



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE MATERIAIS**

Augusto Guilherme Feitosa Cacho Borges

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE POLI (BUTILENO  
ADIPATO-CO-TEREFTALATO) ADITIVADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE  
*Melaleuca alternifolia***

Recife  
2019

Augusto Guilherme Feitosa Cacho Borges

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE POLI (BUTILENO  
ADIPATO-CO-TEREFTALATO) ADITIVADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE  
*Melaleuca alternifolia***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco para a obtenção do título de mestre em Ciência de Materiais.

**Área de concentração:** Materiais não metálicos

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Yêda Medeiros Bastos de Almeida

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Glória Maria Vinhas

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Arabelly Ascoli CRB4-2068

B732d Borges, Augusto Guilherme Feitosa Cacho  
Desenvolvimento e caracterização de filmes de poli (butileno adipato-co-tereftalato) aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* / Augusto Guilherme Feitosa Cacho Borges. – 2019.  
81 f.: il., fig., tab.

Orientadora: Yêda Medeiros Bastos de Almeida  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CCEN. Ciência de materiais. Recife, 2019.  
Inclui referências e anexo.

1. Materiais poliméricos. 2. Poli (butileno adipato-co-tereftalato). 3. *Melaleuca alternifolia*. 4. Embalagem ativa. I. Almeida, Yêda Medeiros Bastos de (orientadora). II. Título.

620.192

CDD (22. ed.)

UFPE-FQ 2019-86

Augusto Guilherme Feitosa Cacho Borges

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE POLI (BUTILENO  
ADIPATO-CO-TEREFTALATO) ADITIVADOS COM ÓLEO ESSENCIAL DE  
*Melaleuca alternifolia***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Materiais do Centro de Ciências Exatas e da Natureza da Universidade Federal de Pernambuco para a obtenção do título de mestre em Ciência de Materiais.

Aprovada em: 18/07/2019

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Yêda Medeiros Bastos de Almeida  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
(Orientadora)

---

Prof. Dr. Severino Alves Junior  
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE  
(Examinador interno)

---

Prof.Dr. Kleber Gonçalves Bezerra Alves  
(Examinador externo)

*Ao meu pai (in memoriam), à minha mãe e ao meu irmão, por todo o apoio incondicional demonstrado em todos os momentos de minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais: Edson Cacho Borges (*in memoriam*) e Maria Feitosa; e ao meu irmão Edson Cacho Borges Filho; pelo incentivo, ajuda, educação, apoio e pelo amor concedido por eles, principalmente nas dificuldades.

Ao meu amigo Pedro Henrique Pessoa por termos estado juntos em toda a jornada referente ao curso e à elaboração do presente trabalho; pela parceria, ajuda, conhecimentos adquiridos, e aprendizados mútuos, principalmente nos momentos de dificuldade, que tornaram o decorrer do curso de mestrado mais incentivador, valoroso e engrandecedor.

Aos colegas do LMPC pelo acolhimento, recepção e ajuda; especialmente a Tiago Araújo por contribuir diretamente na execução das análises pertinentes ao presente trabalho.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Yêda Medeiros Bastos de Almeida, por desde o primeiro momento ter me acolhido como aluno, pela significativa ajuda especialmente nos momentos de dificuldades, pela compreensão dos imprevistos ocorridos durante a pesquisa, pelo incentivo, pelo repasse de conhecimentos pertinentes, e principalmente por contribuir com minha carreira acadêmica e formação científica, que farão diferença em minha vida profissional.

À Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Glória Maria Vinhas, por ter aceitado ser minha co-orientadora e pelas contribuições dadas a minha formação e a este trabalho.

À Dr<sup>a</sup> Viviane Fonseca pela disponibilidade, ajuda e contribuições pertinentes ao trabalho, que foram primordiais no aprendizado para a interpretação dos resultados experimentais obtidos.

À Ingrid Suely pela contribuição por meio de seus conhecimentos na interpretação dos resultados deste trabalho, bem como à Karina Carvalho pela disposição e ajuda na realização das análises de atividade antimicrobiana.

À Central Analítica pela CG-MS e ao Laboratório de Microbiologia do Departamento de Engenharia Química (UFPE), pelas contribuições durante a execução dos ensaios microbiológicos;

*“Eu raramente penso em palavras. O pensamento vem, e eu posso tentar expressar esse pensamento com palavras depois”. (EINSTEIN, [20--] apud WERTHEIMER, 1945)*

## RESUMO

O presente trabalho objetivou preparar filmes de poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT), um polímero biodegradável, aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) pela técnica de *solution casting*, nos quais os teores do óleo foram: 5, 10 e 15 % (m/m). O óleo essencial foi caracterizado por cromatografia gasosa hifenada com espectrometria de massas (CG-MS) e sua atividade antimicrobiana foi avaliada frente às bactérias *E. coli* e *S. aureus* pela técnica de disco-difusão em ágar. Já os filmes foram caracterizados pelas técnicas de: espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), permeabilidade ao vapor de água (PVA), análise termogravimétrica (TGA), calorimetria diferencial exploratória (DSC) e ensaio mecânico de tração. Também foi avaliada a atividade antimicrobiana do filme aditivado com 15 % (m/m) do óleo frente à bactéria *E. coli* em contato com queijo muçarela. Os componentes majoritários do óleo essencial, indicados pelo CG-MS, foram: aromadendreno (20,45 %),  $\alpha$ -guaiano (10,28 %),  $\alpha$ -terpineol (9,15 %) e 2-metilisoborneol (7,88 %), enquanto que os halos de inibição no teste de disco-difusão em ágar foram de 15 e 11 cm, respectivamente, para as bactérias *E. coli* e *S. aureus*, indicando que a *E. coli* apresentou sensibilidade intermediária ao óleo e o *S. aureus* foi resistente. Os espectros de FTIR, submetidos a uma análise de componentes principais (PCA), mostraram que houve incorporação do óleo à matriz polimérica por meio das bandas em 1710 e 1735  $\text{cm}^{-1}$ . Por sua vez, a adição do óleo não alterou a estabilidade térmica do polímero, mantendo a degradação em uma única etapa, que iniciava, em média, em torno de 361 °C. Já o DSC mostrou que a temperatura de fusão (123,3 °C para o PBAT puro, 123,9°C para 5% (m/m) do óleo, 121,8°C para 10% (m/m) do óleo e 121,5 °C para 15% (m/m) do óleo), a temperatura de cristalização (84,1 °C para o PBAT puro, 84,8 °C para 5% (m/m) do óleo, 83,6 °C para 10% (m/m) do óleo e 85,2 °C para 15% (m/m) do óleo), a entalpia de fusão (11,8 J/g para o PBAT puro, 11,0 J/g para 5% (m/m) do óleo, 10,7 J/g para 10% (m/m) do óleo e 10,2 J/g para 15% (mm) do óleo) e o grau de cristalinidade calculado (14,8% para o PBAT puro, 14,8% para 5% (m/m) do óleo, 15,1% para 10% (m/m) do óleo e 13,9% para 15% (mm) do óleo) também não sofreram alterações significativas com a adição do óleo. Com relação ao ensaio mecânico de tração, a adição de 5 % (m/m) de óleo não promoveu alterações estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) nas propriedades mecânicas. Porém, nos casos de 10 e 15 % (m/m), respectivamente, houveram diminuições de 14,49 e de 32,36 % no módulo elástico e de 21,67 e 35,80 % na tensão máxima, aumentando a flexibilidade e reduzindo a rigidez do material. A permeabilidade ao vapor de água não sofreu alteração significativa com a adição de 5 % (m/m) do óleo. Porém, essa propriedade aumentou 82,44 e 96,80 %, respectivamente, com a adição de 10 e de 15 % (m/m) do óleo. O filme aditivado com 15 % (m/m) de óleo apresentou também boa inibição frente à bactéria *E. coli*, após 12 dias de contato com o alimento (queijo muçarela) na temperatura de 4°C, reduzindo a carga microbiana inoculada de  $108 \times 10^5$  UFC/mL para  $27,5 \times 10^5$  UFC/mL, o que faz deste material uma promissora embalagem ativa antimicrobiana.

**Palavras-chave:** Poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT). *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree). Embalagem ativa.

## ABSTRACT

The present work aimed to prepare films of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT), a biodegradable polymer, added with melaleuca alternifolia (tea tree) essential oil by the solution casting technique, in which the oil contents were: 5%, 10% and 15% (w/w). The essential oil was characterized by hyphenated gas chromatography with mass spectrometry (GC-MS) and its antimicrobial activity was evaluated against *E. coli* and *S. aureus* bacteria by agar disc diffusion technique. The films were characterized by the following techniques: fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), water vapor permeability (PVA), thermogravimetric analysis (TGA), exploratory differential calorimetry (DSC) and mechanical tensile testing. The antimicrobial activity of the film containing 15% (w/w) of essential oil against *E. coli* bacteria in contact with mozzarella cheese was also evaluated. The major components of the essential oil, indicated by GC-MS, were: aromadendrene (20.45%),  $\alpha$ -guaiene (10.28%),  $\alpha$ -terpineol (9.15%) and 2-methylisoborneol (7.88%), while the inhibition halos in the agar disc diffusion test were 15 and 11 mm, respectively, for *E. coli* and *S. aureus* bacteria, indicating that *E. coli* showed intermediate oil sensitivity while *S. aureus* was resistant. The FTIR spectra, submitted to a principal component analysis (PCA), showed that the oil was incorporated into the polymeric matrix by the presence of vibrational bands at 1710 and 1735  $\text{cm}^{-1}$ . In addition, the presence of oil did not change the thermal stability of the polymer, maintaining the degradation in a single step, which started, on average, around 361 °C. The DSC analysis showed that the melting temperature (123.3 °C for pure PBAT, 123.9 °C for 5% (w/w) of oil, 121.8 °C for 10% (w/w) of oil and 121.5 °C for 15% (w/w) of oil), the crystallization temperature (84.1 °C for pure PBAT, 84.8 °C for 5% (w/w) of oil, 83.6 °C for 10% (w/w) of oil and 85.2 °C for 15% (w/w) of oil), the enthalpy of melting (11.8 J/g for pure PBAT, 11.0 J/g for 5% (w/w) of oil, 10.7 J/g for 10% (w/w) of oil and 10.2 J/g for 15% (w/w) of oil) and the degree of calculated crystallinity (14.8% for pure PBAT, 14.8% for 5% (w/w) of oil, 15.1% for 10% (w/w) of oil and 13.9% for 15% (w/w) of oil) did not show significant changes with the addition of the oil. Regarding the mechanical tensile test, the addition of 5% (w/w) oil did not promote statistically significant changes ( $p < 0.05$ ) in the mechanical properties. However, in the 10 and 15% (w/w) scenarios, respectively, there were decreases of 14.49 and 32.36% in the elastic modulus and 21.67 and 35.80% in the maximum tension, increasing the flexibility and reducing the rigidity of the material. Water vapor permeability did not show significant changes with the addition of 5% (w/w) of the oil. However, this property increased by 82.44 and 96.80%, respectively, with the addition of 10 and 15% (w/w) of the oil. The films added with 15% (w/w) of essential oil showed good inhibition against *E. coli* bacteria, after 12 days of food contact at 4°C, reducing the inoculated microbial load from  $108 \times 10^5$  to  $27,5 \times 10^5$  UFC/mL, which makes this material a promising antimicrobial active packaging.

**Keywords:** Poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT). Melaleuca alternifolia (tea tree). Active packaging.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Banana em um sistema absorvedor de etileno .....	18
Figura 2	– Pão em um sistema emissor de etanol.....	18
Figura 3	– Classificação de alguns polímeros biodegradáveis quanto à fonte de obtenção.....	21
Figura 4	– Estrutura do PBAT .....	22
Figura 5	– Reação de síntese do PBAT .....	23
Figura 6	– Mecanismo de degradação hidrolítica do PBAT .....	25
Figura 7	– Cisões da cadeia principal do PBAT.....	26
Figura 8	– Transferência de hidrogênio do PBAT .....	26
Figura 9	– <i>Melaleuca Alternifolia</i> .....	29
Figura 10	– Alguns componentes do óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> .....	30
Figura 11	– Espectro CG-MS do OEM.....	40
Figura 12	– Espectro de infravermelho para o OEM .....	42
Figura 13	– Espectro de infravermelho para o filme de PBAT puro.....	44
Figura 14	– Espectro de infravermelho (sobrepostos) comparativo entre o PBAT puro e os filmes aditivados com 5%, 10% e 15% de OEM.....	45
Figura 15	– Espectro de infravermelho comparativo entre o PBAT puro e os filmes aditivados com 5%, 10% e 15% de OEM.....	46
Figura 16	– Análise das componentes principais dos filmes de PBAT puro e aditivado com 5, 10 e 15% de óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> .....	47
Figura 17	– Gráfico de loadings contendo PBAT puro e filmes contendo OEM .....	48
Figura 18	– Curva termogravimétrica do filme de PBAT e dos filmes aditivados com OEM.....	50
Figura 19	– Curva termogravimétrica DTG do filme de PBAT e dos filmes aditivados com OEM. ....	50
Figura 20	– Termograma dos filmes PBAT/OEM sintetizados .....	51
Figura 21	– Atividade antimicrobiana do filme de PBAT aditivado com 15% de óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> .....	54

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição dos filmes poliméricos .....	35
Tabela 2 – Composição do óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> obtida por CG- MS .....	40
Tabela 3 – Bandas de absorção característicos do PBAT .....	45
Tabela 4– Valores de permeabilidade ao vapor de água do filme de PBAT puro e filmes aditivados com óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> 5% (OEM05), 10% (OEM10) e 15% (OEM15).....	48
Tabela 5 – Parâmetros térmicos (DSC) dos filmes sintetizados.....	52
Tabela 6 – Parâmetros mecânicos dos filmes de PBAT aditivados com óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> .....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ASTM	American Society for Testing and Materials
DSC	Calorimetria Diferencial Exploratória
FTIR	Infravermelho com transformada de Fourier
GC-MS	Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas
OEM	Óleo essencial de <i>Melaleuca alternifolia</i>
OEM05	PBAT + 5% de óleo essencial de <i>Melaleuca alternifolia</i>
OEM10	PBAT + 10% de óleo essencial de <i>Melaleuca alternifolia</i>
OEM15	PBAT + 15% de óleo essencial de <i>Melaleuca alternifolia</i>
PBAT	Poli(butileno adipato-co-tereftalato)
PCA	Análise de Componentes Principais
PVA	Permeabilidade ao vapor de água
TGA	Análise Termogravimétrica
WVP	Barreira ao Vapor de Água
$X_c$	Grau de cristalização
$\Delta H_f$	Entalpia de fusão

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
3.1	EMBALAGENS ATIVAS.....	17
3.2	POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS .....	20
<b>3.2.1</b>	<b>Poli (butileno adipato – co – tereftalato) - PBAT</b> .....	<b>21</b>
3.3	ÓLEOS ESSENCIAIS.....	27
<b>3.3.1</b>	<b>Óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i></b> .....	<b>29</b>
3.4	ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA).....	31
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>33</b>
4.1	MATERIAIS .....	33
4.2	MÉTODOS .....	33
<b>4.2.1</b>	<b>Caracterização do óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i></b> .....	<b>33</b>
4.2.1.1	Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS)	33
4.2.1.2	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	33
4.2.1.3	Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de <i>Melaleuca Alternifolia</i> pelo método do disco-difusão em ágar .....	34
<b>4.2.2</b>	<b>Preparação dos filmes poliméricos</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Caracterização dos filmes poliméricos</b> .....	<b>36</b>
4.2.3.1	Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR).....	36
4.2.3.2	Análise de Componentes Principais (PCA) .....	36
4.2.3.3	Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) .....	36
4.2.3.4	Análise Termogravimétrica.....	37
4.2.3.5	Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) .....	37
4.2.3.6	Ensaio de Tração .....	38
4.2.3.7	Análise da atividade antimicrobiana .....	38
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>40</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MELALEUCA ALTERNIFOLIA</i> .....	40
<b>5.1.1</b>	<b>Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS)</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)</b>	<b>41</b>

5.1.3	<b>Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de tomilho pelo método do disco-difusão em ágar .....</b>	<b>43</b>
5.2	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS .....</b>	<b>43</b>
5.2.1	<b>Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier .....</b>	<b>43</b>
5.2.2	<b>Análise de Componentes Principais (PCA).....</b>	<b>47</b>
5.2.3	<b>Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA).....</b>	<b>48</b>
5.2.4	<b>Análise Termogravimétrica .....</b>	<b>49</b>
5.2.5	<b>Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC) .....</b>	<b>51</b>
5.2.6	<b>Ensaio de Tração.....</b>	<b>52</b>
5.2.7	<b>Análise da Atividade Antimicrobiana .....</b>	<b>54</b>
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
7	<b>PERSPECTIVAS .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO A – Ficha técnica de ECOFLEX® F BLED C1200.....</b>	<b>70</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em muitos países desenvolvidos, principalmente no continente europeu, o fluxograma no que tange à distribuição de alimentos tem passado por grandes inovações, sobretudo com foco na redução de embalagens descartadas ao meio ambiente, visto que atualmente grande parte das embalagens utilizadas em indústrias são oriundas de combustíveis fósseis não degradáveis, causando impacto negativo ao meio ambiente (WANG et al. 2015).

Com isso, os produtores de embalagens (“*packaging*”) adentraram-se na necessidade de produzir outras alternativas para não perderem seu próprio espaço no mercado. Indústrias e pesquisadores passaram a incentivar o desenvolvimento de novos sistemas de embalagens. Estender a durabilidade do produto embalado, manter suas características organolépticas com qualidade e segurança ao consumidor final estão dentre os objetivos de tais pesquisas (BATTISTI et al. 2017). Uma alternativa que está em constante crescimento global é o emprego de componentes naturais associados a polímeros biodegradáveis para a síntese de materiais sustentáveis, aptos para serem utilizados nos processos de empacotamento (VAN HAUTE et al. 2017).

A partir daí, surgem então sistemas que preenchem tais requisitos: as embalagens ativas, cuja ideia é diferenciada em relação às embalagens convencionais porque apresentam aditivos dentro das embalagens que podem interagir com o alimento, proporcionando uma maior estabilidade ao produto embalado durante o armazenamento. Assim, uma das principais funções das embalagens ativas é o incremento de compostos ativos que possam proporcionar novas utilidades à embalagem, como: facilitar o transporte, inibir alterações químicas, físicas e biológicas durante o armazenamento e servir como barreira ao oxigênio, umidade e luz (SIRVIÖ et al. 2013).

A partir do conceito de embalagens ativas, surge então as embalagens antimicrobianas, que objetivam diminuir, inibir ou retardar a proliferação dos micro-organismos presentes nos alimentos, principalmente em suas superfícies. Tal processo ocorre por meio da incorporação de substâncias que apresentam atividade antimicrobiana para micro-organismos responsáveis pela contaminação ou

deterioração de alimentos, e agem liberando estes compostos ativos na superfície dos alimentos embalados ou no ambiente circundante, preservando a qualidade do produto por mais tempo que as embalagens convencionais (ATARÉS; CHIRALT, 2016; BRAGA, L. R et al. 2017). Assim, várias pesquisas científicas têm sido realizadas sobre o desenvolvimento dessas embalagens, tanto na obtenção de novos filmes poliméricos quanto na utilização de aditivos naturais ou sintéticos, que atendam aos critérios necessários de qualidade para o consumidor (Y. WU, Q. LI, X. ZHANG, et al. 2019)

Portanto, as principais vantagens da síntese de filmes poliméricos antimicrobianos são: o fato de permitir menor adição de conservantes químicos diretamente no produto, valorização do produto de mercado tendo em vista o estilo de vida saudável desejado pela sociedade, a viabilidade de síntese no Brasil devido à vasta existência de especiarias e plantas naturais e menor impacto ambiental (CHIRALT, 2016; MURIEL-GALET et al. 2015; JAVIDI; HOSSEINI; REZAEI, 2016).

Para a síntese de tais filmes, a escolha do polímero deve ser considerada. Por exemplo, uma alternativa viável é o poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT), que é um polímero desenvolvido pela empresa BASF, e possui as seguintes características que contribuem para a inibição de crescimento microbiano: é biodegradável quando em contato com micro-organismos do solo, apresenta alta resistência mecânica, baixa permeabilidade ao vapor de água, e apresenta alta flexibilidade, o que possibilita seu uso em embalagens de alimentos, em especial em embalagens ativas (RHIM et al. 2013; WENG et al. 2013).

Nesse contexto, estudos vêm sendo direcionados para o uso de polímeros biodegradáveis associados a óleos essenciais que possuam propriedades químicas funcionais contra a proliferação microbiana, para que possam ser utilizados como conservantes naturais, trazendo maior benefício aos consumidores (DEBIAGI et al. 2014). Um dos óleos essenciais que tem mostrado em diversas pesquisas suas atividades antimicrobiana é o óleo essencial de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), que tem sua planta nativa da Austrália e seu óleo essencial é encontrado ao redor do planeta, inclusive no Brasil (DE SÁ et al., 2019; DE SOUZA et al., 2017; COMIN et al., 2016).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver filmes poliméricos de PBAT aditivados com óleo essencial de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*) por meio da técnica *Solution Casting*, avaliando seu potencial como embalagem ativa antimicrobiana, além de analisar suas propriedades térmicas, mecânicas e de permeabilidade ao vapor de água dos filmes sintetizados.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o óleo essencial de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*) por cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier;
- Realizar ensaios de atividade antimicrobiana do óleo essencial de melaleuca para dois grupos de bactérias patogênicas (*Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*) empregando testes de difusão em halo;
- Preparar filmes de PBAT puro e aditivados com óleo essencial de melaleuca nas concentrações de 5%, 10% e 15% via *Solution Casting*;
- Avaliar as propriedades mecânicas, térmicas e físico-químicas dos filmes de PBAT puro e aditivados com óleo essencial de melaleuca nas concentrações de 5%, 10% e 15%, por meio das seguintes técnicas de caracterização: espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), análise dos componentes principais (PCA), ensaio mecânico de tração, análise termogravimétrica (TGA), calorimetria exploratória diferencial (DSC), testes de permeabilidade ao vapor de água e de atividade antimicrobiana.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 EMBALAGENS ATIVAS

As embalagens ativas são cientificamente planejadas para influenciar diretamente na qualidade do produto, fazendo uso de interação de agentes ativos com o produto da forma desejada, tendo como finalidade o prolongamento da vida de prateleira do alimento, proteção, preservação das propriedades sensoriais, manutenção da qualidade e aumento da segurança ao consumidor final (MUSSETTI et al., 2014). O termo “embalagens ativas” está associado às tecnologias que permitem satisfazer a demanda de estender a vida de prateleira de alimentos, por meio da adição de compostos ativos formulados nas embalagens que interagem com o produto em sistemas de embalagem (DOMÍNGUEZ et al. 2018).

Basicamente, há dois tipos de sistemas para as embalagens ativas: os *sistemas absorvedores*, que visam remover substâncias indesejáveis da atmosfera no interior da embalagem, como oxigênio, água, dióxido de carbono, e outros compostos que contribuem para o aumento da velocidade de degradação do produto alimentício. E os *sistemas emissores*, que incorporam compostos ao material da embalagem (polímero, papel, entre outros.), como por exemplo dióxido de carbono, agentes antimicrobianos, antioxidantes, e conservantes, que são liberados gradativamente ao alimento (MURIEL-GALET et al. 2015; VILELA et al. 2018).

Um exemplo de sistema é o absorvedor de etileno. O etileno é um composto liberado pelas frutas e vegetais frescos, acelerando a taxa de respiração de frutos tropicais (maracujá, morango e banana são alguns exemplos). Assim, quando o sistema absorvedor de etileno atua, diminui consideravelmente a taxa respiratória de hortaliças e frutos (BRAGA, L. R et al. 2017; VILELA et al. 2018). A Figura 1 mostra um exemplo de aplicação de um sistema absorvedor de etileno: à esquerda, banana embalada contendo sachê absorvedor de etileno; à direita, sem o uso do sachê (BRAGA, L. R et al. 2017).

**Figura 1** – Banana em um sistema absorvedor de etileno.



**Fonte:** (BRAGA, L. R et al. 2017).

Um outro bom exemplo de sistema é o emissor de etanol. Esse método visa prolongar o prazo de validade dos produtos de prateleira, principalmente os que envolvem pães e bolos. Os sachês presentes dentro das embalagens absorvem a umidade e liberam etanol ao espaço livre, inibindo assim o crescimento microbiano. A Figura 2 mostra um exemplo de sistema emissor de etanol (SERANTÓPOULOS, C et al. 2016).

**Figura 2** – Pão em um sistema emissor de etanol.



**Fonte:** (SERANTÓPOULOS, C. et al. 2016).

Além disso, é de extrema importância que a embalagem seja resistente para suportar possíveis danos provenientes de forças mecânicas, bem como ter boas propriedades ópticas e térmicas (CRIZEL et al. 2018; LUZI et al. 2018; SUNG et al. 2013), pois a cadeia de produção das embalagens passa por diferentes ambientes logísticos antes de chegar ao consumidor final, isto é, nas prateleiras dos supermercados e varejos.

Para o desenvolvimento desses sistemas, seja de absorção ou emissão, é preciso atender requisitos, são alguns deles: atender à legislação vigente, não oferecer riscos à saúde do consumidor, ser economicamente viável, e a cinética da ação dos agentes deve ser compatível com o tempo de perecimento do alimento (SERANTÓPOULOS, C et al. 2016).

O conceito de embalagens ativas abrange diversos sistemas além dos exemplificados acima, como: atmosfera modificada, absorvedores de dióxido de carbono, absorvedores de umidade, emissões de dióxido de carbono, dentre outros (SERANTÓPOULOS, C et al. 2016). Um sistema que está sendo alvo de muitas pesquisas perante à necessidade da preservação dos alimentos na prateleira e prorrogação do tempo de perecimento, é o sistema de *embalagens antimicrobianas* (VAN LONG; JOLY; DANTIGNY, 2016).

O uso de ingredientes naturais tem sido bastante utilizado ultimamente, visto que sua ação antimicrobiana quanto à inibição do crescimento de micro-organismos tal como *Escherichia coli* (ou outro microrganismo indicador de contaminação alimentar) é comprovada (KHANEGHAH et al. 2018). Muitos dos aditivos antimicrobianos são adicionados diretamente nos alimentos, mas, com esse novo conceito de embalagens, os agentes antimicrobianos podem fazer parte da formulação das embalagens alimentícias, pois protegem o produto e modificam os aspectos internos de forma a preservar a qualidade do produto por tempo prolongado, além de serem naturais e bioativamente saudáveis para o ser humano (GÓMEZ-ESTACA et al. 2014). Essas embalagens são conhecidas como *embalagens ativas antimicrobianas*.

Os óleos essenciais e extratos vegetais estão sendo constantemente alvos de pesquisas, com o objetivo de integrarem-se aos polímeros biodegradáveis, pois possuem propriedades antimicrobianas comprovadas (ALVES-SILVA et al. 2013; ATARÉS; CHIRALT, 2016; LIN et al. 2019; RUIZ-NAVAJAS et al. 2013).

### 3.2 POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS

Pesquisadores e indústrias no mundo todo têm buscado soluções para a diminuição dos impactos ambientais causado pelo descarte de produtos confeccionados em material plástico. A reciclagem química é um dos processos que vem aumentando com o tempo e dando retorno satisfatório às indústrias. Assim como a síntese de biopolímeros, que são polímeros ou copolímeros que são produzidos a partir de matérias-primas renováveis, como celulose, quitina, milho, entre outros (LAYCOCK et al. 2017; ROCHMAN et al. 2013).

Enquanto que nos polímeros biodegradáveis a degradação ocorre naturalmente da ação de micro-organismos como algas, fungos e bactérias, que em condições ideais de biodegradação, podem ser consumidos em meses ou até semanas. Esses polímeros podem ser provenientes de bactérias a partir de moléculas de ácido butírico ou ácido valérico, originando o poli(hidroxicanoatos) (PHA) e poli(3-hidroxi-butirato) (PHB); também pode ser oriundos de fontes renováveis de energia como o milho, batata, cana-de-açúcar, etc.; ou serem derivados de fonte animal, como a quitosana e proteínas, além da quitina (DAMBRÓS et al. 2014; REDDY et al, 2013).

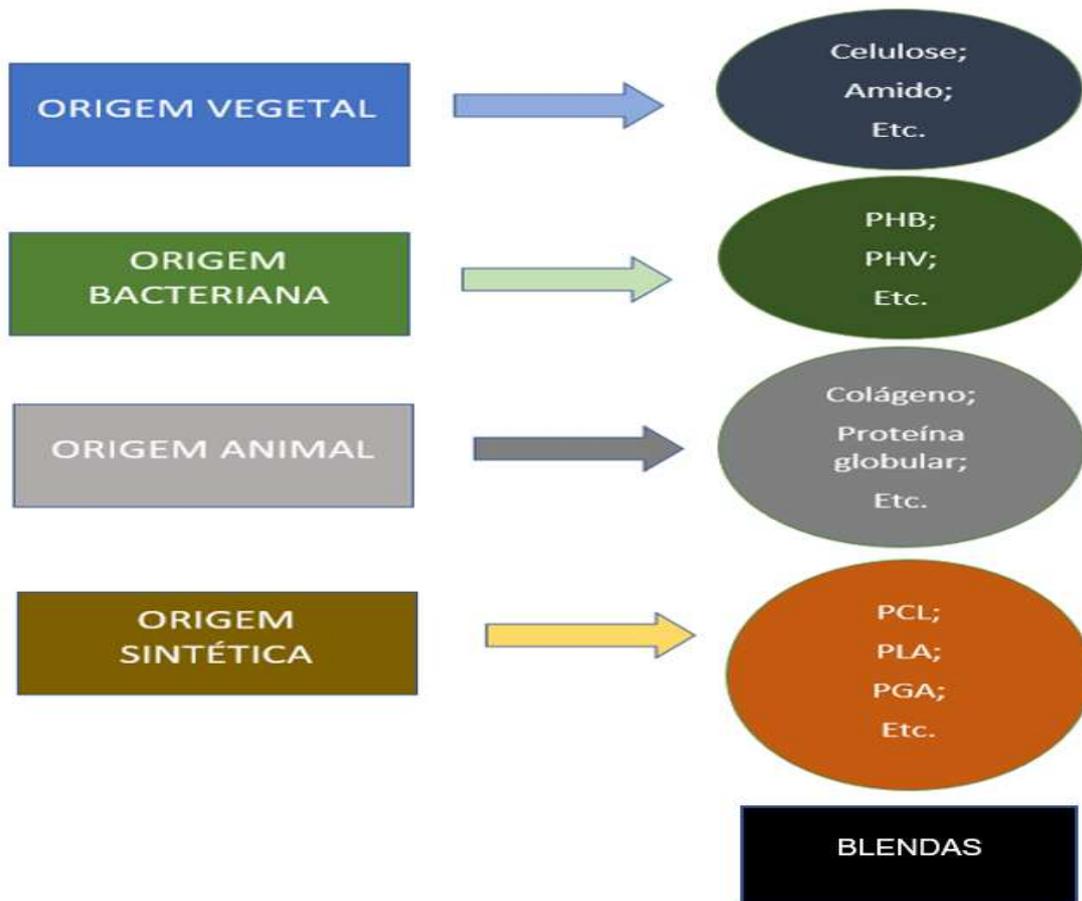
Há também os polímeros biodegradáveis que são provenientes de fontes fósseis de energia através de síntese química, como por exemplo as poliésteramidas e os copoliésteres aromáticos. Para a fabricação desses materiais foram desenvolvidos vários métodos, como o *solvent casting*, *tape casting*, *separação de fases*, *processamento térmico*, entre outros. Um polímero biodegradável amplamente utilizado em pesquisas para o desenvolvimento de embalagens ativas alimentícias, é o poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) (DZIADEK et al. 2015; DZIADEK et al. 2017; LOREDO et al. 2018).

Ainda, há a possibilidade de se desenvolver materiais por meio da combinação de diferentes polímeros biodegradáveis. DENG et al. (2018) sintetizaram blendas de PBAT/PLA e avaliaram suas viscosidades de fusão, propriedades térmicas, cristalinidade, propriedades mecânicas e sua morfologia de fases; enquanto que

TAVARES et al. (2018), avaliaram a resistência à descamação de blendas de PBAT/Lignina Kraft como embalagem laminada para alimentos, obtendo como resultado uma alternativa de solução sinérgica para embalagens alimentícias.

A Figura 3 mostra um esquema ilustrativo da classificação de alguns polímeros biodegradáveis de acordo com sua fonte de obtenção.

**Figura 3**– Classificação de alguns polímeros biodegradáveis quanto à fonte de obtenção.

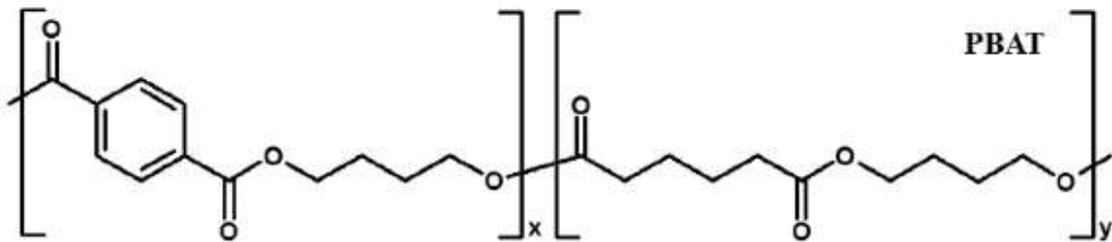


Fonte: O autor.

### 3.2.1 Poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT)

O poli(butileno adipato-co-tereftalato) (PBAT) é um poliéster alifático-aromático e semicristalino, que é classificado como biodegradável, produzido pela empresa BASF Chemycal Company desde a década de 90 e comercializado como Ecoflex®. Possui capacidade de juntar as boas propriedades mecânicas com a biodegradação, apresentando uma gama de possibilidades para o emprego na produção de produtos ecologicamente aceitos (GUO et al. 2015; OLIVEIRA et al. 2017). A Figura 4 mostra a estrutura do PBAT.

**Figura 4**– Estrutura do PBAT.

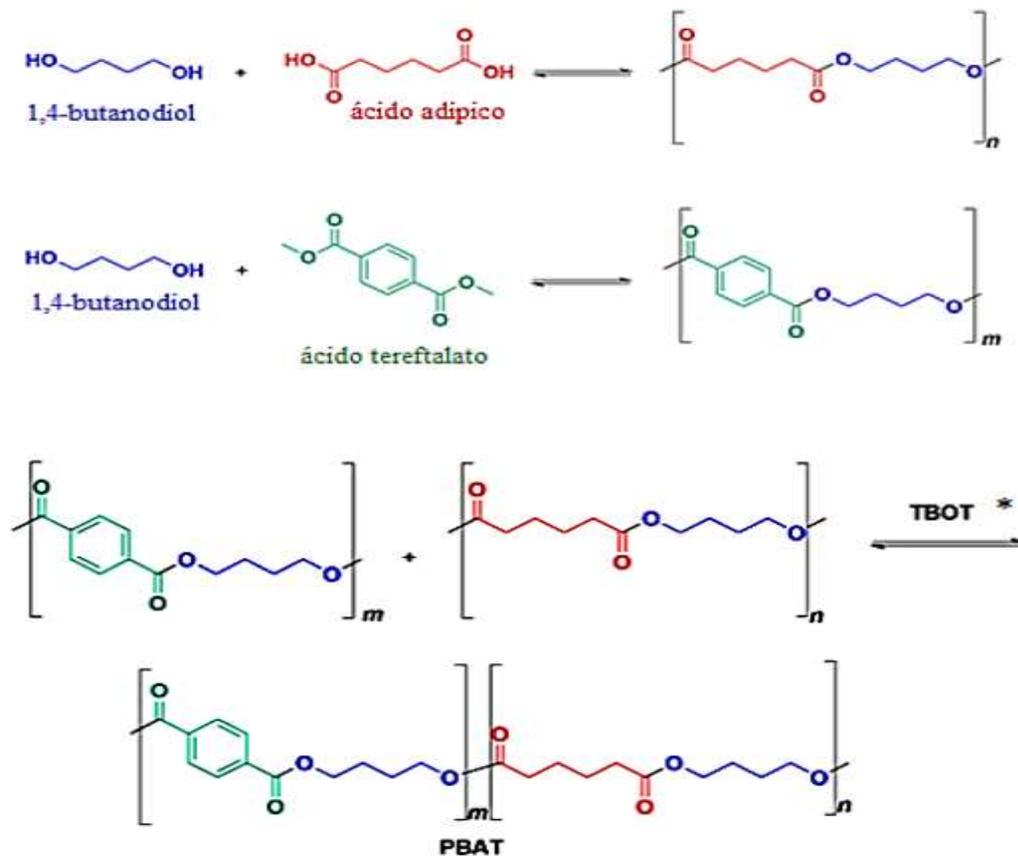


Fonte: (PRAMBAUER M. et al. 2019).

É comercializado na forma de grânulos brancos, apresentando boa solubilidade em solventes orgânicos. Derivado do petróleo, possui propriedades mecânicas semelhantes à do polietileno. O “1,4-butanodiol”, juntamente com o monômero de ácido tereftálico, é responsável pelo domínio rígido; enquanto o “1,4-butanodiol”, juntamente com o monômero de ácido adípico, é responsável pela flexibilidade do polímero (GUO et al. 2015; WENG et al. 2013).

É polimerizado a partir de ácido adípico, butanodiol e ácido tereftálico, em uma reação de policondensação auxiliado por um catalisador de transesterificação (tetrabutóxido de titânio – TBOT) (conforme Figura 5), nos quais os monômeros aromáticos contribuem com boa estabilidade térmica e propriedades mecânicas; e os monômeros alifáticos proporcionam flexibilidade e boa biodegradabilidade (GUO et al. 2015; WANG et al. 2015).

**Figura 5**– Reação de síntese do PBAT.



**Fonte:** (adaptado de ZHAO et al. 2010).

Os monômeros alifáticos (butileno adipato - BA) representam cerca de 57% de sua composição, já os monômeros aromáticos (butileno tereftalato – BT) ocupam quase todo o resto da sua estrutura. Devido a essa diferença nas propriedades desses monômeros, por consequência a concentração final desses vão influir nas propriedades mecânicas e de degradação do polímero final (FOURATI et al. 2018; GUO et al. 2015;).

Trata-se de um copolímero aleatório, pois não há controle sobre a estruturação dos blocos nas reações de copolimerização, formando um composto de estrutura mista e desordenada, tendo como consequência seu baixo ponto de fusão e sua baixa cristalinidade. Não há seletividade para os monômeros reagirem entre si ou com outro reagente (ADRAR et al. 2018; RODRIGUES et al. 2016).

Por possuir boas propriedades térmicas e mecânicas, é comparado ao polietileno de baixa densidade (PEBD), tendo grande aplicação na área de manufaturados, principalmente no que se refere às embalagens alimentícias e de

produtos de higiene. O PBAT possui vantagens em relação ao PEBD, como: biodegradabilidade, maior resistência ao “rasgo” e alongamento de ruptura muito maior. A principal desvantagem é seu custo elevado (TAVARES et al. 2018; THONGSONG et al. 2017).

Tais características fazem do PBAT um alvo de pesquisas do ponto de vista tecnológico e sustentável. Suas propriedades térmicas aliadas às propriedades mecânicas (resistência e flexibilidade), são promissoras na confecção de filmes em geral, principalmente com a finalidade de embalar alimentos e na síntese de sacolas plásticas; além de ser totalmente biodegradável em meio aquoso e em solo (AL - ITRY et al. 2012; PINHEIRO et al, 2017; VACCIOLI, 2015).

A degradação de polímeros pode ser abordada de diversas formas: tanto pelos mecanismos de reações que ocorrem durante e no início da degradação (cisão de ligações na cadeia principal ou lateral, eliminação, auto-oxidação, eliminação, substituição e despolimerização); quanto pelos mecanismos das reações de iniciação (térmica, fotoquímica e radiação de alta energia, por exemplo). Seja qual for a maneira de degradação, a etapa de iniciação sempre está relacionada à cisão de uma ligação química covalente, seja ela na cadeia principal ou lateral, gerando espécies reativas que na maioria dos casos são os radicais livres (AL-SALEM, 2019; DE PAOLI, 2008; LA MANTIA et al. 2017).

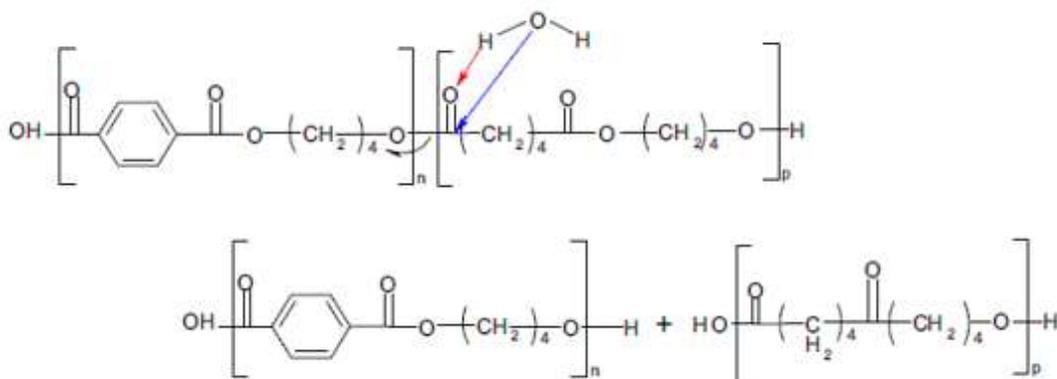
A biodegradação de materiais ocorre quando ele é usado como nutriente por um conjunto específico de micro-organismos (bactérias, fungos ou algas) que devem estar contidos no meio ambiente em que tal material será degradado (ASTM 6400-04; DE PAOLI, 2008; LA MANTIA et al. 2017). O crescimento desses micro-organismos usando o material como nutriente ocorre quando sintetizam as enzimas adequadas para quebrar alguma das ligações químicas da cadeia principal do polímero (AL-SALEM, 2019; DE PAOLI, 2008; LA MANTIA et al. 2017). Ainda mais, é preciso a coexistência das condições ideais de temperatura, umidade, pH e disponibilidade de oxigênio. A cinética de crescimento da colônia de micro-organismos vai determinar a velocidade de biodegradação do material analisado (AL-SALEM, 2019; DE PAOLI, 2008; LA MANTIA et al. 2017). Geralmente a escala de tempo adequada é da ordem de semanas ou meses (AL-SALEM, 2019; DE PAOLI, 2008; LA MANTIA et al. 2017).

Quando em contato com micro-organismos do solo, o PBAT torna-se um polímero facilmente degradado. Isso ocorre devido à ligação éster e as regiões amorfas, que são mais suscetíveis a ataques químicos e/ou biológicos, transformando-se em moléculas menores. Essas moléculas menores (em geral CO<sub>2</sub>, OH, H<sub>2</sub>O, outros compostos de C menores) são tidas como produto, não liberando subprodutos tóxicos advindos da sua degradação. Seu tempo de degradação depende do comprimento médio da cadeia contendo os blocos aromáticos (AL-ITRY et al. 2012; WANG et al. 2015).

A presença de heteroátomos e cadeias alifáticas em polímeros favorecem a degradação biológica, enquanto que a de compostos aromáticos indicam resistência à hidrólise e à ação dos micro-organismos. O PBAT, em sua cadeia, possui uma parte contendo estrutura aromática e outra contendo carbonila, heteroátomos e cadeia alifática (SILVA, 2016).

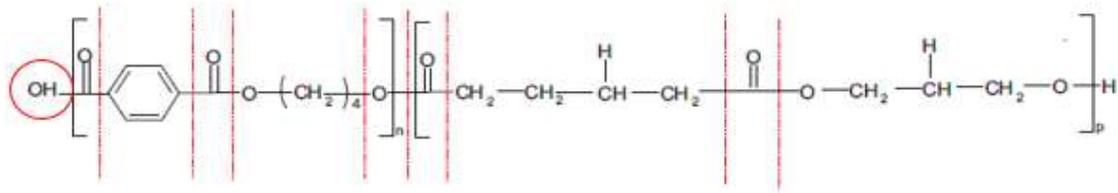
Al-Itry et al. (2012) propuseram mecanismos de degradação do PBAT: a hidrólise da ligação éster na cadeia polimérica (ação de enzimas), que tem como consequências a redução da massa molar e geração de grupos terminais –OH- e –COOH (Figura 6); cisões homolíticas em diversos pontos da cadeia (fotodegradação), seguidas ou não de reações de oxidação (Figura 7); e transferência de hidrogênio (redução da massa molar) (Figura 8) (SILVA, 2016).

**Figura 6**– Mecanismo de degradação hidrolítica do PBAT.



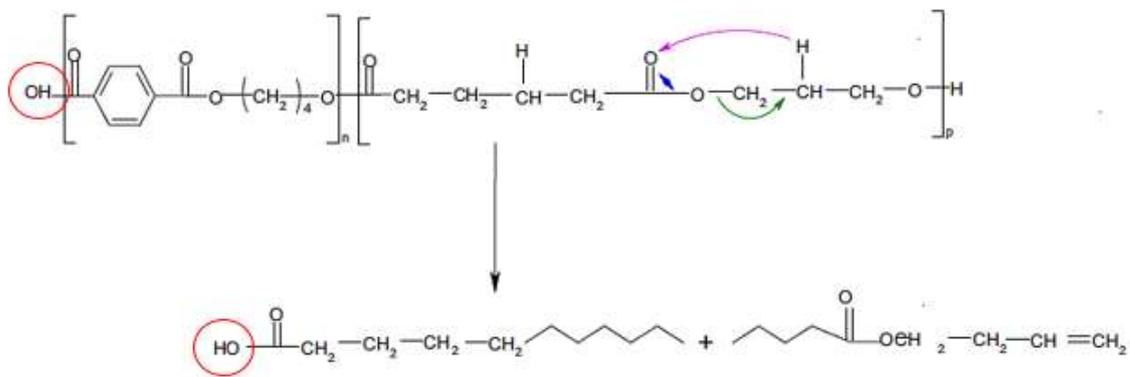
**Fonte:** (Al-Itry et al. 2012).

**Figura 7–** Cisões da cadeia principal do PBAT.



Fonte: (Al-Itry et al. 2012).

**Figura 8–** Transferência de hidrogênio do PBAT.



Fonte: (Al-Itry et al. 2012).

Diante do exposto, o PBAT tem sido alvo de pesquisas para aplicação do plástico em diversos setores da indústria, pois é versátil a formar blendas com outros polímeros afim de melhorar suas propriedades. Ultimamente, o PBAT tem atraído interesse de pesquisadores do ramo da tecnologia das embalagens, principalmente no que tange à síntese de embalagens ativas antimicrobianas (HERNANDÉZ-LÓPEZ et al. 2019; TAVARES et al. 2018).

Por exemplo, Cardoso et al. (2017) desenvolveram filmes antimicrobianos biodegradáveis de PBAT com óleo essencial de orégano, objetivando conservar “filé de peixe”. Os resultados mostraram que os filmes obtidos apresentaram características adequadas para a aplicação em embalagem do alimento, diminuindo a contagem de coliformes totais, tal como *Staphylococcus aureus*.

Os mecanismos de ação de atividade antimicrobiana podem variar de acordo com a classe da substância, por exemplo: dependendo da subclasse, compostos fenólicos podem possuir os mecanismos de ruptura de membrana, privação de

substrato ou inativação enzimática; enquanto os terpenóides possuem mecanismo de ruptura da membrana celular; já alcaloides possuem mecanismo de intercalação na parede celular e/ou DNA (COWAN, 1999; OLIVEIRA et al. 2011).

### 3.3 ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais, também chamados de óleos voláteis ou etéreos, são líquidos lipofílicos e odoríferos (aromáticos) que contém diversos componentes naturais biologicamente ativos, extraídos de diferentes partes de plantas como as raízes, flores, sementes, cascas, folhas, frutos ou da planta inteira (KHORSHIDIAN et al. 2018). Eles podem ser obtidos pela prensagem do pericarpo ou pelo método da enfloragem, porém o método mais utilizado para fins comerciais é o método de arraste por vapor (SALVIA-TRUJILLO et al. 2015).

Constituem uma mistura complexa, cujas principais características são: aroma intenso e agradável na maioria dos óleos, aparência oleosa à temperatura ambiente, solubilidade em solventes orgânicos apolares, geralmente apresentam cor incolor ou amarelada, e não são muito estáveis na presença de ar, calor, luz e umidade (MIRANDA, 2014).

Hidrocarbonetos terpênicos, alcoóis simples e terpenos, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas e compostos contendo enxofre, em diferentes concentrações, constituem a composição química desses óleos. A grande maioria dos óleos essenciais é composto de derivadas de fenilpropanóides ou de terpenóides, sendo este último o mais representativo. Os terpenóides são formados por várias unidades de isoprenos ( $C_5H_8$ ) interligadas, seguindo a razão de cinco átomos de carbonos para oito de hidrogênio quando não há ligações duplas (insaturações) (BIAN et al. 2017; FLORES et al. 2016).

A composição dos óleos essenciais pode variar em diferentes partes da mesma planta. As diferenças na constituição de óleos essenciais extraídos de uma mesma espécie da planta ocorrem devido aos fatores como: genética, idade da planta, ambiente de crescimento das plantas, fatores climáticos, irrigação, fertilização e colheita (KAVOOSI et al. 2014; DE MOURA; PIRES, 2017).

Grandes prejuízos às indústrias alimentícias, causados por micro-organismos, vêm criando uma necessidade no desenvolvimento de novas tecnologias no sentido

de síntese de embalagens ativas antimicrobianas. Assim, os óleos essenciais têm propriedades reconhecidas, atuando como agentes antimicrobianos e antioxidantes. Essas propriedades coexistem graças ao alto teor de compostos terpênicos como o cimeno, carvacrol, timol e eugenol na composição (BONILLA et al. 2018; MARTUCCI et al. 2015; MOGOŞANU et al. 2014; KHORSHIDIAN et al. 2018).

Na literatura científica, há várias pesquisas relacionadas ao potencial das embalagens ativas antimicrobianas funcionarem na inibição de crescimento microbiano e conseqüentemente manterem o alimento mais seguro e confiável para o consumo (KREPKER et al. 2017; CHENWEI et al. 2018).

María Ruiz-Rico et al. (2017) relataram a síntese, caracterização e avaliação dos componentes carvacrol, eugenol, timol e vanilina de óleos essenciais, imobilizados em partículas de sílica, tendo como resultado o melhoramento da atividade antimicrobiana do óleo essencial frente o *Listeria innocua* e *Escherichia coli*.

Jian Ju et al. (2018) estudaram a concentração mínima de inibição e a concentração mínima letal de óleos essenciais de canela e cravo contra o crescimento de fungos em bolo de feijão verde e bolo de limão, e também examinaram os efeitos desses óleos no tempo de prateleira dos produtos alimentícios. Concluíram que tais óleos essenciais não influenciaram significativamente nas propriedades organolépticas (cheiro e sabor) dos produtos, e prolongaram o tempo de prateleira dos produtos analisados.

Fu Xiang et al. (2018) utilizaram óleo essencial de *Artemisia argyi*, avaliando sua propriedade antimicrobiana utilizando o método da difusão do disco de ágar e método de diluição em caldo duplo, o qual apresentou atividade antimicrobiana frente bactérias Gram-Positivas e Gram-Negativas, e mostrando potencial para aplicação na indústria alimentícia e farmacêutica.

Nesse sentido, o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* é uma alternativa válida nas pesquisas voltadas ao desenvolvimento de embalagens antimicrobianas (DA ROCHA NETO et al. 2019).

### 3.3.1 Óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*

A *Melaleuca* é um gênero, pertencente à família das Myrtaceae, constituído de cerca de 230 espécies, dividindo-se em duas subfamílias: Myrtoidea (ocorrendo principalmente na América) e Leptospermoide (ocorrendo principalmente na Polinésia, Austrália e Malásia), ou seja, são encontradas principalmente em climas tropicais e subtropicais. Essa família comporta cerca de 130 gêneros e 3000 espécies distribuídas pelo mundo. Tal gênero é encontrado também no Brasil, devido a sua tolerância nas variações do clima e do solo.

O presente trabalho tem foco no óleo essencial da espécie *Melaleuca alternifolia* (ilustrada na Figura 9), oriunda da Austrália. São algumas outras espécies de melaleuca, quais sejam: *Linariifolia*, *Dissitiflora*, *Uncinata*, *Cajuputi* e *Quinquenervia* (HAMMER, 2015; PADALIA et al. 2015; PAZYAR et al. 2013; PIRES, 2016).

**Figura 9–** *Melaleuca alternifolia*.

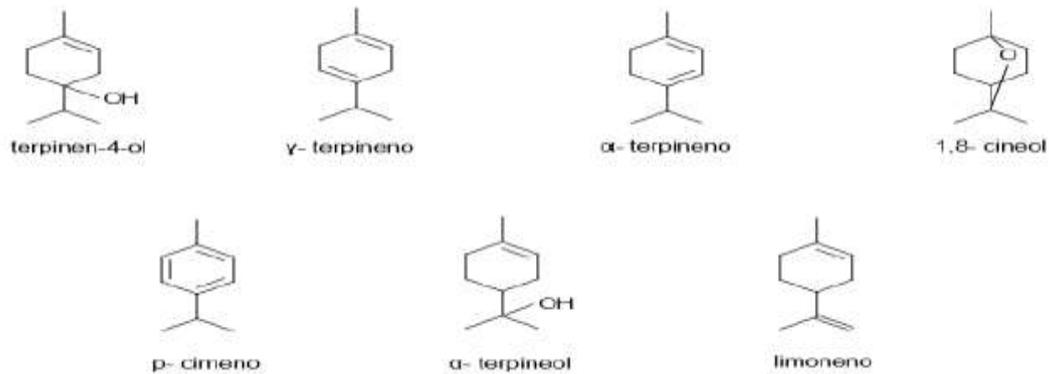


**Fonte:** (UCKER, 2016).

O óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, que é extraído da “árvore do chá (Tea Tree)”, apresenta os seguintes aspectos: coloração levemente amarelada, transparência, forte odor herbal, lipofilicidade e volatilidade. Certas condições de calor e umidade podem provocar alterações em suas propriedades biológicas. Contém em sua composição cerca de 100 componentes, principalmente o terpinen-4-ol, que geralmente é o componente majoritário. Outros componentes presentes são o  $\alpha$ -terpineol e  $\gamma$ -terpineno (Figura 10). Tal óleo essencial também apresenta atividade antimicrobiana e anti-séptica, além de atuar como agente oxidante, antitumoral e

antiprotozoário, sendo muito usado na cicatrização de feridas (PIRES, 2016; SANTANA et al. 2017).

**Figura 10**– Alguns componentes do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*.



**Fonte:** (PIRES, 2016).

Santana et al. (2017) revisaram a incorporação de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) em novos sistemas de liberação, mostrando que o uso de tal óleo essencial como princípio ativo é alternativa terapêutica para inúmeras patologias.

Pires (2016) prepararam novos nanocompósitos contendo nanoemulsões dos óleos de melaleuca, copaíba e limão para aplicação como biomaterial, utilizando o alginato de sódio. Produziram filmes de alginato incorporados em nanoemulsões de óleos de melaleuca, copaíba e limão. Resultados mostraram que os filmes produzidos apresentaram bons resultados para o Teste de Permeabilidade ao Vapor de Água (WVP = 0,719 g.mm/(kPa.h.m<sup>2</sup>)), sendo assim uma futura alternativa para aplicação como curativos.

De Sá Silva et al. (2019) avaliaram o efeito antimicrobiano do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) na inibição do *Listeria monocytogenes*, que é uma bactéria Gram-Positiva, presente na carne moída. Tal óleo essencial apresentou potencial como agente antimicrobiano natural para preservação da carne moída, abrindo assim novas perspectivas para aplicação em matrizes alimentares, no possível controle de outros patógenos alimentares.

Souza et al. (2016) avaliaram *in vivo*, utilizando o peixe *Rhamdia quelen*, a resistência da bactéria *Aeromonas hydrophila*, que é Gram-Negativa, ao óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree). Os resultados mostraram que o óleo

essencial de melaleuca provou ser uma alternativa natural para prevenir e controlar o *A. hydrophila*.

Souza et al. (2017) avaliaram a ação antimicrobiana do *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) contra a bactéria Gram-Negativa *Pseudomonas aeruginosa*, obtendo-se excelentes resultado na inibição. Também foi realizada análise em peixe, *in vivo*.

Ahmed et al., (2019) desenvolveram uma embalagem antimicrobiana para aplicação em alimentos, incorporando nanopartículas de óxido de zinco e óleo essencial de cravo em PLA/ PEG/ PCL, que foi caracterizada por técnicas térmicas, mecânicas e microbiológicas, exibindo atividade antimicrobiana frente a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus* inoculados em ovos mexidos. O óleo essencial de cravo agiu como plastificante nesse material.

R. Venkatesan e N. Rajeswari (2015) desenvolveram um filme contendo PBAT aditivado com óxido de silício, a afim de se estudar suas propriedades mecânicas e antimicrobianas. O material apresentou inibição antimicrobiana frente a *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*.

Silva et al., 2016 desenvolveram material biodegradável contendo poliestireno incorporado com óleo essencial de canela, obtendo filmes menos rígidos e menos resistentes.

De Lima et al., 2017 avaliaram a ação antimicrobiana do óleo essencial de cravo (OEC) em filmes de poli(cloreto de vinila) (PVC). A atividade antimicrobiana apresentou total inibição do filme PVC/OEC para a bactéria *Escherichia coli*. Os resultados obtidos indicaram que os filmes incorporados com o agente antimicrobiano têm grande potencial para ser aplicado na área alimentícia.

### 3.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

A análise de componentes principais é um dos métodos mais importantes utilizados na Quimiometria, sendo uma técnica estatística multivariada e peça fundamental para diversos métodos de reconhecimento de padrões, classificação e calibração (SOUZA; POPPI, 2012). Normalmente, é utilizada com o objetivo de visualizar a estrutura dos dados, detectar anomalias, encontrar similaridades e reduzir a dimensionalidade de um conjunto e dados (WU et al. 1997).

Consiste basicamente em escrever as coordenadas das amostras em um outro sistema de eixos julgado mais apropriado para a análise dos dados, ou seja, n-variáveis originais geram, por meio de suas combinações lineares, n-componentes principais, possuindo ortogonalidade como uma das principais características (RUSAK et al. 2003). O gráfico dos “scores” da componente principal 1 versus a componente principal 2 fornece informações estatisticamente privilegiadas para observação dos pontos no espaço n-dimensional; a primeira componente principal (PC1) é traçada no sentido da maior variação do conjunto de dados, enquanto a segunda (PC2) é traçada ortogonalmente à primeira, com o objetivo de descrever a maior porcentagem da variação não explicada por PC1 (SOUZA; POPPI, 2012).

O uso de espectroscopia no infravermelho médio com transformada de Fourier (FT-IR) combinado à análise quimiométrica é constantemente empregado em estudos de reconhecimento de padrões de óleos vegetais (SOUZA; POPPI, 2012). A FTIR é uma técnica rápida que requer o mínimo necessário no preparo das amostras e possui fácil instrumentação, permitindo a análise qualitativa de compostos orgânicos. Sendo assim, um espectro de infravermelho geralmente contém várias informações além das bandas de absorção, e a análise de componentes principais tem papel fundamental na interpretação das informações contidas nos espectros.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

- O PBAT utilizado foi fornecido sob o nome comercial de ECOFLEX® F BLEND C1200 pela empresa BASF Industrial S/A (ficha técnica em anexo).
- O óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (*Tea tree*) foi adquirido da marca Laszlo.
- O Clorofórmio P.A. com 99,8% de pureza utilizado como solvente orgânico foi adquirido da marca Neon.
- O Cloreto de Cálcio P.A - ACS utilizado como agente higroscópico foi adquirido da marca Dinâmica.
- Os microrganismos utilizados nos testes de atividade antimicrobiana foram cultivados como cepas de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, fornecidos pelo laboratório de Microbiologia Industrial do Departamento de Engenharia Química da UFPE e pela coleção de micro-organismos da UFPEDA, utilizados pelo Grupo de Pesquisa do Laboratório de Materiais Poliméricos e Caracterização (DEQ/UFPE).

### 4.2 MÉTODOS

#### 4.2.1 Caracterização do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*

##### 4.2.1.1 Cromatografia Gasosa Acoplada com Espectrometria de Massas (GC-MS)

Foi utilizado, para esta técnica, o cromatógrafo gasoso modelo Trace 1300 acoplado com espectrômetro de massa modelo ISQ Single Quadrupole, ambos da marca ThermoScientific. A temperatura do injetor foi de 220°C, temperatura do detector a 250°C, gás hélio foi utilizado como gás de arraste a uma taxa de 1,5 mL/min, injeções splitless de 1 µL foram utilizadas. A temperatura do forno foi de 70°C, com rampa de aquecimento 15°C/min até 120°C, seguido de rampa de aquecimento de 10°C/min até 180°C e então rampa final de aquecimento de 20°C/min até 250°C onde permaneceu por 3 minutos (GRANDO et al., 2016).

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

O óleo essencial de capim limão foi analisado pela técnica de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier, com o objetivo de se verificar a

presença dos grupos funcionais dos compostos orgânicos presentes que são característicos dos componentes majoritários do óleo essencial.

Os espectros foram obtidos utilizando-se um Espectrômetro Spectrum 400 FT-IR/ FT-NIR – Perkin Elmer, com acessório ATR (Reflexão total atenuada) em temperatura ambiente, com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , na faixa de  $4000\text{ a }650\text{ cm}^{-1}$  empregando-se o total de 16 scans.

#### 4.2.1.3 Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* pelo método do disco-difusão em ágar

Para avaliar e analisar a atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, utilizou-se culturas jovens das bactérias de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. O método utilizado foi o de disco-difusão em meio sólido, onde 4 discos de papel foram esterilizados a  $121^{\circ}\text{C}$  por 15 minutos, sendo 2 discos por microrganismo. Então, os discos foram imersos em óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* e dispostos em placas de Petri com meio ágar nutritivo e previamente inoculadas com 0,1 mL de suspensão bacteriana ( $10^{-4}$  na escala MacFarland). Na sequência do procedimento, as placas foram incubadas em estufa por 48hs a  $30^{\circ}\text{C}$ . Após esse período, utilizando-se um micrômetro, os halos de inibição foram medidos.

#### 4.2.2 Preparação dos filmes poliméricos

Os filmes poliméricos foram sintetizados pelo método *Solution Casting* (ALVES et al., 2016). Foram utilizados na preparação: polímero PBAT em grãos, óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (OEM); e clorofórmio como solvente. Os filmes foram produzidos em quatro composições distintas: filmes de PBAT puro; filmes de PBAT com 5% (m/m) de OEM; filmes de PBAT com 10% (m/m) de OEM; filmes de PBAT com 15% (m/m) de OEM. Essas composições foram escolhidas com base nos trabalhos realizados pelo Grupo de Pesquisa do Laboratório de Materiais Poliméricos e Caracterização (DEQ/UFPE).

- **Para os filmes de PBAT puro** (isto é, sem o OEM): após ser feita uma solução dissolvendo-se 2,0 g de PBAT na forma de “grãos” em 60 mL de clorofórmio em um béquer, sob agitação durante 30 minutos com auxílio de um agitador magnético, tal solução foi disposta em uma placa de Petri de 15 cm de diâmetro, devidamente identificada e o solvente foi evaporado por 72 horas a temperatura

ambiente, sem o controle de umidade. Após a total evaporação do solvente o filme foi removido com o auxílio de uma pinça e acondicionado em um envelope de papel.

- **Para os filmes de PBAT aditivados** (com OEM): foram pesados 1,9; 1,8 e 1,7g de PBAT na forma de “pellets” correspondendo respectivamente as concentrações de 5, 10 e 15%, em 45 mL de clorofórmio em um béquer, sob agitação durante 30 minutos em um *mixer* com auxílio de um agitador magnético. Foram pesados com auxílio de uma pipeta de Pasteur 0,1; 0,2 e 0,3g de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, correspondendo respectivamente as concentrações de 5, 10 e 15% em um béquer, e o óleo essencial foi transferido para a solução de PBAT previamente dissolvida utilizando-se 15 mL de clorofórmio como solução de arraste (a fim de otimizar o uso de todo o óleo contido no béquer). Entao, as soluções permaneceram por 15 minutos sob agitação com auxílio de agitadores magnéticos. Posteriormente, foram dispostas em placas de Petri de 15 cm de diâmetro, devidamente identificadas, e o solvente foi evaporado por 72 horas em temperatura ambiente, sem o controle de umidade. Após a total evaporação do solvente o filme foi removido com o auxílio de uma pinça e acondicionado em um envelope de papel.

A Tabela 1 apresenta as massas relativas de cada componente dos filmes poliméricos:

**Tabela 1** – Composição dos filmes poliméricos.

Biofilme*	PBAT (g)	OEM(g)
PBAT	2,0	-
OEM05	1,9	0,10
OEM10	1,8	0,20
OEM15	1,7	0,30

\*PBAT puro (PBAT); PBAT com 5% de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (OEM05); PBAT com 10% de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (OEM10) e PBAT com 15% de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (OEM15).

**Fonte:** O autor.

### 4.2.3 Caracterização dos filmes poliméricos

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

Os espectros foram obtidos utilizando-se um Espectrômetro Spectrum 400 FT-IR/ FT-NIR – Perkin Elmer, com acessório ATR (Reflexão total atenuada) em temperatura ambiente, com resolução de  $4\text{ cm}^{-1}$ , na faixa de  $4000$  a  $650\text{ cm}^{-1}$  empregando-se o total de 16 *scans*.

Os filmes de PBAT/óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, tanto o puro quanto adicionados de 5%, 10% e 15% do óleo essencial, foram analisados pela técnica de Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier para a análise da presença dos grupos funcionais dos compostos orgânicos presentes e para verificar a incorporação do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* ao filme.

#### 4.2.3.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

Trata-se de uma ferramenta auxiliadora na interpretação dos resultados dos espectros de infravermelho é a Análise de Componentes Principais, cujo objetivo é agrupar amostras de acordo com suas características semelhantes, por meio de técnica multivariada utilizando equações matemáticas e estatísticas. Essa análise foi realizada a afim de identificar alguma separação entre os grupos dos filmes.

A partir das leituras espectroscópicas para os filmes, foram analisados pontos para cada composição de filme para construção do modelo PCA. O software The Unscrambler 9.7 foi utilizado para se obter uma matriz de dados multivariado, em que o gráfico fornece informações estatísticas para análise dos pontos no espaço n-dimensional: a primeira componente principal (PC1) é traçada no sentido da maior variação do conjunto de dados, enquanto a segunda (PC2) é traçada ortogonalmente à PC1, com o objetivo de descrever a maior porcentagem da variação não explicada (SOUZA; POPPI, 2012).

#### 4.2.3.3 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água dos filmes de PBAT puro e os aditivados com OEM nas concentrações de 5%, 10% e 15% foram determinados através do método gravimétrico padrão E96-95 da American Society for Testing and Materials, conforme descrito por Fráguas et al. (2015), utilizando-se um gradiente de 75% de

umidade relativa (UR) a 25°C. A PVA foi medida em triplicata para cada uma das formulações dos filmes produzidos.

Para a realização da análise de PVA, preparou-se uma solução de cloreto de sódio (75% de UR) e a adicionou ao dessecador. Na sequência, foram utilizados 12 frascos de 30mL (3 por concentração) em que se adicionou Cloreto de Cálcio (CaCl<sub>2</sub>) deixando um espaço de 1,5 cm entre o filme e o dessecante. Os recipientes foram dispostos no dessecador e foi efetuado o vácuo.

Durante 08 dias as amostras foram retiradas e pesadas, e sempre que devolvidas ao dessecador, um novo vácuo era realizado.

A permeabilidade ao vapor de água foi calculada pela equação:

$$WVP = \frac{\Delta m}{A \Delta t} \frac{X}{\Delta P}$$

Onde WVP é a permeabilidade ao vapor de água,  $\Delta m/\Delta t$  é o peso do ganho de umidade por unidade de tempo (g/s),  $X$  é a espessura média do filme (mm),  $A$  é a área da superfície do filme exposta (m<sup>2</sup>) e  $\Delta P$  é a diferença de pressão do vapor de água entre os dois lados do filme (Pa) (FRÁGUAS et al., 2015).

#### 4.2.3.4 Análise Termogravimétrica

Os filmes de PBAT/OEM nas concentrações de 5%, 10% e 15% foram analisados por análise termogravimétrica (TGA), afim de avaliar as taxas de perda de massa. Foram pesados aproximadamente 20mg de cada amostra, que foram introduzidas em uma termobalança da marca Shimadzu DTG 60H. As análises foram realizadas a uma faixa de temperatura de 50 a 600°C, com taxa de aquecimento de 10°C/min sob atmosfera de nitrogênio.

#### 4.2.3.5 Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

Os parâmetros térmicos dos filmes PBAT/OEM nas concentrações de 5%, 10% e 15% foram avaliados pela técnica de Calorimetria Diferencial Exploratória no equipamento da marca Mettler Toledo modelo 1 Star<sup>e</sup> System. As amostras foram introduzidas em cadinhos de alumínio sobre atmosfera de nitrogênio com fluxo de 50 mL/min. A análise térmica foi realizada utilizando uma faixa de temperatura de 25 a

200°C. As curvas obtidas foram tratadas com os softwares SigmaPlot 12.3 e Integral 1B® para obtenção dos parâmetros térmicos de interesse.

#### 4.2.3.6 Ensaio de Tração

O teste mecânico de tração foi realizado utilizando o equipamento universal de ensaio de tração, da marca EMIC 500. O experimento foi realizado seguindo a norma da ASTM 882-12 (ASTM INTERNATIONAL, 2012), na temperatura ambiente e sem controle de umidade.

Utilizaram-se nove (09) amostras para cada composição, com os seguintes parâmetros para execução do teste: velocidade da garra: 0,5 mm/seg; distância inicial entre as garras: 40 mm; Dimensão do corpo de prova de 2,5 x 7,5 cm.

O teste estatístico de Tukey foi aplicado aos resultados para avaliar as mudanças estatisticamente significativas (SOUZA et al., 2017).

#### 4.2.3.7 Análise da atividade antimicrobiana

A técnica foi realizada conforme metodologia do ensaio de atividade antimicrobiana *in situ* descrita por De Andrade (2018) e Dannenberg et al. (2017) para a realização da análise da atividade antimicrobiana dos filmes. Utilizou-se uma matriz alimentícia de queijo muçarela obtido comercialmente e amostras do filme aditivado com 15% de óleo essencial. As amostras seguiram o seguinte procedimento:

- 1) Expostas à luz ultravioleta por 15 minutos em ambos os lados.
- 2) As amostras de queijo foram inoculadas em um dos lados com 0,1 mL de suspensão bacteriana (0,5 na escala de MacFarland) de *E. coli*.
- 3) As amostras do filme foram colocadas em contato com o queijo, sobre o seu lado contaminado.
- 4) Em seguida, as amostras foram dispostas em sacos ziplock previamente esterilizados a luz ultravioleta e armazenados a 4°C.
- 5) As amostras tinham área de 4x4cm e espessura de 0,2 mm.

A quantificação de *E. coli* foi feita utilizando o método de contagem de células viáveis. Para obtenção da contagem bacteriana no queijo, as amostras de filme/queijo (inoculadas) referentes aos dias a serem analisados foram lavadas com 9 mL de solução peptonada, e então 1 mL desta solução de lavagem foi retirada para preparar suspensões em série de dez diluições em solução de peptona (0,1%). Em placas de

Petri de tamanho 80x15 mm e numeradas conforme sua diluição, foi adicionado 1 mL de cada suspensão, e adicionou-se o ágar nutritivo. Este processo foi realizado em duplicata e as placas de Petri foram incubadas durante 48 horas em estufa a 35°C. O procedimento foi realizado nos dias 0, 3, 6, 9 e 12.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *MELALEUCA ALTERNIFOLIA*

#### 5.1.1 Cromatografia Gasosa acoplada com Espectrometria de Massas (CG-MS)

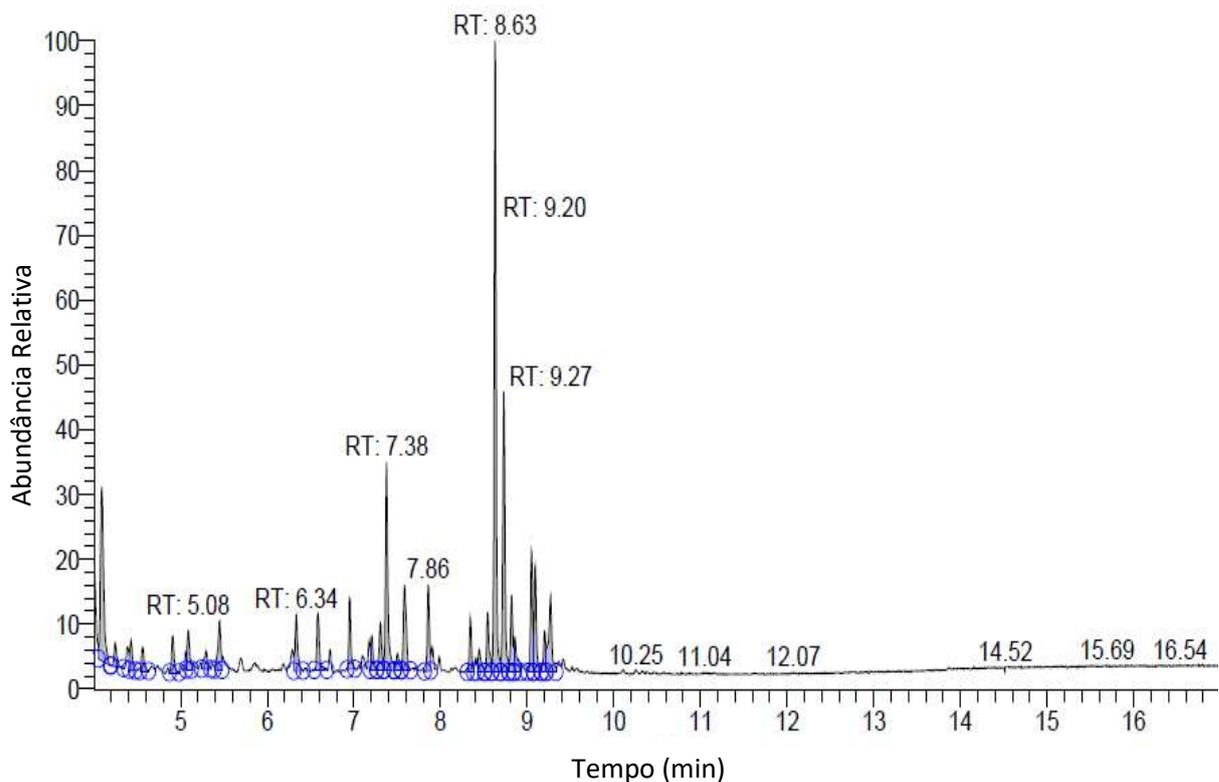
Na inspeção da composição química do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* utilizou-se a caracterização pela técnica de CG-MS, cujo principal interesse foi conhecer os compostos majoritários do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (OEM) e suas respectivas proporções na amostra (Figura 11). Os principais componentes estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2** – Composição do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* obtida por GC-MS.

Composto	(%)
Aromadendreno	20,45%
$\alpha$ - Guaiene	10,28%
$\alpha$ -Terpineol	9,15%
2-Metilisoborneol	7,88%
Outros compostos	52,24%

Fonte: O autor

**Figura 11** – Espectro CG-MS do OEM.



Fonte: O autor.

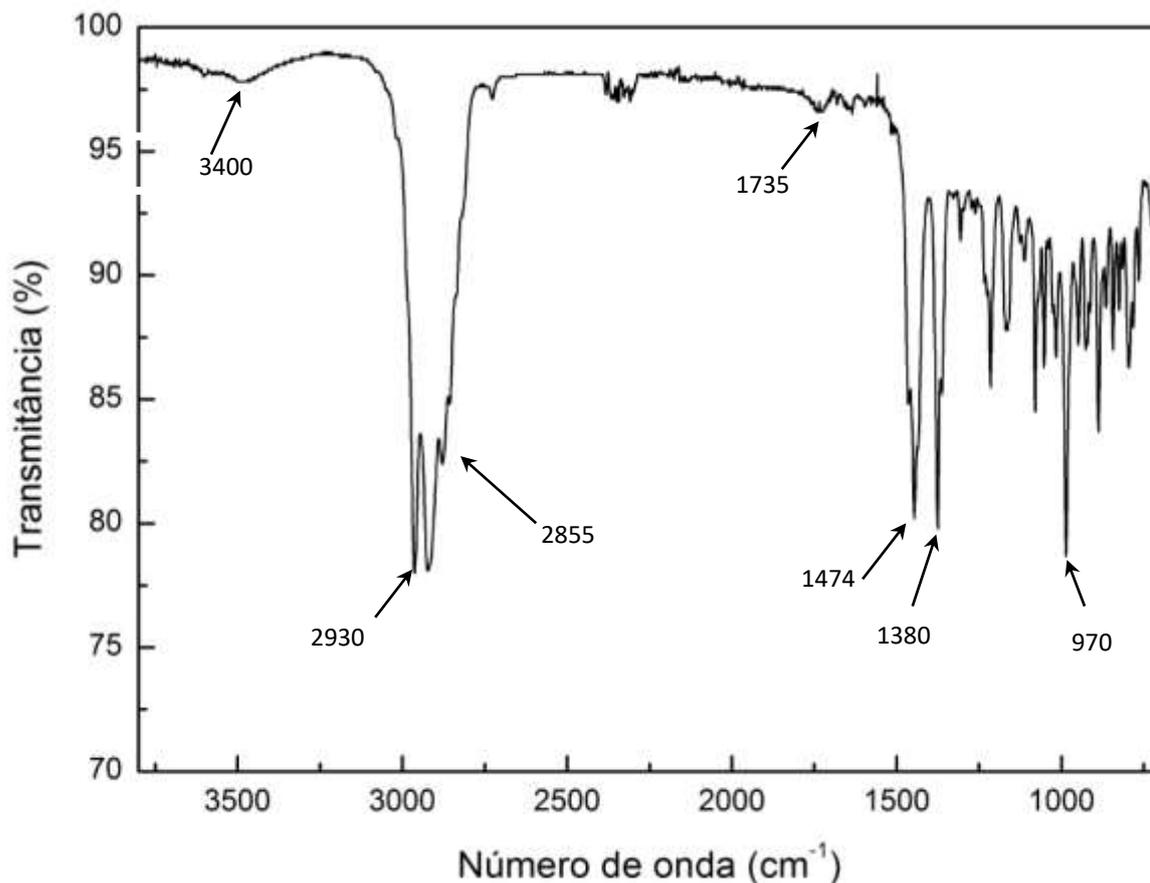
A partir dos resultados dessa análise (CG-MS), percebe-se a presença do Aromadendreno,  $\alpha$ - Guaiene,  $\alpha$ -Terpineol e 2-Metilisoborneol como componentes majoritários do OEM. Graziano et al. (2016) realizaram a caracterização do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, obtendo-se os compostos Aromadendreno (1,33 %) e  $\alpha$ -Terpineol (2,88 %) dentre os onze (11) majoritários, além de ter detectado a presença do composto  $\alpha$ - Guaiene (0,17%). Baldissera et al. (2014) encontraram no OEM 1,04% de Aromadendreno e 2,4% de  $\alpha$ -Terpineol. Enquanto no trabalho realizado por Low et al. (2015) obteve-se 7,0% de Aromadendreno e 8,0% de  $\alpha$ -Terpineol no OEM. Vale ressaltar que Tranchida et al. (2010) analisaram o OEM por similaridade espectral comparando o óleo fresco e envelhecido, identificando vários componentes, entre eles o Aromadendreno, 2-Metilisoborneol e  $\alpha$ -Terpineol.

É notável a diferença de concentração dos componentes majoritários no OEM, variando a cada pesquisa. Isso se deve aos fatores genéticos (específico de cada espécie) e condições ambientais (temperatura, altitude, pluviometria, sazonalidade, época de plantio e colheita, horário de colheita, secagem, estocagem, entre outros) (MIRANDA, 2014).

Logo, por meio da GC-MS averigua-se que o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* analisado possui os componentes apresentados na literatura, que funcionam como agentes antimicrobianos, mesmo que em baixas concentrações (PIRES, 2016; SANTANA et al. 2017). Portanto, antes de produzir os biofilmes, realizou-se um estudo da atividade antimicrobiana apenas do OEM, cujo resultado será apresentado em tópico posterior do presente trabalho.

### **5.1.2 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)**

Foi realizada a espectroscopia de infravermelho do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* a fim de complementar e corroborar os resultados obtidos na análise de CG-MS, com o objetivo de identificar as bandas características dos componentes principais do OEM (Aromadendreno e  $\alpha$ - Guaiene). O respectivo espectro pode ser observado na Figura 12.

**Figura 12** – Espectro de infravermelho do OEM.

**Fonte:** O autor.

O espectro de infravermelho obtido apresentou bandas características dos componentes majoritários do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, quais sejam em sua maioria hidrocarbonetos (Aromadendreno e  $\alpha$ - Guaiene). Também há uma banda muito fraca (devido à baixa concentração de álcoois) em torno de 3400  $\text{cm}^{-1}$  decorrente de ligações -OH. Observa-se uma banda larga e intensa em cerca de 2930  $\text{cm}^{-1}$  e 2855  $\text{cm}^{-1}$ , características de ligações -CH de hidrocarbonetos. A banda de baixa intensidade em 1735  $\text{cm}^{-1}$  indica a presença de ligações C=O em aldeído, e a banda próxima de 1474  $\text{cm}^{-1}$  indica a presença do grupo funcional -CH<sub>2</sub> (deformação angular). Já a banda próxima de 1380  $\text{cm}^{-1}$  indica a presença do radical metil -CH<sub>3</sub>. Enquanto que a banda em cerca de 970  $\text{cm}^{-1}$  é característica de ligações -CH=CH-. Bandas semelhantes foram encontradas na caracterização do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* por Mirante (2015), o que corrobora os resultados obtidos neste trabalho.

Tais resultados são compatíveis com os principais componentes presentes na composição do OEM, quais sejam: Aromadendreno e  $\alpha$ - Guaiene, que são formados basicamente por átomos de carbonos e hidrogênios.

### **5.1.3 Avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* pelo método do disco-difusão em ágar**

Verificou-se que o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* inibiu o crescimento microbiano para as duas bactérias em estudo, após o período de incubação. O diâmetro médio do halo de inibição observado para a colônia da bactéria *Escherichia coli* foi de  $15 \pm 1$  mm, enquanto para a colônia de *Staphylococcus aureus* foi de  $11 \pm 1$  mm.

Para a avaliação dos halos de inibição provenientes do teste de disco-difusão, de acordo com o National Committee for Clinical Laboratory Standards (CLSI, 2015), tem-se que os mesmos são considerados: resistentes para diâmetro igual ou menor que 14 mm, intermediário para diâmetro entre 15 e 19 mm e muito sensível para diâmetro superior a 20 mm.

Estudos consultados na literatura corroboram o poder de inibição dos óleos essenciais de melaleuca: Kulkarni et al., 2012 utilizando óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* constataram raio de inibição de  $20 \pm 2$  mm frente ao *Escherichia coli* e de  $16 \pm 2$  mm frente ao *Staphylococcus aureus*. Enquanto que Siddique et al., 2017 utilizando óleo essencial de *Melaleuca armillaris* constataram raio de inibição em torno de  $10,5 \pm 1$  mm frente ao *Escherichia coli* e de  $11 \pm 1$  mm frente ao *Staphylococcus aureus*.

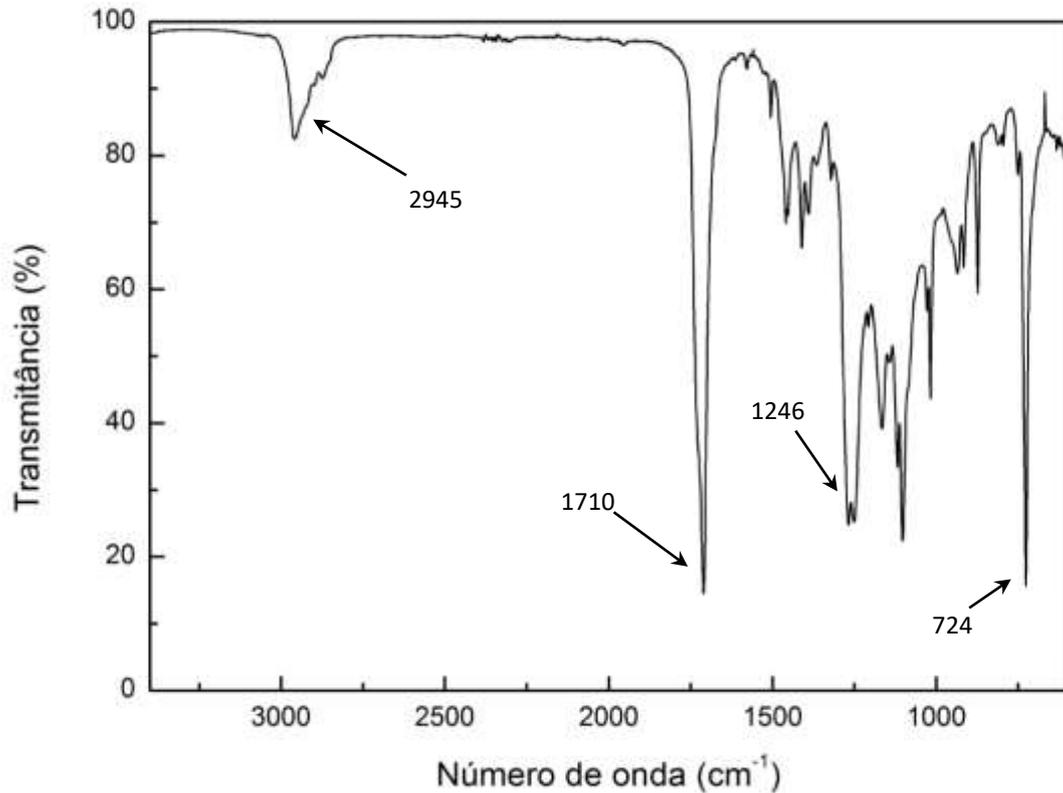
Assim, pode-se observar com esses resultados que o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* se mostrou propício como agente antimicrobiano para a síntese de embalagens ativas, o que levou ao ensaio da Análise Antimicrobiana para investigar melhor tais propriedades.

## **5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES POLIMÉRICOS**

### **5.2.1 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier**

A Figura 13 apresenta as bandas vibracionais características do filme de PBAT puro.

**Figura 13** - Espectro de infravermelho para o filme de PBAT puro.



Fonte: O autor.

A banda contida na região de  $2945\text{ cm}^{-1}$  é característica de grupos C-H existentes nos hidrocarbonetos alifáticos e regiões aromáticas, enquanto que a banda presente em  $1710\text{ cm}^{-1}$  indica a presença do grupo carbonila (C=O) devido à ligação do éster, e a banda existente em  $1246\text{ cm}^{-1}$  corrobora a presença de ligação do grupo éster. Já a banda visível em  $724\text{ cm}^{-1}$  indica a presença do grupo metileno (-CH<sub>2</sub>-)<sub>4</sub>.

Tais resultados são compatíveis com o espectro do PBAT puro encontrado por Reginatto et al. (2017) e Siyamak et al. (2012); a Tabela 3 mostra os principais grupos funcionais e bandas características correspondentes.

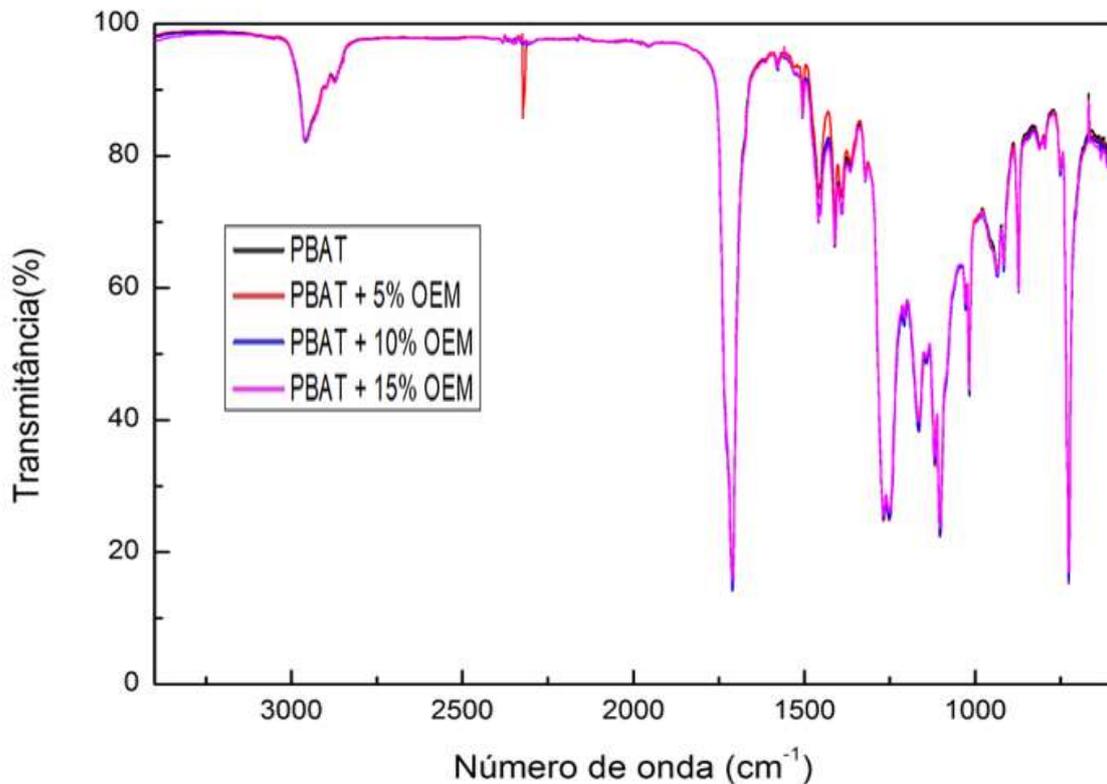
**Tabela 3** - Bandas de absorção característicos do PBAT.

PBAT (Poli(Butileno adipato co-tereftalato))	
Número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Grupo funcional
3450	-OH
3000	-CH
1715	C=O
1260	C-O
1090 – 800	$\text{C}_6\text{H}_6$
720	$(-\text{CH}_2-)_4$

Fonte: O autor.

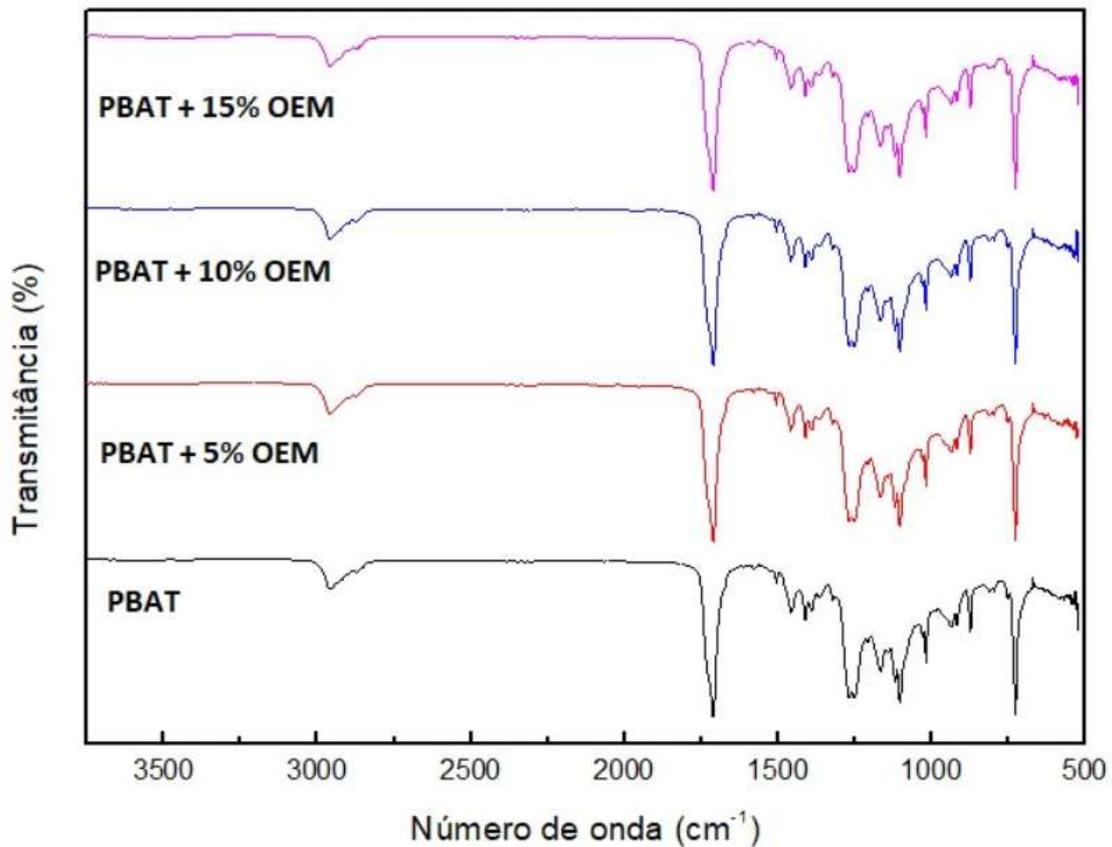
Os espectros de infravermelho para os filmes de PBAT aditivados com 5%, 10% e 15% de OEM estão contidos nas Figuras 14 e 15 a seguir, onde os mesmos são comparados com os espectros do polímero puro e do óleo puro.

**Figura 14** - Espectros de infravermelho (sobrepostos) comparativos entre o PBAT puro e os filmes aditivados com 5%, 10% e 15% de OEM.



Fonte: O autor.

**Figura 15** - Espectros de infravermelho comparativos entre o PBAT puro e os filmes aditivados com 5%, 10% e 15% de OEM.



Fonte: O autor.

Por meio dos espectros apresentados nas Figuras 14 e 15 observa-se que não foi possível detectar mudança significativa entre as bandas característicos do filme puro com as bandas presentes nos filmes aditivados com OEM. Esse aspecto pode ser atribuído à presença de sobreposição de bandas entre o polímero e o óleo, pois ambos compartilham bandas características semelhantes.

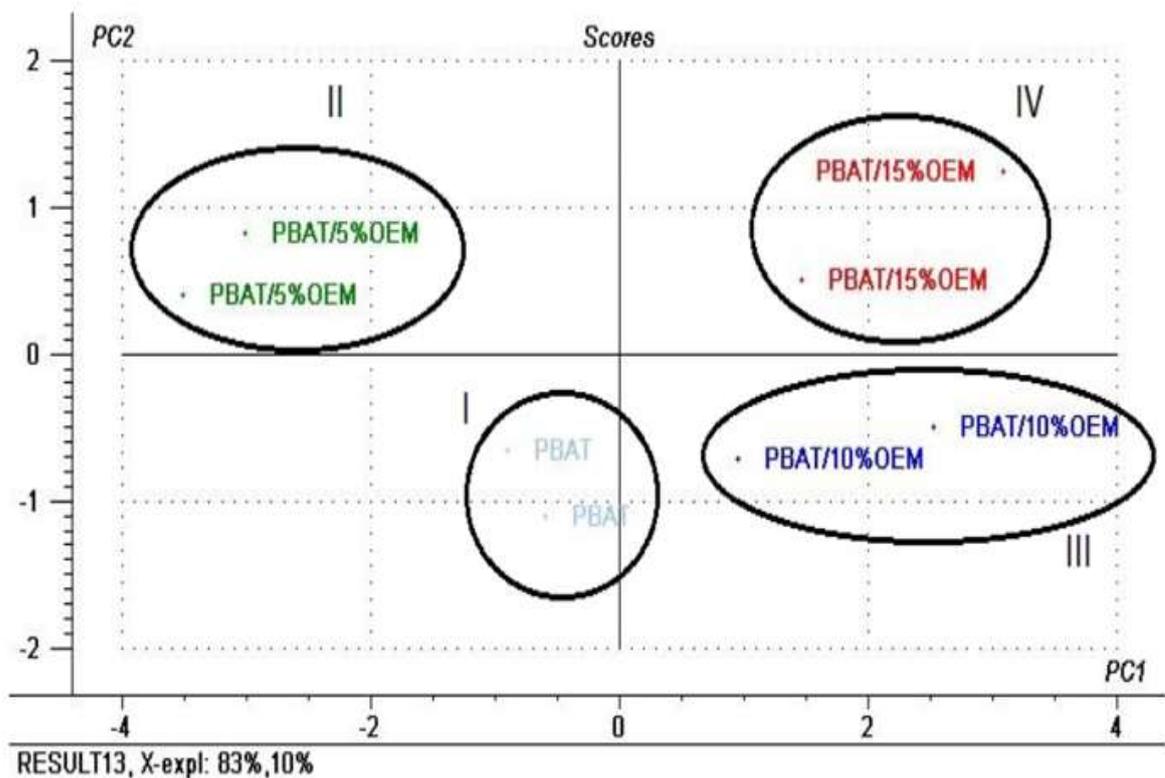
Assim, a fim de se estudar mais detalhadamente esses resultados, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) para a identificação da presença de grupos funcionais específicos do óleo essencial que possam estar presentes na estrutura do PBAT.

### 5.2.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

A partir das leituras espectroscópicas para os filmes, foram analisados os componentes para a construção do modelo PCA, que é um método que permite a redução da dimensionalidade através da representação do conjunto de dados em um novo sistema de eixos, permitindo a visualização da natureza multivariada dos dados em poucas dimensões (DE SOUZA, POPPI, 2012).

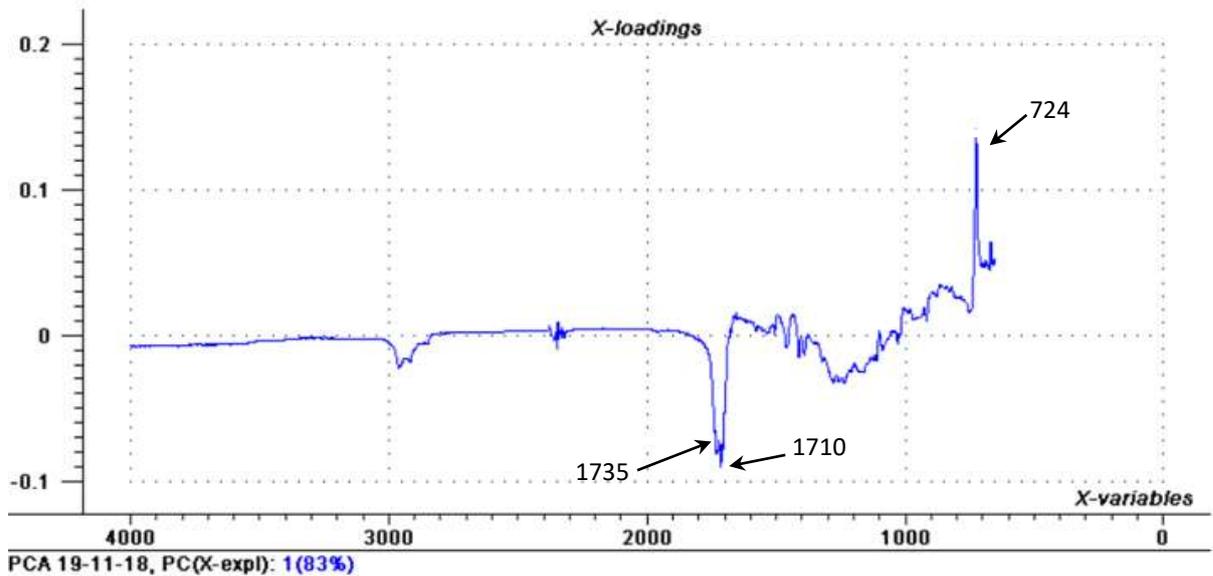
A partir das leituras espectroscópicas para os filmes, foram analisados dois pontos para cada formulação de filme para a construção do modelo PCA e os scores estão representados na Figura 16, enquanto o gráfico de loadings (gerado pela PCA) está apresentado na Figura 17.

**Figura 16** – Análise das componentes principais dos filmes de PBAT puro e aditivado com 5, 10 e 15% de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*.



Fonte: O autor.

**Figura 17** - Gráfico de loadings do PBAT puro e filmes contendo OEM.



**Fonte:** O autor.

Analisando os scores (Figura 16), observa-se que houve diferenciação química na matriz polimérica dos filmes, pois houve separação dos grupamentos, em que os grupos com filmes aditivados encontram-se afastados do grupo contendo PBAT puro.

No gráfico de *loadings* (Figura 17) observa-se bandas características, das quais a banda de  $724\text{ cm}^{-1}$  encontra-se tanto no PBAT quanto no OEM; já a banda de  $1710\text{ cm}^{-1}$  é exclusiva do PBAT puro, enquanto a de  $1735\text{ cm}^{-1}$  é exclusiva do OEM, sendo razão confirmadora da incorporação do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* na matriz polimérica.

### 5.2.3 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

Os valores do teste de Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA) dos filmes de PBAT aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4** – Valores de permeabilidade ao vapor de água do filme de PBAT puro e filmes aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* 5% (OEM05), 10% (OEM10) e 15% (OEM15).

Filme	PVA ( $\text{g}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ ). $10^7$
PBAT	$1,88 \pm 1,91^a$
OEM05	$1,89 \pm 1,68^a$
OEM10	$3,43 \pm 1,07^b$
OEM15	$3,70 \pm 5,63^b$

**Fonte:** O autor.

Pelos dados obtidos, pode-se observar que a adição de 5% de OEM não alterou significativamente a PVA do filme, pois o valor ficou próximo ao do PBAT. Porém, nas demais concentrações (10% e 15%) há um aumento médio considerável na permeabilidade dos filmes, de (82,44% e 96,80%) respectivamente, ao contrário do que é esperado para filmes incorporados com substâncias hidrofóbicas. Segundo Martelli et al. (2006), biofilmes plastificados com aditivos mostraram maior permeabilidade que sem aditivos, pois quando não há uma interação muito alta a presença do aditivo pode aumentar a permeabilidade, devido ao aumento da mobilidade da cadeia polimérica e volume livre (SCHLLEMER, 2013). Como o OEM possui uma certa quantidade de componentes polares em sua composição, portanto, uma parte hidrofílica em sua estrutura que tende a interagir mais fortemente com a água, aumentando a permeabilidade do filme. Provavelmente essas pequenas moléculas polares se acoplam na cadeia polimérica, permitindo maior permeabilidade de vapor de água (DO AMARAL, 2014; PIRES, 2016).

Sendo assim, o óleo de *Melaleuca alternifolia* possui uma parte hidrofóbica (composta majoritariamente por hidrocarbonetos) e outra hidrofílica (composta majoritariamente por álcoois).

Vale salientar que Hammer et al. (2004) observaram que o óleo de *Malaleuca alternifolia* e seus componentes aumentaram a permeabilidade das células de levedura e fluidez da membrana plasmática.

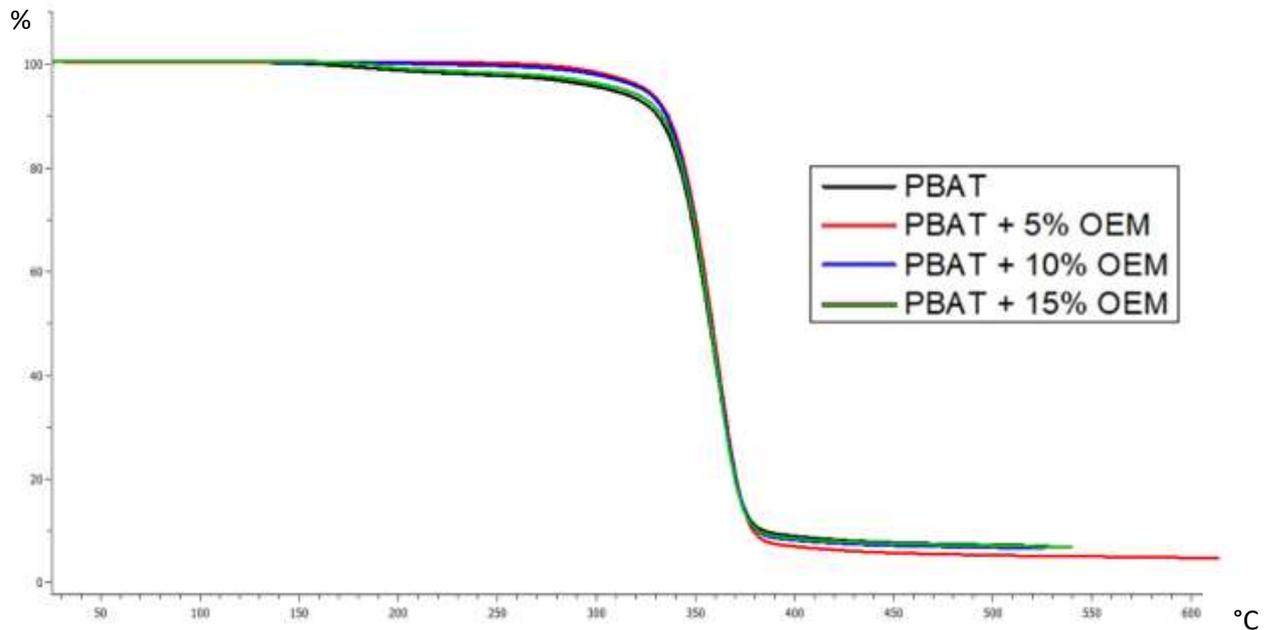
Ainda, o PBAT também é conhecido por possuir baixa propriedade de barreira a gases, limitando suas aplicações em embalagens industriais. Estudos em nanoescala, utilizando filmes de nanocompósitos poliméricos, vem sendo desenvolvidos para melhorar as propriedades de barreira do material (RAJA; NATESAN; 2015).

#### **5.2.4 Análise Termogravimétrica**

A estabilidade térmica e a perda de massa, em função da temperatura, do PBAT em diferentes concentrações de OEM pode ser observada nas curvas termogravimétricas.

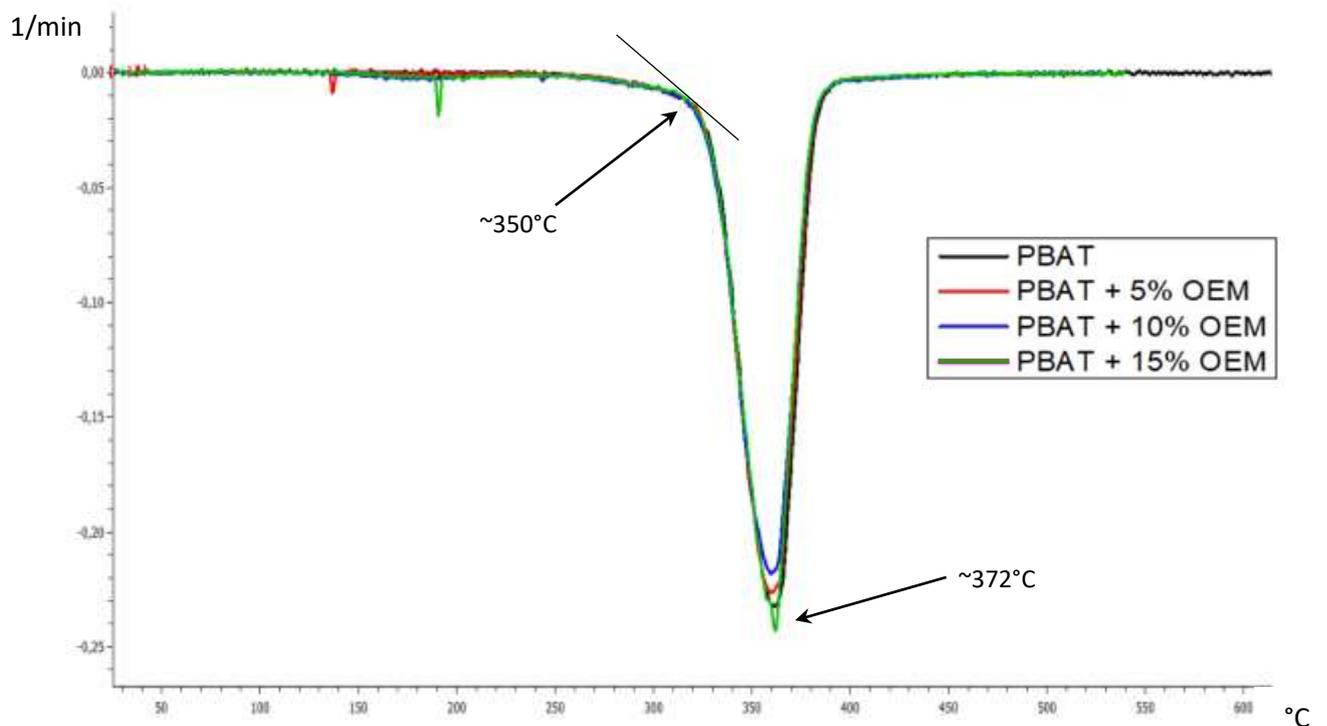
Os termogramas dos filmes produzidos no presente trabalho (PBAT/OEM) constam nas Figuras 18 e 19.

**Figura 18** - Curvas termogravimétricas do filme de PBAT e dos filmes aditivados com OEM.



Fonte: O autor

**Figura 19** - Curvas termogravimétricas DTG do filme de PBAT e dos filmes aditivados com OEM.



Fonte: O autor

Observa-se que a degradação ocorreu em uma única etapa para todos os filmes analisados, na faixa de temperatura entre 340°C e 390°C.

A partir do gráfico da DTG, observa-se valores da temperatura de degradação do filme inicial ( $T_0$ ) de aproximadamente 350°C e temperatura de degradação máxima em cerca de 372°C.

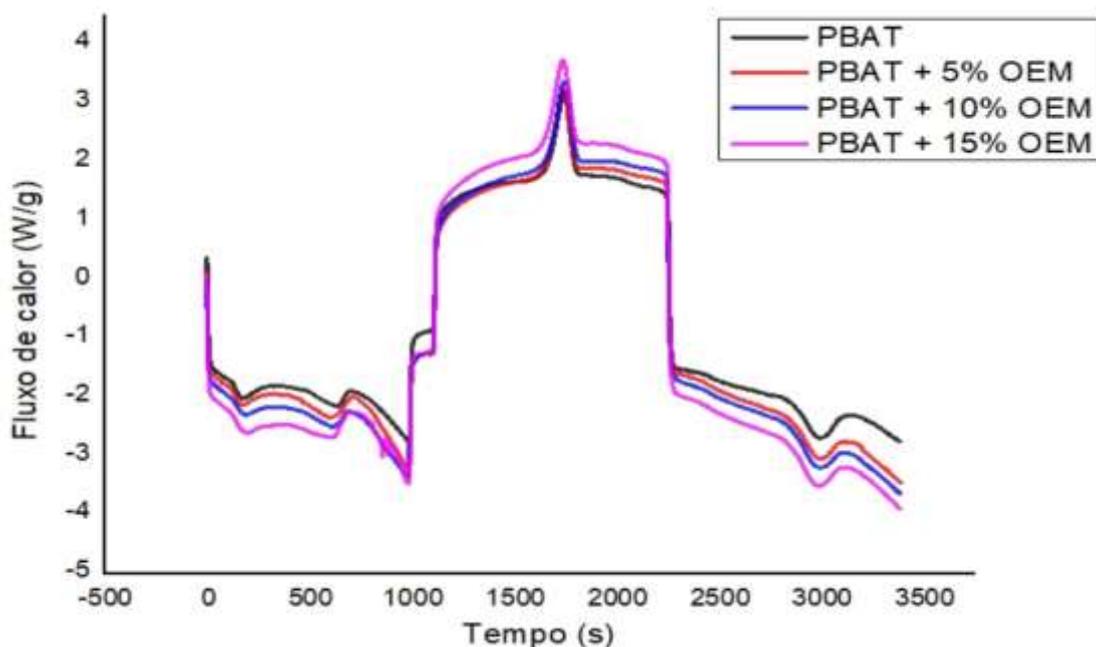
Conclui-se então que não ocorreu alteração na estabilidade térmica do polímero PBAT com a adição do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*. Estudos na literatura mostram que a presença de aditivos em PBAT pode não influenciar na estabilização térmica do material (ZEHETMEYER ET AL, 2016).

Bheemaneni et al. (2018) encontraram as temperaturas inicial e final de degradação do PBAT dentro da faixa de 391°C e 417°C, aproximadamente. Resultados semelhantes também foram obtidos por Kumar et al. (2010) e Kuchnier (2014). Enquanto IBRAHIM et al. (2011) observaram que esse polímero apresenta faixa de degradação entre 340°C e 400°C.

### 5.2.5 Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

A Figura 20 apresenta os termogramas dos filmes de PBAT puro e aditivado com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, e a Tabela 5 apresenta a temperatura de fusão e a entalpia obtidas através desses termogramas.

**Figura 20** – Termogramas dos filmes PBAT/OEM sintetizados.



**Fonte:** O autor.

**Tabela 5** – Parâmetros térmicos (DSC) dos filmes sintetizados.

Biofilme	T <sub>c</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)	ΔH <sub>m</sub> (J/g)	X <sub>c</sub> (%)
PBAT	84,1	123,3	11,8	14,8
OEM05	84,8	123,9	11,0	14,8
OEM10	83,6	121,8	10,7	15,1
OEM15	85,2	121,5	10,2	13,9

T<sub>c</sub> (°C) – Temperatura de cristalização; T<sub>m</sub> (°C) – Temperatura de fusão;  
 ΔH<sub>m</sub> (J/g) – Entalpia de fusão; X<sub>c</sub> (%) – Grau de cristalinidade.

**Fonte:** O autor.

Os filmes de PBAT com percentuais de 5% e 10 % de OEM (OEM05 e OEM10, respectivamente), quando comparados ao PBAT puro, não apresentaram variações significativas nos valores observados para as temperaturas de cristalização e fusão, entalpia de fusão e percentual de cristalinidade, com o filme aditivado com 10% (OEM10) apresentando um leve aumento não significativo de 14,8% (PBAT) puro para 15,1% (OEM10).

Já o filme de PBAT, com percentual de 15% de OEM (OEM15), teve sua temperatura de cristalização (T<sub>c</sub>) das amostras sem variação estatisticamente significativa, obtendo um leve aumento quando em comparação ao PBAT puro. Para essa mesma amostra, também não houve mudança significativa na temperatura de fusão (T<sub>m</sub>) e na entalpia de fusão (ΔH<sub>m</sub>), assim como o percentual de cristalinidade (X<sub>c</sub>) apresentou variação não significativa, com uma leve diminuição de 14,8% do PBAT puro para 13,9% do OEM15.

Portanto, observa-se que a adição do OEM à matriz polimérica não afetou significativamente a estabilidade térmica do polímero PBAT. Al-Itry et al. (2014) encontraram temperaturas de fusão e taxa de cristalização semelhantes para o polímero PBAT puro, corroborando os dados da Tabela 5.

### 5.2.6 Ensaio de Tração

O ensaio de tração dos filmes poliméricos foi realizado com a finalidade de verificar a influência do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* nas propriedades mecânicas do polímero PBAT. A fim de realizar tal análise (Tabela 6) foi aplicado o

teste estatístico de Tukey de forma a avaliar as mudanças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) nas propriedades mecânicas dos filmes aditivados ou não com OEM.

**Tabela 6** – Parâmetros mecânicos dos filmes de PBAT aditivados com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*.

Biofilme	Tensão máxima (MPa)	Módulo Elástico (MPa)
PBAT	$8,35 \pm 0,75^a$	$47,59 \pm 1,60^a$
OEM05	$8,54 \pm 0,33^a$	$46,87 \pm 8,10^a$
OEM10	$6,54 \pm 0,25^b$	$40,69 \pm 4,41^b$
OEM15	$5,36 \pm 0,12^c$	$32,19 \pm 4,97^c$

Fonte: O autor

A tensão na força máxima pode ser definida como a resistência máxima oferecida pelo material quando submetido à tração e relaciona-se com a área transversal do corpo de prova e força aplicada. Analisando os dados obtidos Tabela 6, nota-se que, a partir da concentração de 10% (m/m) do OEM, a tensão na força máxima vai diminuindo à medida que é aumentada a concentração do óleo essencial (OEM), com redução média de 21,67% para o OEM10 e 35,80% para o OEM15.

O módulo elástico mede a rigidez do material: quanto maior, mais rígido. Na Tabela 6 percebe-se que o módulo de elasticidade também vai diminuindo à medida que é aumentada a concentração do óleo essencial (OEM), com redução média de 14,49% para o OEM10 e 32,36% para o OEM15.

Essa redução pode ser atribuída aos componentes do OEM de baixa massa molar, e que influenciam no comportamento mecânico dos polímeros e ocupam fisicamente um volume entre as cadeias poliméricas (DO AMARAL, 2014; PIRES, 2016).

A diminuição significativa da tensão na força máxima e no módulo elástico é justificada por alguns pesquisadores devido ao aparecimento de poros pela incorporação do óleo de *Melaleuca alternifolia* na matriz do polímero, após secagem, afetando o comportamento mecânico (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ ET AL. 2009; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ ET AL. 2010).

Raja e Natesan (2015) desenvolveram filmes de PBAT contendo dióxido de silício, obtendo um material com maiores módulos de elasticidade, isto é, mais rígido.

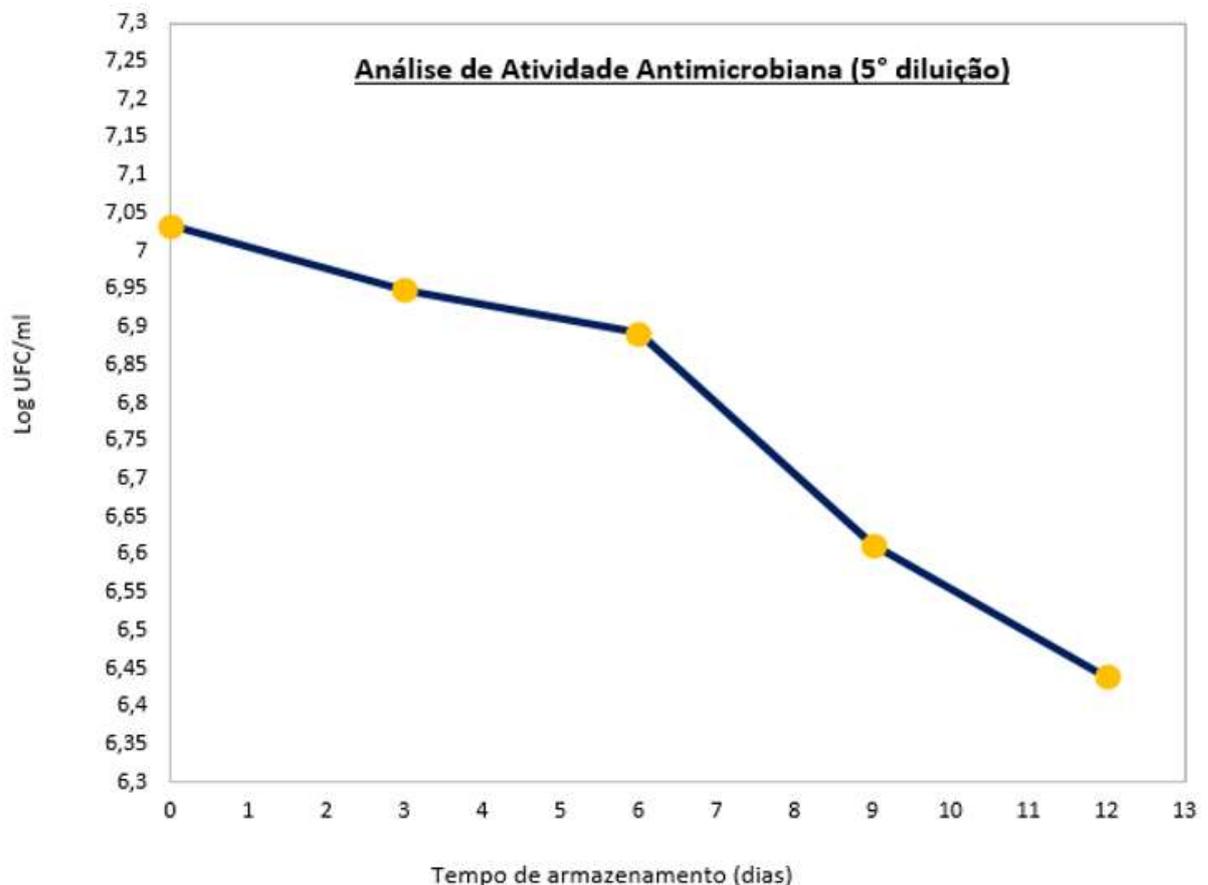
Portanto o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* atribuiu ao polímero PBAT menos rigidez com a diminuição do seu módulo de elasticidade e tendência em aumentar a flexibilidade, o que atribui a este material características plastificantes.

### 5.2.7 Análise da Atividade Antimicrobiana

Para a realização da atividade antimicrobiana do filme, com base nas baixas concentrações dos componentes do OEM e pouco tempo de armazenamento do alimento, foi feito esse ensaio com o filme formulado na mais alta concentração do OEM (15%).

O filme de PBAT aditivado com 15% de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* apresentou atividade antimicrobiana para essa concentração testada em amostra de queijo muçarela conforme exposto na Figura 21. Das diluições realizadas conforme a metodologia, a que se mostrou dentro da faixa padrão de contagem (entre 300 e 30 UFC) foi a **diluição de número 5**.

**Figura 21** – Atividade antimicrobiana do filme de PBAT aditivado com 15% de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*.



Fonte: O autor

No primeiro contato do filme com o alimento (queijo muçarela) houve uma considerável redução do número de células viáveis, de 8,17 Log UFC/g (que é o valor presente para uma suspensão bacteriana em 0,5 McFarland segundo (FORBES, 2007)), para 7,00 Log UFC/ml, como pode ser visto na Figura 21.

Nos seis primeiros dias de armazenamento (Figura 21), a aplicação o biofilme apresentou uma tendência na redução da contagem de células viáveis de *E. coli*. Porém, tal redução foi mais visível a partir do sexto dia da análise. A diminuição continuou a ocorrer nos dias seguintes, o que corroborou aquela tendência de redução: observou-se através dos resultados que ocorreu o menor valor após 12 dias de contato do filme com a amostra de queijo muçarela, reduzindo a população desse microrganismo de 7,03 Log UFC/mL para 6,44 Log UFC/mL, isto é, de  $108 \times 10^5$  UFC/mL para  $27,5 \times 10^5$  UFC/mL.

Essa inibição pode ser explicada pela exposição do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, como consequência do aumento da interação com a bactéria *E.coli* (DE SÁ SILVA et al. 2019). Assim, após a liberação desse óleo essencial, a migração ocorreu gradualmente, eliminando a cada dia da análise mais bactérias para inibir o crescimento microbiano ao longo do experimento.

Ainda, as propriedades antimicrobianas do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* são atribuídas a componentes do tipo terpenóide, como os Aromadendreno e  $\alpha$ -Terpineol, o que explica a morte das bactérias com provável consequente desintegração de seus componentes celulares (BUDZYNSKA et al. 2011; BURT, 2004; D'ARRIGO et al. 2010).

Resultados antimicrobianos foram obtidos por Kulkarni (2012) e Thomsen et al. (2013), que estudaram a resistência do OEM contra multidrogas uropatógenas e registraram a atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* contra *E. coli*. Ainda, Kavanaugh e Ribbeck (2012) testaram o OEM em biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa*, *P. putida*, e *Staphylococcus aureus*, obtendo como resultado a morte desses micro-organismos.

É importante ressaltar que a quantidade de colônias de micro-organismos em alimentos aumenta com o decorrer do tempo, e foi possível observar que o filme desenvolvido no presente trabalho reduziu essa quantidade.

## 6 CONCLUSÃO

Por meio da análise realizada por Cromatografia Gasosa acoplada ao Espectrômetro de Massa (CG-MS), determinou-se que o óleo essencial de *Melaleuca Alternifolia* utilizado era composto majoritariamente por Aromadendreno (20,45%),  $\alpha$ -Guaiene (10,28%),  $\alpha$ -Terpineol (9,15%) e 2-Metilisoborneol (7,88%); enquanto que os demais compostos, em baixas concentrações, totalizam 52,24% da amostra, da qual há a presença de álcoois. O ensaio de atividade antimicrobiana por disco-difusão em ágar apresentou potencial inibidor frente as bactérias *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, com halos de inibição médios de 15 mm e 11 mm, respectivamente.

A ferramenta de análise de componentes principais (PCA) em conjunto com a técnica de caracterização por espectroscopia de infravermelho (FTIR) corroboraram a provável incorporação do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, nas concentrações de 5%, 10% e 15% na matriz polimérica do PBAT, havendo incorporação do óleo à matriz polimérica por meio das bandas em 1710 e 1735  $\text{cm}^{-1}$ .

As propriedades térmicas dos filmes, apresentadas através da análise termogravimétrica (TGA), ficaram muito próximas à do polímero (PBAT) puro, o que leva à conclusão de que não houve alteração significativa na estabilidade térmica do polímero PBAT puro, mantendo-se a degradação em uma única etapa e iniciando-se em torno de 361°C. Já o DSC mostrou que a temperatura de fusão (123,3 °C para o PBAT puro, 123,9°C para 5% (m/m) do óleo, 121,8°C para 10% (m/m) do óleo e 121,5 °C para 15% (m/m) do óleo), a temperatura de cristalização (84,1 °C para o PBAT puro, 84,8 °C para 5% (m/m) do óleo, 83,6 °C para 10% (m/m) do óleo e 85,2 °C para 15% (m/m) do óleo), a entalpia de fusão (11,8 J/g para o PBAT puro, 11,0 J/g para 5% (m/m) do óleo, 10,7 J/g para 10% (m/m) do óleo e 10,2 J/g para 15% (mm) do óleo) e o grau de cristalinidade calculado (14,8% para o PBAT puro, 14,8% para 5% (m/m) do óleo, 15,1% para 10% (m/m) do óleo e 13,9% para 15% (mm) do óleo) também não sofreram alterações significativas com a adição do óleo.

Por outro lado, houve aumento da permeabilidade ao vapor de água do filme com a adição do óleo essencial nas concentrações de 10 e 15% (m/m), aumentando em 82,44 e 96,80 %, respectivamente. Tal fato pode ter ocorrido devido aos

grupamentos hidroxila de alguns componentes, por apresentarem polaridade, influenciaram na hidrofiliçidade do polímero. Não houve alteração estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) para a concentração de 5% (m/m).

As propriedades mecânicas do PBAT também foram alteradas com a adição do óleo nos casos de 10 e 15 % (m/m), em que houveram, respectivamente, diminuições de 14,49 e de 32,36 % no módulo elástico, e de 21,67 e 35,80 % na tensão máxima, atribuindo menor rigidez e maior flexibilidade, indicando que o óleo atuou como plastificante na composição dos filmes. Não houve alteração estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) para a concentração de 5% (m/m).

Por fim, o teste de atividade antimicrobiana corroborou as propriedades do óleo de *Melaleuca alternifolia*, pois este atuou contra o crescimento do microorganismo *Escherichia coli* em contato com o queijo muçarela, o que faz deste óleo um promissor agente antimicrobiano na síntese de embalagens alimentícias.

## 7 PERSPECTIVAS

Utilizar blendas de PBAT com outro polímero visando melhorar suas propriedades de barreira; estudar o processamento de filmes de PBAT com OEM pelo método de extrusão; caracterizar o material também por meio das técnicas de Espectroscopia Raman, Difratometria de Raios-X e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para melhor compreensão da superfície dos filmes; controlar o pH no desenvolvimento dos filmes, além de desenvolvê-los com concentrações maiores do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, a fim de avaliar a atividade antimicrobiana frente a micro-organismos distintos.

## REFERÊNCIAS

- ADRAR, S.; HABI, A.; AJJI, A.; GROHENS, Y. Synergistic effects in epoxy functionalized graphene and modified organomontmorillonite PLA/PBAT blends. **Applied Clay Science** 157 (2018) 65–75.
- AHMED, J.; MULLA, M.; JACOB, H.; LUCIANO, G.; BINI T.B.; ALMUSALLAM, A. Polylactide/poly( $\epsilon$ -caprolactone)/zinc oxide/clove essential oil composite antimicrobial films for scrambled egg packaging. **Food Packaging and Shelf Life** 21 (2019) 100355.
- AL - ITRY, R.; LAMNAWAR, K.; MAAZOUZ, A. Improvement of thermal stability rheological and mechanical properties of PLA - PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy. **Polymer Degradation and Stability**, vol. 97, n. 10, p. 1898 – 1914, 2012.
- AL-SALEM, S.M. 9 Kinetic Studies Related to Polymer Degradation and Stability. **Environment & Life Sciences Research Centre, Kuwait Institute for Scientific Research**, Kuwait. 2019.
- AMIN MOUSAVI KHANEGHAH, SEYED MOHAMMAD BAGHER HASHEMI, SARA LIMBOC. Antimicrobial agents and packaging systems in antimicrobial active food packaging: An overview of approaches and interactions. **Food and Bioproducts Processing** 111 (2018) 1–19.
- ANDRES FELIPE CRUZ BECERRA. Caracterização de PEAD antes e após envelhecimento em diferentes meios e condições. **Dissertação apresentada à PUC-RIO - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO, PPG em eng de materiais e de processos químicos e metalúrgicos**, 2016.
- ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, v. 48, p. 51–62, fev. 2016.
- BATTISTI, R.; FRONZA, N.; VARGAS JÚNIOR, Á.; SILVEIRA, S. M. da; DAMAS, M. S. P.; QUADRI, M. G. N. Gelatin-coated paper with antimicrobial and antioxidant effect for beef packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 11, p. 115–124, 2017.
- BIAN, G.; DENG, Z.; LIU, T. Strategies for terpenoid overproduction and new terpenoid discovery. **Current Opinion in Biotechnology** 2017, 48:234–241.
- BONILLA, J.; POLONI, T.; LOURENÇO, R. V.; SOBRAL, P. J. A. Food Bioscience Antioxidant potential of eugenol and ginger essential oils with gelatin/chitosan films. **Food Bioscience**, v. 23, p. 107–114, 2018.
- BRAGA, L. R.; SILVA, F.M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of food Research**, Campo Mourão, v.8 n.4, p. 170-186, out/dez. 2017.
- BUDZYNSKA, A. et al. Antibiofilm activity of selected plant Essential oils and their major components. **Polish Journal of Microbiology**. War-saw, v. 60, n. 1, p. 35-41, 2011.
- BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods-a review. **International Journal of Food**. v. 94, p. 223–253, 2004.
- CAMILA LEITES REGINATTO, ROSANE M. D. SOARES. Membranas poliméricas

biodegradáveis com atividade antimicrobiana. **Grupo de Estudos em Biomateriais Poliméricos, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2017.

CARDOSO, L.G.; SANTOS, J.C.P.; CAMILLOTO, G.P.; MIRANDA, A.L.; DRUZIAN, K.I.; GUIMARÃES, A.G. Development of active films poly (butylene adipate co-terephthalate) – PBAT incorporated with oregano essential oil and application in fish fillet preservation. **Industrial Crops & Products** 108 (2017) 388–397.

CHENWEI, C.; ZHIPENG, T.; YARUI, M.; WEIQIANG, Q.; FUXIN, Y.; JUN, M.; JING, X. Physicochemical, microstructural, antioxidant and antimicrobial properties of active packaging films based on poly(vinyl alcohol)/clay nanocomposite incorporated with tea polyphenols. **Progress in Organic Coatings**, v. 123, p. 176–184, out. 2018.

COMIN, V.M.; LOPES, L.Q.S.; QUATRIN, P.M; DE SOUZA, M.E.; BONEZ, P.C.; PINTOS, F.G.;RAFFIN, R.P; VAUCHER, R.A.; MARTINEZ, D.S.T.; SANTOS, R.C.V. Influence of Melaleuca alternifolia oil nanoparticles on aspects of Pseudomonas aeruginosa biofilm. **Microbial Pathogenesis**. Volume 93, April 2016, Pages 120-125.

COSENTINO, S.; TUBEROSO, C.I.G.; PISANO, B.; SATTA, M.; MASCIA, V.; ARZEDI, E.; PALMAS, F. In vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oil. **Letters in Applied microbiology**, v. 29, p. 130-135, 1999.

COWAN, M.M. Plant products as antimicrobial agents. **Clin. Microbiol. Rev.**, v.12,n.4,p.564-582, 1999.

CRIZEL, T. de M.; RIOS, A. de O.; ALVES, V. D.; BANDARRA, N.; MOLDÃO-MARTINS, M.; FLÔRES, S. H. Active food packaging prepared with chitosan and olive pomace. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 139–150, 2018.

D'ARRIGO, M. et al. Synergism and postantibiotic effect of tobramycin and Melaleuca alternifolia (Tea Tree) oil against Staphylococcus aureus and Escherichia coli. **Phytomedicine**, v. 17, n. 5, p. 317-322, 2010.

DA ROCHA NETO, A.C., NAVARRO, B.B., CANTON, L., MARASCHIN, M., DI PIERO, R.M. Antifungal activity of palmarosa (Cymbopogon martinii), Tea Tree (Melaleuca alternifolia) and star anise (Illicium verum) essential oils against Penicillium expansum and their mechanisms of action, **LWT - Food Science and Technology (2019)**, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.060>.

DAMBRÓS, P.; CAPPELARI, K. P., POFFO, C.; WISBECK, E. Avaliação da biodegradação de polímeros por Pleurotus djamor. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 31, p. 21 - 29, 2014.

DANNENBERG, G. da S.; FUNCK, G. D.; CRUXEN, C. E. dos S.; MARQUES, J. de L.; SILVA, W. P. da; FIORENTINI, Â. M. Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: Potential for application as active packaging for sliced cheese. **LWT - Food Science and Technology**, v. 81, p. 314–318, 2017.

DE ANDRADE, M. F. Desenvolvimento de Embalagem Ativa Biodegradável de Poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) aditivada com óleo essencial de Laranja.

**Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência de Materiais da Universidade Federal de Pernambuco - PGMTR/UFPE, 2018.**

DE LIMA, M.S.D.; CARVALHO, D.S.; MALTA, S.H.S.; CAETANO, V.F.; VINHAS, G.M. Avaliação do efeito antimicrobiano do óleo essencial de cravo em filmes de poli (cloreto de vinila). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, 2017.

DENG, Y., YU, C., WONGWIWATTANA, P., & THOMAS, N. L. (2018). Optimising Ductility of Poly(Lactic Acid)/Poly(Butylene Adipate-co-Terephthalate) Blends Through Co-continuous Phase Morphology. **Journal of Polymers and the Environment**, 26(9), 3802–3816.

DE SÁ SILVA, C.; DE FIGUEIREDO, H. M.; STAMFORD, T.L.M.; DA SILVA, L.H.M. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by *Melaleuca alternifolia* (Tea Tree) essential oil in ground beef. **International Journal of Food Microbiology** 293 (2019) 79–86.

DE SOUZA, A.M.; POPPI, R.J. Experimento didático de quimiometria para análise exploratória de óleos vegetais comestíveis por espectroscopia no infravermelho médio e análise de componentes principais: um tutorial, arte i. **Quim. Nova**, Vol. 35, No. 1, 223-229, 2012.

DE SOUZA, M.E.; CLERICI, D.J.; VERDI, C.M.; FLECK, G.; QUATRIN, P.M.; SPAR, L.R.; BONEZ, P.C.; DOS SANTOS, C.F.; ANTONIAZZI, R.P.; ZANATTA, F.B.; GUNDEL, A.; MARTINEZ, D.S.T.; VAUCHER, R.A.; SANTOS, R.C.V. Antimicrobial activity of *Melaleuca alternifolia* nanoparticles in polymicrobial biofilm in situ. **Microbial Pathogenesis**. Volume 113, December 2017, Pages 432-437.

DEBIAGI, F.; KOBVAHI, R. K. T.; NAKAZATO, G.; PANAGIO, L. A.; MALI, S. Biodegradable active packaging based on cassava bagasse, polyvinyl alcohol and essential oils. **Industrial Crops and Products**, vol. 52, p. 664 – 670, 2014.

DO AMARAL, FERNANDA GARCIA. Desenvolvimento de filme comestível a base de fécula de açafrão (*curcuma longa* L.) e lipídios. Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Agronomia da **Universidade Federal de Goiás**, 2014. UFGO; Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

DZIADEK, M.; STODOLAK-ZYCH, E.; CHOLEWA-KOWALSKA, K. Biodegradable ceramic-polymer composites for biomedical applications: A review. **Materials Science and Engineering C** 71 (2017) 1175–1191.

FLORES, F.C; Beck, R; Silva, C.D.B. Essential Oils for Treatment for Onychomycosis: A Mini-Review. **Mycopathologia**. (1-2), 9-15, 2016.

FOURATI, Y.; TARRÉS, Q.; MUTJÉ, P.; BOUFI, S. PBAT/thermoplastic starch blends: Effect of compatibilizers on the rheological, mechanical and morphological properties. **Carbohydrate Polymers** 199 (2018) 51–57.

FRÁGUAS, R. M.; SIMÃO, A. A.; FARIA, P. V.; QUEIROZ, E. de R.; OLIVEIRA JUNIOR, Ê. N. de; ABREU, C. M. P. de. Preparo e caracterização de filmes comestíveis de quitosana. **Polímeros**, v. 25, n. spe, p. 48–53, 2015.

GIRIJA BHEEMANENIA, SAVITHA SARAVANAB, RAVICHANDRAN KANDASWAMY. Processing and Characterization of Poly (butylene adipate-coterephthalate) / Wollastonite Biocomposites for Medical Applications. **Materials Today: Proceedings** 5 (2018) 1807–1816.

GÓMEZ-ESTACA, J.; LÓPEZ-DE-DICASTILLO, C.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; CATALÁ, R.; GAVARA, R. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, v. 35, n. 1, p. 42–51, 2014.

GRANDO, THIRSSA H.; BALDISSERA, MATHEUS D.; GRESSLER, LUCAS T.; DE SÁ, MARIÂNGELA FACCO; BORTOLUZZI, BRUNA N.; SCHAFER, ANDRESSA S.; EBLING, RAFAEL C.; RAFFIN, RENATA P.; SANTOS, ROBERTO C.V.; STEFANI, LENITA M.; VAUCHER, RODRIGO; LEAL, MARTA L.R.; MONTEIRO, SILVIA G. Melaleuca alternifolia anthelmintic activity in gerbils experimentally infected by Haemonchus contortus. **Experimental Parasitology** 170 (2016) 177-183.

GRAZIANO, T.S; CALIL, C.M; SARTORATTO, A.; FRANCO, G.C.N.; GROppo, F.C.; COGO-MÜLLER, K. In vitro effects of Melaleuca alternifolia essential oil on growth and production of volatile sulphur compounds by oral bacteria. **J Appl Oral Sci.** 2016;24(6):582-9.

GUO, G.; ZHANG, C.; DU, Z.; TIAN, H.; XIANG, A.; LI, H. Structure and property of biodegradable soy protein isolate/PBAT blends. **Industrial Crops and Products** 74 (2015) 731–736.

HAMMER, K. A. Treatment of acne with Tea Tree oil (melaleuca) products: A review of efficacy, tolerability and potential modes of action. **International Journal of Antimicrobial Agents**, Amsterdam, v. 45, p. 106–110, 2015.

HAMMER, K. A.; CARSON, C. F.; RILEY, T. V. Antifungal effects of Melaleuca alternifolia (Tea Tree) oil and its components on Candida albicans, Candida glabrata and Saccharomyces cerevisiae. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 53, n. 6, p. 1081-1085, 2004.

IBRAHIM, N.; RAHIM, N.; WAN YUNUS, W.; SHARIF, J. A study of poly vinyl chloride / poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends. **J. Polym. Res.** vol. 18, n. 5, 2011.

JAVIDI, Z.; HOSSEINI, S. F.; REZAEI, M. Development of flexible bactericidal films based on poly(lactic acid) and essential oil and its effectiveness to reduce microbial growth of refrigerated rainbow trout. **LWT - Food Science and Technology**, v. 72, p. 251–260, out. 2016.

J. C. A. ALVES, I. D. L. SILVA, C. F. SILVA, T. L. ARAÚJO, V. F. CAETANO, G. M. VINHAS. Avaliação das propriedades mecânicas de filmes de poliestireno aditivados com óleo essencial de laranja. **ENBEQ** 2016.

JIANG, L.; ZHANG, J. Biodegradable and biobased polymers. In: Applied Plastics Engineering Handbook – **Processing and Materials**. Elsevier, Oxford, U.K., p. 145-158. 2011.

JU, J.; XU, X.; XIE, Y.; GUO, Y.; CHENG, Y.; QIAN, H.; YAO, W. Inhibitory effects of cinnamon and clove essential oils on mold growth on baked foods. **Food Chemistry** 240 (2018) 850–855.

KAVANAUGH, N. L.; RIBBECK, K. Selected antimicrobial essential oils eradicate Pseudomonas spp. and Staphylococcus aureus biofilms. **Applied and environmental microbiology**, v. 78, n. 11, p. 4057-4061, 2012.

KAVOOSI, G.; RAHMATOLLAHI, A.; DADFAR, S. M. M.; PURFARD, A. M.; LWT -- **Food Sci. Technol.** 2014, 57, 556.

KERROLA, K.; GALAMBOSI, B.; KALLIO, H. Volatile components and odor intensity of four phenotypes of hyssop (*Hyssopus officinales* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 776-781, 1994.

KHORSHIDIAN, N.; YOUSEFI, M.; KHANNIRI, E.; MORTAZAVIAN, A. M. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 45, p. 62-75, 2018.

KREPKER, M.; SHEMESH, R.; DANIN POLEG, Y.; KASHI, Y.; VAXMAN, A.; SEGAL, E. Active food packaging films with synergistic antimicrobial activity. **Food Control**, v. 76, p. 117–126, jun. 2017.

KUCHNIER, C.N. Estudo do efeito de aditivo extensor de cadeia multifuncional em blendas de PLA/PBAT. **Dissertação de Mestrado em Engenharia Química**, Faculdade de Engenharia Química – UNICAMP, Campinas – SP, 2014.

KULKARNI, A.; JAN, N.; NIMBARTE, S. Monitoring Of Antimicrobial Effect of GC-MS Standardized *Melaleuca alternifolia* Oil (Tea Tree Oil) On Multidrug Resistant Uropathogens. **IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences**, v. 2, n. 2, Jul.-Ago. 2012

KUMAR, M.; MOHANTY, S.; NAYAK, S.K.; PARVAIZ, M.R. Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 8406–8415, . 010.

L.B. TAVARES, N.M. ITO, M.C. SALVADORI, D.J. DOS SANTOS, D.S. ROSA. PBAT/kraft lignin blend in flexible laminated food packaging: Peeling resistance and thermal degradability. **Polymer Testing** Volume 67, May 2018, Pages 169-176.

LA MANTIA, F.P.; MORREALE, M.; BOTTA, L.; MOSTRETTA, M.C.; CERAULO, M.; SCAFFARO, R. Degradation of polymer blends: A brief review. **Polymer Degradation and Stability**, 2017.

LAYCOCK, B.; NIKOLIC, M.; COLWELL, J.M.; GAUTHIER, E.; HALLEY, P.; BOTTLE, S.; GEORGE, G. Lifetime prediction of biodegradable polymers. **Progress in Polymer Science** 71 (2017) 144–189.

LEI, J.; YU, J.; YU, H.; LIAO, Z. Composition, cytotoxicity and antimicrobial activity of essential oil from *Dictamnus dasycarpus*. **Food Chemistry** 107 (2008) 1205–1209.

LIN LIN, XUEFANG MAO, YANHUI SUN, GOVINDAN RAJIVGANDHI, HAIYING CUI. Antibacterial properties of nanofibers containing chrysanthemum essential oil and their application as beef packaging. **International Journal of Food Microbiology** 292 (2019) 21–30.

LOREDO, R.Y.A.; VELAZQUEZ, G.; GUTIERREZ, M.C.; ROSAS, J.C.; VARGAS, E.R.; ALDAPA, C.A.G. Effect of airflow presence during the manufacturing of biodegradable films from polymers with different structural conformation. **Food Packaging and Shelf Life** 17 (2018) 162–170.

LUZI, F.; PUGLIA, D.; DOMINICI, F.; FORTUNATI, E.; GIOVANALE, G.; BALESTRA, G. M.; TORRE, L. Effect of gallic acid and umbelliferone on thermal, mechanical, antioxidant and antimicrobial properties of poly (vinyl alcohol-co-ethylene) films. **Polymer Degradation and Stability**, v. 152, p. 162–176, 2018.

M. DZIADEK; E. MENASZEK; B. ZAGRAJCZUK; J. PAWLIK; K. CHOLEWA-KOWALSKA. New generation poly( $\epsilon$ -caprolactone)/gel-derived bioactive glass composites for bone tissue engineering: part I. material properties, **Mater. Sci. Eng. C** 56 (2015) 9–21.

MARCO-AURÉLIO DE PAOLI, “Degradação e Estabilização de polímeros”, **Chemkeys**, 2008, 2º revisão online revisada.

MARTELLI, S.M.; MOORE, G.; PAES, S.S.; GANDOLFO, C.; LAURINDO, J.B. Influence of plasticizers on the water sorption isotherms and water vapor permeability of chicken feather keratin films. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technology**, v.39, p.292-301, 2006.

MARTUCCI, J. F.; GENDE, L. B.; NEIRA, L. M.; RUSECKAITE, R. A. Oregano and lavender essential oils as antioxidant and antimicrobial additives of biogenic gelatin films. **Industrial Crops and Products**, v. 71, p. 205–213, set. 2015.

methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of

MIRANDA, S.H.S. **Desenvolvimento do método de extração em solução hexânica e identificação dos compostos do óleo de Melaleuca alternifolia** [monografia]. João Pessoa: UFPB, 2014.

MIRANDA, SANDRA HOLANDA DE SÁ. **Desenvolvimento do método de extração em solução hexânica e identificação dos compostos do óleo de Melaleuca alternifolia** [trabalho de conclusão de curso]. UFPB, João Pessoa - PB 2014.

MIRANTE, DAIANE CRISTINE. Desenvolvimento tecnológico e avaliação da atividade antimicrobiana de micropartículas de Polilisina e de nanocápsulas contendo óleo essencial de Melaleuca alternifolia Cheel (Myrtaceae). Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Estadual de Ponta Grossa Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, 2015. **Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO); Programa de Pós-graduação em Ciências Farmacêuticas**.

MOGOŞANU, G. D.; GRUMEZESCU, A. M.; **Int. J. Pharm.** 2014, 463, 127.

MÓNICA HERNÁNDEZ-LÓPEZ, ZORMY NACARY CORREA-PACHECO, SILVIA BAUTISTA-BAÑOS, LEONOR ZAVALTA-AVEJAR, JOSÉ JESÚS BENÍTEZ-JIMÉNEZ, MARCOS ANTONIO SABINO-GUTIÉRREZ, PEDRO ORTEGA-GUDIÑO. Bio-based composite fibers from pine essential oil and PLA/PBAT polymer blend. Morphological, physicochemical, thermal and mechanical characterization. **Materials Chemistry and Physics**. Available online 16 January 2019.

MURIEL-GALET, V.; CRAN, M. J.; BIGGER, S. W.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; GAVARA, R. Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components. **Journal of Food Engineering**, v. 149, p. 9–16, mar. 2015.

MUSETTI, A.; PADERNI, K.; FABBRI, P.; PULVIRENTI, A.; AL-MOGHAZY, M.; FAVA, P. Poly (vinyl alcohol) based Film Potentially Suitable for Antimicrobial Packaging Applications. **Journal of food Science**, v. 79, p. E577- E582, 2014.

Norma ASTM 6400-04.

O. MARTIN, L. AVEROUS. Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems, **Polymer** **42** (2001) 6209– 6219.

OLIVEIRA T.A.; OLIVEIRA R.R.; BARBOSA, R.; AZEVEDO, J.B. Effect of reprocessing cycles on the degradation of PP/PBAT-thermoplastic starch blends. **Carbohydrate Polymers** 168 (2017) 52–60.

OLIVEIRA, A.C.M.; FONTANA, A.; NEGRINI, T.C.; NOGUEIRA, M.N.M.; BEDRAN, T.B.L.; ANDRADE, C.R.; SPOLIDORIO, L.C.; SPOLIDORIO, D.M.P. Emprego do óleo de Melaleuca alternifolia Cheel (Myrtaceae) na odontologia: PADALIA, R. C.; VERMA, R. S.; CHAUHAN, A.; GOSWAMI, P.; VERMA, S. K.; DAROKAR, M. P. Chemical composition of Melaleuca linarrifolia Sm. from India: a 59 potential source of 1,8-cineole. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 63, p. 264 - 268, 2015.

PAZYAR, N; YAGHOUBI, R; BAGHERANI, N; KAZEROUNI, A. A review of applications of Tea Tree oil in dermatology. **International journal of dermatology**. 52(7), 784-790, 2013.

PENG, ZHAO; LIU, WANQIANG; WU, QINGSHENG; REN, JIE. "Preparation, Mechanical, and Thermal Properties of Biodegradable Polyesters/Poly(Lactic Acid) Blends". *Nanomaterials*. 2010 (2010): 8. Retrieved February 10, 2014.

OLIVEIRA, A. C. M. et al. Emprego do óleo de Melaleuca alternifolia Cheel (Myrtaceae) na odontologia: perspectivas quanto à utilização como antimicrobiano alternativo às doenças infecciosas de origem bucal. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, Botucatu*, n. 4, v. 13, p. 492-499, jul. 2011.

PINHEIRO, I.F.; FERREIRA, F.V.; SOUZA, D.H.S.; GOUVEIA, R.F.; LONA, L.M.F.; MORALES, A.R.; MEI, L.H.I. Mechanical, rheological and degradation properties of PBAT nanocomposites reinforced by functionalized cellulose nanocrystals. **European Polymer Journal** 97 (2017) 356–365.

PIRES, V.G.A. **Incorporação de nanoemulsões de óleos essenciais de melaleuca, copaíba e limão em filmes de alginato de sódio para utilização como curativo** [dissertação]. Ilha Solteira: UNESP, 2016.

PIRES, V.G.C.; DE MOURA, M.R. Preparação de novos filmes poliméricos contendo nanoemulsões do óleo de melaleuca, copaíba e limão para aplicação como biomaterial. **Quim. Nova**, Vol. 40, No. 1, 1-5, 2017.

PRAMBAUER, M.; WENDELER, C.; WEITZENBÖCK J.; BURGSTALLER, C. Biodegradable geotextiles – An overview of existing and potential materials. **Geotextiles and Geomembranes** 47 (2019) 48–59.

RAJA V., NATESAN R. Preparation and mechanical properties of poly(butylene adipate-co-terephthalate) polyvinyl alcohol/SiO<sub>2</sub> nanocomposite films for packaging applications. *J Polym Mater* 32:93–101 (2015).

REDDY M.M.; VIVEKANANDHAN S.; MISRA M.; BHATIA SK.; MOHANTY A.K.; Biobasedplastics and bionanocomposites: current status and future opportunities. **Prog Polym Sci** 2013; 38: 1653–89.

RHIM, J. W.; PARK, H. M.; HA, C. S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v. 38, n. 10–11, p. 1629–1652, 2013.

ROCHMAN C.M.; BROWNE M.A.; HALPERN B.S.; HENTSCHEL B.T.; HOH E.; KARAPANAGIOTI H.K; et al. Classify plastic waste as hazardous. **Nature** 2013; 494: 169–71.

RODRIGUES, B. V. M. et al. Influence of low contents of superhydrophilic MWCNT on the properties and cell viability of electrospun poly (butylene adipate-co-terephthalate) fibers. **Materials Science and Engineering**, vol. 59, p. 782 – 791, 2016.

RUBÉN DOMÍNGUEZ, FRANCISCO J. BARBA, BELÉN GÓMEZ, PREDRAG PUTNIK, DANIJELA BURSAĆ KOVAČEVIĆ, MIRIAN PATEIRO, EVA M. SANTOS, JOSE M. LORENZO. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Frin* (2018), doi:10.1016/j.foodres.2018.06.073. **Food Research International**.

RUIZ-RICO, M.; PÉREZ-ESTEVE, E.; BERNARDOS, A.; SANCENÓN, F.; MARTÍNEZ-MÁÑEZ, R.; MARCOS, M. D.; BARAT, J. Enhanced antimicrobial activity of essential oil components immobilized on silica particles. **Food Chemistry** 233 (2017) 228–236.

SALVIA-TRUJILLO, L; ROJAS-GRAÜ, A; SOLIVA-FORTUNY, R; MARTÍN-BELLOSO, O. Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. **Food Hydrocolloids**. 43, 547-556, 2015.

SAMIRA SIYAMAK; NOR AZOWA IBRAHIM; SANAZ ABDOLMOHAMMADI; WAN MD ZIN WAN YUNUS AND MOHAMAD ZAKI AB RAHMAN. Effect of Fiber Esterification on Fundamental Properties of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber/Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Biocomposites. **Int. J. Mol. Sci.** 2012, 13, 1327-1346.

SÁNCHEZ-GONZALEZ, L.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A.; CHÁFER, M. Physical and antimicrobial properties of chitosan–Tea Tree essential oil composite films. *Food Hydrocolloids*, **Journal of Food Engineering** 98 (2010) 443–452.

SÁNCHEZ-GONZALEZ, L.; VARGAS, M.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A.; CHÁFER, M. Characterization of edible films base on hydroxypropyl methylcellulose and melaleuca essential oil. **Food Hydrocolloids**, Amsterdam, v. 23, n. 8, p. 2102-2109, 2009.

SANTANA, L.M.B.; BORGES, J.C.; DE ASSIS, K.M.A. incorporaçã do óleo essencial de melaleuca alternifolia (Tea Tree) em novos sistemas de liberaçã. **II CONBRACIS (2017)**.

SERANTÓPOULOS, C.; COFCEWICZ. Embalagens ativas para produtos perecíveis. **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)**, Vol. 28-nº 3, julho-agosto-setembro. 2016.

- SIDDIQUE, S.; PARVEEN, Z.; FIRDAUS-E-BAREEN.; CHAUDHARY, M.N.; MAZHAR, S.; NAWAZ, S. The essential oil of *Melaleuca armillaris* (Sol. ex Gaertn.) Sm. leaves from Pakistan: A potential source of eugenol methyl ether. **Industrial Crops & Products** 109 (2017) 912–917.
- SILVA, I.D.L.; ALVES, J.C.A.; da SILVA, C.F.; CAETANO, V.F.; VINHAS, G.M. Avaliação da influência da incorporação do óleo essencial de canela nas propriedades mecânicas de filmes de poliestireno. **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química 2016**.
- SILVA, RAFAEL SOARES. **Termo-estabilização da blenda PLA/PBAT**. Dissertação apresentada à Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2016.
- SIMÕES, C. M. O., SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia da planta ao medicamento**. 5ª edição. Editora da UFSC, 2003.
- SIRVIÖ, J. A.; LIIMATAINEN, H.; NIINIMÄKI, J.; HORMI, O. Sustainable packaging materials based on wood cellulose. **RSC Advances**, v. 3, n. 37, p. 16590–16596, 2013.
- SOUZA, C.F.; BALDISSERA, M.D.; SANTOS, R.C.V.; RAFFIN, R.P.; BALDISSEROTTO, B. Nanotechnology improves the therapeutic efficacy of *Melaleuca alternifolia* essential oil in experimentally infected *Rhamdia quelen* with *Pseudomonas aeruginosa*. **Aquaculture** 473 (2017) 169–171.
- SOUZA, C.F.; BELDISSERA, M.D.; VAUCHER, R.A.; LOPES, L.Q.S.; VIZZOTTO, B.S.; RAFFIN, R.P.; SANTOS, R.C.V.; DA VEIGA, M.L.; DA ROCHA, M.I.U.M.; STEFANI, L.M.; BALDISSEROTTO, B. In vivo bactericidal effect of *Melaleuca alternifolia* essential oil against *Aeromonas hydrophila*: Silver catfish (*Rhamdia quelen*) as an experimental model. **Microbial Pathogenesis** 98 (2016) 82-87.
- SUNG, S. Y.; SIN, L. T.; TEE, T. T.; BEE, S. T.; RAHMAT, A. R.; RAHMAN, W. A. W. A.; TAN, A. C.; VIKHRAMAN, M. Antimicrobial agents for food packaging applications. **Trends in Food Science and Technology**, v. 33, n. 2, p. 110–123, 2013.
- TAVARES, L.B.; ITO, N.M.; SALVADORI, M.C.; DOS SANTOS, D.J.; ROSA, D.S. PBAT/kraft lignin blend in flexible laminated food packaging: Peel resistance and thermal degradability. **Polymer Testing** 67 (2018) 169–176.
- THOMSEN, N. A. et al. Effect of habituation to Tea Tree (*Melaleuca alternifolia*) oil on the subsequent susceptibility of *Staphylococcus* spp. to antimicrobials, triclosan, Tea Tree oil, terpinen-4-ol and carvacrol. **International journal of antimicrobial agents**, v. 41, n. 4, p. 343-351, 2013.
- THOMSEN, N. A.; HAMMER, K. A.; RILEY, T. V.; BELKUM, A. V.; CARSON, C.F.; Int. J. **Antimicrob. Agents** 2013, 41, 343.
- THONGSONG, W.; KULSETTHANCHALEE, C.; THREEPOP NATKUL, P. Effect of polybutylene adipate-co-terephthalate on properties of polyethylene terephthalate thin films. **Materials Today: Proceedings** 4 (2017) 6597–6604 .
- TRANCHIDA, P.Q.; SHELLIE, R.A.; PURCARO, G.; CONTE, L.S.; DUGO, P.; DUGO, G.; MONDELLO, L. Analysis of Fresh and Aged Tea Tree Essential Oils By

Using GC×GC–qMS. **Journal of Chromatographic Science**, Vol. 48, April 2010.

UCKER, C.D.L. **Óleo Essencial de Sementes e Folhas de *Syzygium cumini* e Óleo desodorizado de *Melaleuca alternifolia*: Potencial Antimicrobiano e Antioxidante**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS - Faculdade de Nutrição - Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Alimentos [dissertação]. 2016.

VACCIOLI, KLEBER. **Estudo da blenda PBAT/PLA com cargas**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

VAN DE BRAAK, S.A.A.J.; LEIJTEN, G.C.J.J. Essential Oils and Oleoresins: A survey in the Netherlands and other Major Markets in the European Union. CBI, **Centre or the Promotion of Imports from Developing Countries**, Rotterdam, 116p., 1999.

VAN HAUTE, S.; RAES, K.; DEVLIEGHERE, F.; SAMPERS, I. Combined use of cinnamon essential oil and MAP/vacuum packaging to increase the microbial and sensorial shelf life of lean pork and salmon. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, p. 51–58, jun. 2017.

VAN LONG, N. N.; JOLY, C.; DANTIGNY, P. Active packaging with antifungal activities. **International Journal of Food Microbiology**, v. 220, p. 73–90, mar. 2016.

VENKATESAN, R.; RAJESWARI, N. Preparation, Mechanical and Antimicrobial Properties of SiO<sub>2</sub>/ Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Films for Active Food Packaging. **Springer Science**, 2015.

VILELA, C.; KUREK, M.; HAYOUKA, Z.; RÖCKER, B.; YILDIRIM, S.; ANTUNES, M.D.C.; NYGAARD, J.N.; PETTERSEN, M.K.; FREIRE, C.S.R. A concise guide to active agents for active food packaging. **Trends in Food Science & Technology** 80 (2018) 212–222.

WANG, H. WEI, D., ZHENG, A., XIAO, H. Soil burial biodegradation of antimicrobial biodegradable PBAT films. **Polymer Degradation and Stability**, vol. 116, p. 14 – 22, 2015.

WENG, Y.-X.; JIN, Y.-J.; MENG, Q.-Y.; WANG, L.; ZHANG, M.; WANG, Y.-Z. Biodegradation behavior of poly(butylene adipate-coterephthalate) (PBAT), poly(lactic acid) (PLA), and their blend under soil conditions. **Polymer Testing**, vol. 32, p. 918 – 926, 2013.

WERTHEIMER, MAX. **“Pensamento Produtivo”**. Nova Iorque: Harper and Brothers, 1945.

XIANG, F.; BAI, J.; TAN, X.; CHEN, T.; YANG, W.; HE, F. Antimicrobial activities and mechanism of the essential oil from *Artemisia argyi* Levl. et Van. var. *argyi* cv. Qiai. **Industrial Crops & Products** 125 (2018) 582–587.

YUEHAN WU, QI LI, XINGZHONG ZHANG, YAN LI, BIN LI, SHILIN LIU. Cellulose-based peptidopolysaccharides as cationic antimicrobial package films. **International Journal of Biological Macromolecules**, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.01.172>.

ZEHETMEYER, G. Desenvolvimento e caracterização de embalagens ativas compostas de PBAT com incorporação de nisina. **Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Rio**

**Grande do Sul, 2016.**

## ANEXO A- Ficha técnica do ECOFLEX® F BLEND C1200



We create chemistry

### Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

página: 1/12

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
Data / revisada: 09.05.2016  
Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS\_GEN\_BR/PT)  
Data de Impressão 30.09.2016

#### 1. Identificação do produto e da empresa

##### **ecoflex® F Blend C1200**

Uso recomendado: somente para processos industriais

Empresa:

BASF S.A.  
Av. Nações Unidas, 14.171  
04794-000 Morumbi - São Paulo - SP, BRASIL  
Telefone: +55 11 2039-2273  
Número de fax: +55 11 2039-3131  
Endereço de email: [ehs-brasil@basf.com](mailto:ehs-brasil@basf.com)

Informação em caso de emergência:

Telefone: 0800-0112273 / +55 12 3128-1590

#### 2. Identificação de perigos

**Elementos do rótulo**

De acordo com os critérios do GHS (ONU)

O produto não requer rotulagem de perigo de acordo com os critérios do GHS.

Conforme a diretiva 67/548/CE ou 1999/45/CE

De acordo com os Regulamentos da UE, o produto não é classificado como perigoso.

**Classificação da substância ou mistura**

De acordo com os critérios do GHS (ONU)

O produto não requer classificação de acordo com os critérios do GHS.

**Outros perigos**

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
 Data / revisada: 09.05.2016  
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

De acordo com os critérios do GHS (ONU)

**Outros Perigos (GHS):**

Nenhum risco específico conhecido, quando respeitadas as prescrições/ indicações de armazenamento e manuseio.

**Avaliação PBT / vPvB:**

O produto não satisfaz os critérios de PBT (persistente / bioacumulável / tóxico) e vPvB (multo Persistente / multo Bioacumulativo).

### 3. Composição/informação sobre os componentes

**Mistura**

Caracterização química

Preparação baseada em: poliéster, modificado(a)s

Ingredientes perigosos (GHS)

De acordo com os critérios do GHS (ONU)

tetraidrofurano

número-CAS: 109-99-9  
 Número CE: 203-726-8  
 Número INDEX: 603-025-00-0

Flam. Líq.: Cat. 2  
 Ag. Tox.: Cat. 4 (oral)  
 Eye Dam./Irrit.: Cat. 1  
 Carc.: Cat. 2  
 STOT SE: Cat. 3 (sonolência e vertigens)  
 STOT SE: Cat. 3 (irritante para o sistema respiratório)  
 H225, H318, H302, H336, H335, H351  
 Não é considerado um ingrediente que contribui para o perigo de acordo como GHS, porém, apresenta limite de exposição ocupacional (ver capítulo 8)

estireno

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
 Data / revisada: 09.05.2016  
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)  
 Data de Impressão 30.09.2016

Número-CAS: 100-42-5

Asp. Tox.: Cat. 1  
 Flam. Líq.: Cat. 3  
 Acute Tox.: Cat. 4 (Inalação-vapor)  
 Skin Corr./Irrit.: Cat. 2  
 Eye Dam./Irrit.: Cat. 2A  
 Repr.: Cat. 2 (feto)  
 STOT SE: Cat. 3 (Irritante para o sistema respiratório)  
 STOT RE (Aparelho auditivo): Cat. 1  
 Aquatic Acute: Cat. 2  
 Aquatic Chronic: Cat. 3  
 H226, H319, H315, H332, H304, H335, H361, H372, H412, H401  
 Não é considerado um ingrediente que contribui para o perigo de acordo como GHS, porém, apresenta limite de exposição ocupacional (ver capítulo 8)

#### 4. Medidas de primeiros socorros

##### Indicações gerais:

Retirar a roupa contaminada.

##### Após Inalação:

Em caso de inalação de produtos em decomposição, levar a vítima para um local arejado e colocá-la em repouso. Procurar assistência médica. Em caso de indisposição após a inalação de pó: respirar ar fresco e procurar auxílio médico.

##### Após contato com a pele:

Áreas atingidas pelo produto fundido/ derretido, devem ser arrefecidas imediatamente com água fria. Queimaduras provocadas por material fundido têm que ser tratadas clinicamente.

##### Após contato com os olhos:

Se atingir os olhos, lavar imediatamente com muita água durante 15 minutos. Em caso de irritação consultar o médico.

##### Após Ingestão:

Enxaguar a boca e beber, posteriormente, água em abundância. Se ocorrerem dificuldades: Procurar assistência médica. Nunca induzir o vômito ou dar nada pela boca se a vítima estiver inconsciente ou com convulsões.

##### Indicações para o médico:

Sintomas: Não se conhece nenhuma reação particular do corpo humano ao produto.

Perigos: Nenhum perigo é esperado sob o uso pretendido e manejo adequado.

Tratamento: Tratamento sintomático (descontaminação, funções vitais), nenhum antídoto específico conhecido.

#### 5. Medidas de combate a incêndio

##### Meios de extinção apropriados:

água pulverizada, espuma, pó extintor, dióxido de carbono

---

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
Data / revisada: 09.05.2016  
Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

---

Meios de extinção não apropriados:  
Jato de água

Perigos específicos:  
monóxido de carbono, dióxido de carbono, tetrahydrofurano, fumos, negro de fumo, vapores nocivos para a saúde  
A formação de outros produtos de decomposição e oxidação depende das circunstâncias do incêndio. Em determinadas condições de combustão, não se exclui vestígios de outras substâncias tóxicas.

Indicações adicionais:  
O perigo depende dos produtos em combustão e das condições do incêndio. Possível formação de gases/vapores tóxicos em caso de incêndio. Eliminar os resíduos do incêndio e a água de extinção contaminada, observando a legislação local oficial.

Equipamento especial de proteção para os bombeiros:  
Usar um equipamento de respiração autónomo.

---

## 6. Medidas de controle para derramamento ou vazamento

Precauções pessoais, equipamentos de proteção e procedimentos de emergência

Precauções pessoais:  
Evitar a inalação. Manter afastadas fontes de ignição.

Precauções ao meio ambiente:  
Não são necessárias medidas especiais.

Métodos de limpeza:  
Varrer / remover com pá. Evitar formação de poeira. Assegurar ventilação adequada. Eliminar o material recolhido de acordo com as normas.

Outras informações relevantes: Risco de queda devido à presença do produto vazado/ derramado no piso, que se torna escorregadio.

---

## 7. Manuseio e armazenamento

### Manuseio

Medidas técnicas:  
Evitar que a massa fundida atinja a pele. Evitar a inalação de poeiras/névoas/vapores. Chuveiros de emergência e Lava-olhos devem ser de fácil acesso. Manusear de acordo com as normas de segurança para produtos químicos.

Prevenção de incêndio e explosão:  
Evitar a formação de poeira. O pó pode formar uma mistura explosiva com o ar. Providenciar aspiração. Durante a trituração (moagem), há que ter em conta as medidas de segurança sobre perigos de explosão por formação de poeiras.

**Precauções/ Orientações para manuseio seguro:**

Providenciar uma aspiração/ventilação adequada junto das máquinas. Durante o trabalho nos sistemas de exaustão devem ser tomadas precauções especiais de segurança, pois substâncias perigosas podem acumular-se nos resíduos do sistema de exaustão. Evitar formação de poeira/acúmulo de poeira. Manusear de acordo com as normas de segurança para produtos químicos.

**Medidas de higiene:**

Evitar a inalação de poeiras. As mãos e o rosto devem ser lavados antes dos intervalos e no final do turno. Consulte a empresa de medidas de higiene para recomendações sobre testes de exposição e equipamentos de proteção individual.

**Armazenamento**

Condições de armazenamento adequadas: Proteger contra a umidade. Evitar calor extremo. Evitar todas as fontes de ignição: calor, faíscas, chama acesa. O produto deve ser armazenado de acordo com os requisitos do Regulamento (CE) n.º 2023/2006 Evitar contaminação com outras substâncias. Evitar o armazenamento com outras substâncias, especialmente com substâncias perigosas.

**8. Controle de exposição e proteção individual****Parâmetros de controle específicos****Limites de exposição ocupacional:****100-42-5: estireno**

Valor TWA 20 ppm (ACGIH)

Valor STEL 40 ppm (ACGIH)

Valor TWA 328 mg/m<sup>3</sup> ; 78 ppm (NR15)Valor TWA 328 mg/m<sup>3</sup> ; 78 ppm (NR15)

Fonte de valor(es) limite: Brasil NR - 15, Port. 3214/78, anexo 11

Valor STEL 40 ppm (ACGIH)

Valor TWA 20 ppm (ACGIH)

Valor TWA 328 mg/m<sup>3</sup> ; 78 ppm (NR15)

Fonte de valor(es) limite: Brasil NR - 15, Port. 3214/78, anexo 11

**109-99-9: tetrahydrofurano**

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
 Data / revisada: 09.05.2016  
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de impressão 30.09.2016

Valor STEL 100 ppm (ACGIH)

Efeito sobre a pele (ACGIH)  
 A substância pode ser absorvida pela pele.

Valor TWA 50 ppm (ACGIH)

Valor TWA 460 mg/m<sup>3</sup> ; 156 ppm (NR15)  
 Fonte de valor(es) limite: Brasil NR - 15, Port. 3214/78, anexo 11

#### Equipamento de proteção individual

##### Proteção respiratória:

Proteção respiratória no caso de formação de poeira. Filtro de baixa capacidade de retenção para partículas sólidas (por exemplo: EN 143 ou 149, Tipo P1 ou FFP1).

##### Proteção das mãos:

Usar luvas de segurança para proteger do calor quando manusear massas fundidas (ex.: têxtil ou couro)

##### Proteção dos olhos:

Óculos de segurança com anteparos laterais (óculos com armação) (EN 166)

##### Proteção da pele e do corpo:

A proteção do corpo deve ser escolhida dependendo da atividade e possível exposição, por exemplo: avental, botas de proteção, roupa de proteção química (de acordo com a EN 14605 em caso de salpicos ou com a EN ISO 13982 em caso de formação de pó).

## 9. Propriedades físicas e químicas

Estado físico: sólido  
 (20 °C, 1.013 hPa)  
 Forma: granulado  
 Cor: Natural  
 Odor: odor característico leve, específico do produto  
 Limiar de odor: não determinado

Valor do pH: não aplicável

Temperaturas específicas ou faixas de temperaturas nas quais ocorrem mudanças de estado físico  
 Intervalo de ebulição:

Não se pode determinar.  
 Decomposição da  
 substância/produto

Intervalo de fusão: 100 - 120 °C (DIN 53736)

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
 Data / revisada: 09.05.2016  
 Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5

(30516354/SDS GEN BR/P  
 Data de Impressão 30.09.20

Taxa de evaporação:	não aplicável O produto é um sólido não volátil.	
Ponto de fulgor:	> 280 °C	(ASTM D1929)
Temperatura de autoignição:	> 400 °C	(ASTM D1929)
Limite de explosividade superior:	Como resultado da nossa experiência com este produto e nosso conhecimento de sua composição, não é esperado nenhum perigo se o produto for utilizado adequadamente e de acordo com o uso previsto.	
Limite de explosividade inferior:	Como resultado da nossa experiência com este produto e nosso conhecimento de sua composição, não é esperado nenhum perigo se o produto for utilizado adequadamente e de acordo com o uso previsto.	
Inflamabilidade:	não é altamente inflamável	
Autoignição:	não apresenta autoignição	
Decomposição térmica:	> 280 °C Para evitar decomposição térmica, não sobreaquecer.	
Capacidade de auto-aquecimento:	Não se trata de uma substância auto-inflamável.	
Perigo de explosão:	não explosivo	
Características comburentes:	sem propagação de fogo	
Pressão de vapor:	não aplicável	
Densidade relativa do vapor ( ar ):	não aplicável. O produto é um sólido não volátil.	
Densidade:	aprox. 0,8 - 1,4 g/cm <sup>3</sup> (20 °C, 1.013 hPa)	
Densidade relativa:	aprox. 0,8 - 1,4 (20 °C, 1.013 hPa)	
Densidade aparente:	aprox. 500 - 1.000 kg/m <sup>3</sup> (20 °C, 1.013 hPa)	(DIN 53466)
Solubilidade em água:	não solúvel (20 °C, 1.013 hPa)	
Coefficiente de partição n-octanol/água (log Pow):	não aplicável	

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
Data / revisada: 09.05.2016  
Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

Viscosidade, dinâmica: Dados não disponíveis.  
Viscosidade, cinemática: Não aplicável, pois o produto é sólido.

---

## 10. Estabilidade e reatividade

**Instabilidade:**  
O produto é estável se armazenado e manuseado como descrito/indicado.

**Condições a evitar:**  
Evitar calor extremo. Evitar todas as fontes de ignição: calor, faíscas, chama acesa.

**Materiais ou substâncias incompatíveis:**  
agentes oxidantes fortes

**Possível decomposição de produtos:**  
Em caso de carga prolongada e/ou térmica sobre o ponto de decomposição podem formar-se produtos perigosos de decomposição

---

## 11. Informações toxicológicas

### Toxicidade aguda

**Avaliação da toxicidade aguda:**  
Após uma única ingestão, praticamente não tóxico.

DL50 ratazana, masculino/feminino(oral): > 4.000 mg/kg (Regulamento OCDE 423)

### Efeitos locais

**Avaliação de efeitos irritantes:**  
Não é irritante para a pele. Não é irritante para os olhos. Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

Irritação primária da pele coelho: não irritante (OECD, Guideline 404)

Irritação ocular coelho: não irritante (OECD, Guideline 405)

### Avaliação para outros efeitos agudos

Observações: Dados não disponíveis.

### Sensibilização

**Avaliação de efeitos sensibilizantes:**  
Não se detectou sensibilidade cutânea em ensaios com animais.

Teste Buehler modificado porquinho-da-india: não sensibilizante (OECD, Guideline 406)

#### Toxicidade crônica

Avaliação da toxicidade após administração repetida:

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

#### Toxicidade genética

Avaliação de mutagenicidade:

Em bactérias, a substância não demonstrou características de mutação genética.

#### Carcinogenicidade

Avaliação de carcinogenicidade:

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

#### Toxicidade na reprodução

Avaliação de toxicidade na reprodução:

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

#### Perigo por aspiração

Avaliação da toxicidade por aspiração:

Dados não disponíveis.

#### Outras indicações referentes à toxicidade

Com base em nossa experiência e na informação disponível, não são esperados efeitos adversos para a saúde se manipulado conforme recomendado.

---

## 12. Informações ecológicas

Efeitos ambientais, comportamentos e impactos do produto:

#### Ecotoxicidade

Avaliação da toxicidade aquática:

Existe uma alta probabilidade de que o produto não seja extremamente nocivo para os organismos aquáticos.

O produto não foi ensaiado. A indicação deriva da estrutura da substância.

Toxicidade em peixes:

CL50 > 100 mg/l, *Leuciscus idus*

Indicação bibliográfica.

Invertebrados aquáticos:

CE50 (48 h) > 100 mg/l, *Daphnia magna*

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico  
 Data / revisada: 09.05.2016  
 Produto: ecoflax® F Blend C1200

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

#### Indicação bibliográfica.

Plantas aquáticas:  
 CE50 > 100 mg/l, Desmodesmus subspicatus  
 Indicação bibliográfica.

Organismos vivos no solo:  
 (14 Dias), Eisenia foetida (OECD, Guideline 207, solo artificial)  
 Não se regista nenhum efeito na concentração mais alta analisada.

Plantas terrestres:  
 Triticum aestivum (OECD, Guideline 208)  
 Não se regista nenhum efeito na concentração mais alta analisada.

#### Mobilidade

Avaliação do transporte entre compartimentos ambientais:  
 Estudo não é necessário por razões científicas

#### Persistência e degradabilidade

Avaliação da biodegradabilidade e eliminação (H2O):  
 O produto é biodegradável.

Indicações para a eliminação:  
 90 - 100 % formação de CO2 do valor teórico (124 Dias) (ISO 14855) (aeróbio, solo)

#### Bioacumulação

Potencial de bioacumulação:  
 Devido à consistência do produto, assim como à sua baixa solubilidade em água, não é provável uma biodisponibilidade.

#### Indicações adicionais

Outras indicações sobre distribuição e destino ambiental:  
 Segundo os presentes conhecimentos, não são esperados efeitos ecológicos negativos.

### 13. Considerações sobre destinação final

Métodos de tratamento e disposição  
 Produto: Verificar a possibilidade de reciclagem.  
 Observar as prescrições legais locais e nacionais.

Restos de produtos: Verificar a possibilidade de reciclagem.  
 Observar as prescrições legais locais e nacionais.

Embalagem usada:  
 Embalagens usadas devem ser esvaziadas o melhor possível e ser eliminadas como a substância/o produto.  
 Embalagens completamente vazias podem ser entregues para reciclagem.

---

## 14. Informações sobre transporte

### Transporte Terrestre

#### Rodoviário

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

#### Ferroviário

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

### Transporte Fluvial

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

### Transporte Marítimo IMDG

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

#### Sea transport IMDG

### Transporte Aéreo IATA/ICAO

Produto não perigoso segundo os critérios da regulamentação de transporte

#### Air transport IATA/ICAO

---

## 15. Informações sobre regulamentações

### Outras regulamentações

página: 12/12

---

BASF Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico

Data / revisada: 09.05.2016

Produto: **ecoflex® F Blend C1200**

Versão: 5.0

(30516354/SDS GEN BR/PT)

Data de Impressão 30.09.2016

---

Esta subsecção descreve informação regulamentar aplicável que não está mencionada em outras secções desta ficha de segurança

---

## 16. Outras informações

Adicionalmente à informação indicada na Ficha de Dados de Segurança, deve ser consultada a 'Informação Técnica' do produto

---

Linhas verticais na margem esquerda indicam alteração da versão atual.

Os dados contidos nesta publicação baseiam-se na nossa experiência e conhecimento atual, descrevendo o produto apenas considerando os requerimentos de segurança. Os dados não descrevem as propriedades do produto (especificação do produto). Não garante que certas propriedades ou a adequabilidade do produto para uma aplicação específica sejam deduzidos dos dados contidos na ficha de dados de segurança. É responsabilidade do receptor/ recebedor do produto assegurar que os direitos de propriedade, leis e regulamentações existentes sejam devidamente observados/ respeitados.