar os ensaios de tração e compressão;
- ✓ E comprovada à eficácia do material elaborado sugerir a utilização do mesmo como impermeabilizante de superfícies.