



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ALIMENTOS**



AMANDA SOARES GODOI

**CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ELABORADOS COM POLI(ÁCIDO) LÁTICO
(PLA) INCORPORADOS COM DIFERENTES ÓLEOS**

DOURADOS

2018

AMANDA SOARES GODOI

**CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ELABORADOS COM POLI(ÁCIDO) LÁTICO
(PLA) INCORPORADOS COM DIFERENTES ÓLEOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos. Faculdade de Engenharia. Universidade Federal da Grande Dourados.
Orientadora: Prof.^a Dra. Silvia Maria Martelli

DOURADOS

2018

AMANDA SOARES GODOI

**CARACTERIZAÇÃO DE FILMES ELABORADOS COM POLI(ÁCIDO) LÁTICO
(PLA) INCORPORADOS COM DIFERENTES ÓLEOS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado a Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia de Alimentos.

Aprovado em: ____ de _____ de _____.

BANCA EXAMINADORA

Me. Chaiane Regina Rech
Doutoranda Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA

Prof. Dr. Evaristo Alexandre Falcão
Universidade Federal da Grande Dourados- UFGD

Profa. Dra. Sílvia Maria Martelli
Universidade Federal da Grande Dourados- UFGD

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me abençoado, protegido e dado força em toda esta trajetória, sei que Ele colocou as pessoas certas em minha vida durante esses anos de faculdade.

A minha família, meus pais Nery e Elizabeth, que sempre me apoiaram e fizeram de tudo para eu chegar até aqui. As minhas irmãs Vanessa, Fernanda e Milena, muito obrigada pela companhia, por todos os conselhos e por me acalmarem todas as vezes que achei que não conseguiria continuar. Amo vocês infinitamente!

A todos os professores que passaram pela minha vida durante a graduação, muito obrigada por todo o conhecimento compartilhado. Em especial a Professora Silvia pela orientação.

A todos os meus amigos, principalmente a VIII turma de Engenharia de Alimentos, com certeza a melhor turma! Minha vida acadêmica foi mais divertida com a companhia de cada um de vocês. Agradeço em especial a Amanda Alice, Barbara, Gabriella e Luana, as primeiras pessoas que conheci na faculdade e que vou levar pro resto da vida. Muito obrigada Marivane e Maycon por toda amizade e paciência dentro e fora do laboratório, e por toda ajuda para construir este trabalho.

Muito obrigada Felipe, por ser desde o começo meu melhor amigo, me ajudando de toda forma possível! Obrigada por todo apoio, companhia, carinho e compreensão, sempre me fazendo rir nas horas mais difíceis. Eu amo você!

RESUMO

As embalagens convencionais obtidas a partir de derivados de petróleo possuem limitações de biodegradação em razão de sua fonte de origem não renovável. Uma das soluções encontradas é o desenvolvimento de filmes e embalagens produzidos pela substituição destes materiais por polímeros naturais. Um polímero que possui grande potencial para substituir os plásticos convencionais é o poli(ácido láctico) (PLA). Sua matéria prima formadora, o ácido láctico, é de fácil obtenção através de processos biotecnológicos a partir componentes de baixo custo como milho e cana-de-açúcar. Possui boa rigidez, resistência mecânica e é altamente versátil. A incorporação de diferentes tipos de óleos ao filme visa melhorar suas características e propriedades. Como são de origem vegetal, torna atrativa a adição de óleo a matriz polimérica por não apresentarem nenhum efeito tóxico à saúde. Os objetivos deste trabalho foram o de elaborar e caracterizar os filmes a partir do poli(ácido láctico) (PLA) incorporados com os óleos de chia (*Salvia hispanica L*), noz da Índia (*Aleurites moluccanus*), semente de abóbora (*Cucurbita spp.*) e babaçu (*Attalea spp.*). Os filmes foram obtidos pela técnica de *casting* com diferentes concentrações (0, 5%, 10% e 15%) dos óleos e concentrações fixas de PLA e clorofórmio, e caracterizados por meio das análises de propriedades mecânicas, de barreira ao vapor de água, espectrofotometria de luz UV e visível, solubilidade e difração de raios-X. A incorporação do óleo a matriz polimérica foi positiva, apresentando melhorias em alguns dos parâmetros analisados, como aumento da deformação específica e módulo de elasticidade, diminuição da permeabilidade ao vapor de água para os óleos de chia, noz da Índia e abóbora, diminuição da passagem da luz UV e visível e aumento da intensidade de picos cristalinos, contendo características interessantes para o desenvolvimento de possíveis embalagens sustentáveis para alimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Embalagens; Filmes biodegradáveis; PLA.

ABSTRACT

Conventional packagings obtained from petroleum derivatives have limitations of biodegradation because of their source of non-renewable origin. One of the solutions found is the development of films and packaging produced by the substitution of these materials by natural polymers. A polymer having great potential for replacing conventional plastics is poly (lactic acid) (PLA). Its formative raw material, lactic acid, is easily obtainable through biotechnological processes from low-cost components such as corn and sugarcane. It has good rigidity, mechanical resistance and is highly versatile. The incorporation of different types of oils into the film aims to improve its characteristics and properties. As they are of vegetal origin, it makes attractive the addition of oil to the polymer matrix because they do not present any toxic effect to the health. The objectives of this work were to elaborate and characterize films from poly (lactic acid) (PLA) incorporated with the oils of chia (*Salvia hispanica* L), India walnut (*Aleurites moluccanus*), pumpkin seed (*Cucurbita* spp.) and babassu (*Attalea* spp.). The films were obtained by the casting technique with different concentrations (0, 5%, 10% and 15%) of the oils and fixed concentrations of PLA and chloroform, characterized by mechanical properties analysis, water vapor barrier, UV and visible light spectrophotometry, solubility and X-ray diffraction. The incorporation of the oil to the polymeric matrix was positive, presenting improvements in some of the analyzed parameters, such as increase of specific deformation and modulus of elasticity, decrease of water vapor permeability for chia, Indian walnut and pumpkin oils, passage decrease visible UV light and increased intensity of crystalline peaks, containing interesting characteristics for the development of possible sustainable food packaging.

KEY WORDS: Packaging; Biodegradable films; PLA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Processo de obtenção do PLA.....	12
Figura 2. Estereoisômeros do ácido láctico.....	12
Figura 3. (a) Filme controle seco. (b) Solução filmogênica Controle, CH 5%,CH 10% e CH15% respectivamente.....	21
Figura 4. Dados de PVA dos filmes.....	23
Figura 5. Difração de raios-X.....	25
Figura 6. Tensão máxima dos filmes.....	27
Figura 7. Tensão na ruptura dos filmes.....	28
Figura 8. Deformação específica dos filmes.....	29
Figura 9. Módulo de elasticidade dos filmes.....	30
Figura 10. Espectros de transmitância.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Formulações para os filmes de PLA e óleos.	17
Tabela 2. Medida de espessura dos filmes*.....	22
Tabela 3. Dados de solubilidade em água*.....	26

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Permeabilidade ao vapor de água.....	18
Equação 2. Solubilidade em água.....	19

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo Geral	10
2.2 Objetivos Específicos	10
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Polímeros	11
3.2 Poli(Ácido Lático) (PLA)	11
3.3 Óleos	13
3.3.1 Óleo de chia (<i>Salvia hispanica</i> L)	13
3.3.2 Óleo de Noz da Índia (<i>Aleurites moluccanus</i>)	14]
3.3.3 Óleo de Semente de Abóbora (<i>Cucurbita</i> spp.)	15
3.3.4 Óleo de Babaçu (<i>Attalea</i> spp.)	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
4.1 Materiais.....	16
4.2 Métodos.....	16
4.2.1 Elaboração dos filmes	16
4.2.2 Acondicionamento e Medida de Espessura	17
4.2.3 Propriedades Mecânicas	17
4.2.4 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)	18
4.2.5 Teste de Solubilidade em Água (TS).....	19
4.2.6 Difração de Raios-X	19
4.2.7 Espectrofotometria de Luz UV e visível.....	19
4.2.8 Análise Estatística	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5.1 Espessura e Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)	21
5.2 Difração de Raios-X	24
5.3 Teste de Solubilidade em Água (TS).....	26
5.4 Propriedades Mecânicas	27
5.5 Espectrofotometria de Luz UV e visível.....	31
6 CONCLUSÃO.....	33
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

O crescente consumo de materiais poliméricos originários de fontes não renováveis está relacionado a problemas de degradação ambiental, pois, estes apresentam baixo potencial de biodegradabilidade no ambiente e promovem impactos socioambientais negativos, como a proliferação de vetores de doenças, a poluição de solos e águas, a perda da biodiversidade local/regional pela ingestão destes materiais, entre outros (ABDUL KHALIL et al., 2016; ASHBY, 2016a; 2016c; HERRERA et al., 2016; MILLER JÚNIOR, 2013; PHILIPPI JÚNIOR; PELICIONI, 2009).

Os materiais poliméricos possuem ampla empregabilidade, em diversos campos, tais como embalagens de alimentos, vestuário, comunicação, transporte, construção civil, e indústrias de lazer (ASHBY, 2016c; FARUK et al., 2012; NECHYPORCHUK; BELGACEM; BRAS, 2016). Existe uma demanda crescente por materiais produzidos a partir de recursos renováveis, que se degradam no meio ambiente, para estabelecer uma sociedade mais sustentável e resolver os problemas da gestão ambiental dos resíduos (HERRERA et al., 2016; IWATA, 2015).

Neste contexto, uma das soluções encontradas é o desenvolvimento de filmes e embalagens produzidos pela substituição destes materiais por polímeros naturais, que são degradados facilmente pela ação de micro-organismos. Um polímero que possui grande potencial para substituir os plásticos comuns é o poli(ácido láctico) (PLA). É uma matriz polimérica de baixa toxicidade, podendo ser utilizada na indústria de alimentos e em outros artigos de consumo (ALBERTON, 2014).

A fim de melhorar as propriedades dos filmes, foram incorporados diferentes tipos de óleo, como o óleo de chia (*Salvia hispanica L*), Noz da Índia (*Aleurites moluccanus*), semente de abóbora (*Cucurbita spp.*) e babaçu (*Attalea ssp.*). O uso de óleos não apresenta efeito tóxico à saúde, sendo uma boa alternativa para melhorar as características dos filmes, como as propriedades mecânicas e antimicrobianas (PEREIRA, 2006; QIN, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaborar filmes de poli(ácido) láctico (PLA) incorporados com óleos de chia (*Salvia hispanica L*), noz da Índia (*Aleurites moluccanus*), semente de abóbora (*Cucurbita spp.*) e babaçu (*Attalea ssp.*) em diferentes concentrações e avaliar suas propriedades.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar filmes a partir do poli(ácido) láctico (PLA) incorporados com diferentes concentrações dos óleos alimentícios;
- Caracterizar os filmes obtidos quanto às propriedades mecânicas (tensão máxima e tensão na ruptura, módulo de elasticidade e deformação específica), de barreira ao Vapor de Água (PVA), espectrofotometria de luz Ultra Violeta e visível (UV-vis), solubilidade em água e difração de raios-X.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Polímeros

Os plásticos são materiais que têm como seu componente principal macromoléculas denominadas polímeros, essas macromoléculas são formadas por moléculas menores, os monômeros. Atualmente, esses materiais poliméricos são essenciais para a vida dos seres humanos, pois são usados para confeccionar embalagens, revestimentos e recipientes plásticos, utilizados em meios de transporte, comunicação e entre outros (DE PAOLI, 2008).

Os polímeros podem ser classificados em dois tipos, os sintéticos e naturais. Os sintéticos são polímeros fabricados pelo homem, a partir de moléculas simples. Dentre eles estão o nylon, polietileno, polipropileno, policarbonato, poli(cloreto de vinila) (PVC) entre outros. Já os naturais, os biopolímeros, podem ser extraídos de carboidratos (celulose, amido, glicogênio) e de proteínas (colágeno e queratina), produzidos a partir de micro-organismos (PHA e goma xantana) ou obtidos com a participação de biointermediários, produzidos com matérias-primas renováveis, como o poli(ácido lático) (PLA) (LUCAS et al., 2001).

Atualmente, têm-se grande preocupação com o volume desses polímeros sintéticos que são descartados de forma inapropriada, causando problemas sanitários e ambientais. Uma forma de amenizar esta situação é a substituição desses polímeros convencionais oriundos do petróleo por materiais de fontes renováveis, que são degradados naturalmente pela ação de bactérias, fungos e algas (PACHEKOSKI, 2014).

3.2 Poli(Ácido Lático) (PLA)

Quando comparados com os polímeros sintéticos, os polímeros naturais possuem vantagens, como a biodegradabilidade, bem como, podem ser comestíveis e transportar compostos antimicrobianos e antioxidantes aos alimentos embalados (UGALDE, 2014).

Dentre eles, o poli(ácido láctico) (PLA) é de grande potencial na área de embalagens (DE LEMOS E MARTINS DE MARTINS, 2014; GAO, et al. 2017, BRITO, et al. 2011).

Este material é obtido a partir da síntese química de matérias renováveis como o milho ou cana-de-açúcar que são fermentadas para produção do ácido láctico (Figura 1). Os estereoisômeros do PLA podem ser observados na Figura 2.

Figura 1. Processo de obtenção do PLA.

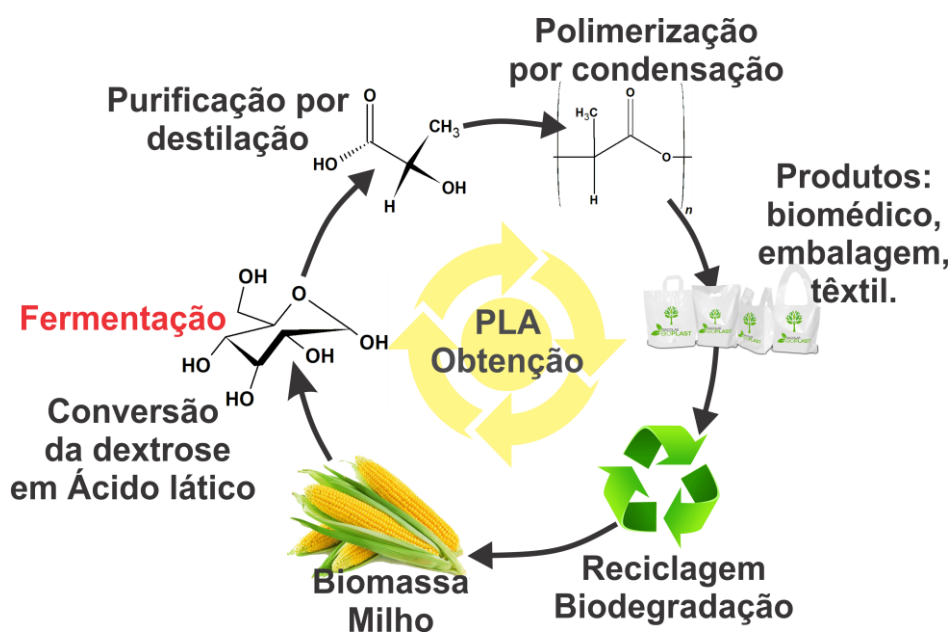
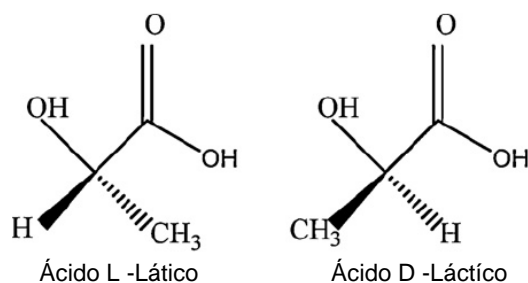


Figura 2. Estereoisômeros do ácido láctico.



Possui boa rigidez, resistência mecânica e é altamente versátil. Por apresentar baixa toxicidade, o PLA tem se tornado um material adequado para uso em alimentos e também, em outros produtos ou artigos de consumo. Segundo estudos feitos comparando as propriedades do PLA com os polímeros sintéticos, o

PLA se destaca com um menor coeficiente de permeabilidade ao CO₂, O₂, N₂ e H₂O que o poliestireno, porém, superior ao PET (AURAS; HARTE; SELKE, 2004b; AURAS; SINGH; SINGH, 2005; LEHERMEIER; DORGAN; WAY, 2001). Os módulos de tensão e flexão do PLA são superiores ao do polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno (PP) e poliestireno (PS), no entanto, quando se compara resistência ao impacto Izod, a elongação na ruptura e propriedades térmicas dos mesmos materiais, os valores do PLA são inferiores (AURAS; HARTE; SELKE, 2006).

As aplicações do PLA variam, desde filmes, bandejas termoformadas para armazenamento de alimentos, sacos de lixo biodegradáveis e até a produção de cápsulas para a liberação de fertilizantes e pesticidas no solo (BELLOLI, 2010).

3.3 Óleos

A fim de melhorar as características e propriedades dos filmes, estudos são feitos incorporando diferentes compostos aos polímeros, um deles, é a adição de óleo (AHMED, MULLA e ARFAT, 2017; QIN *et al.* 2017; JAVIDI, HOSSEINI, e REZAEI, 2016). Óleos são de origem vegetal, classificados como GRAS (*Generally Regarded as Safe*) tornando atrativa sua adição a matriz polimérica por não apresentarem nenhum efeito tóxico à saúde mesmo em concentrações elevadas (PEREIRA, 2006).

De acordo com Santos et al. (2011), as propriedades de alguns óleos extraídos de plantas aromáticas e medicinais têm sido aplicadas como agentes antimicrobianos naturais, com o propósito de conservação de alimentos, sendo mais seguros em relação aos aditivos químicos.

3.3.1 Óleo de chia (*Salvia hispanica L*)

A chia (*Salvia hispanica L*) é uma planta herbácea que produz somente uma vez ao ano, da família *Lamiaceae* que cresce pelo oeste do México até o norte da Guatemala, sua semente pode ser consumida na forma de farinha, sementes inteiras ou mucilagem. O óleo liberado pela semente é rico em proteínas,

antioxidantes naturais e minerais, oferecendo um grande potencial em virtude de seus componentes funcionais (RISS, 2015).

Seu teor de óleo está em torno de 25 a 38%, seus constituintes principais e em maiores quantidades são os ácidos poliinsaturados alfa-linolênico e linoléico, sendo que a quantidade de alfa-linolênico encontrada nesta semente é a maior presente em qualquer fonte vegetal (UTPOTT, 2012).

Segundo Utpott (2012), a utilização deste óleo não é tão comum comercialmente, porém, suas características são apropriadas para produção industrial e podem acarretar no aumento do valor nutricional do produto.

Com a presença de constituintes ativos neste óleo, torna-se uma alternativa interessante para a incorporação em embalagens, e aplicações diversificadas na indústria de alimentos.

3.3.2 Óleo de Noz da Índia (*Aleurites moluccanus*)

A Noz da Índia, *Aleurites moluccana* pertence à família *Euphorbiaceae*, é uma planta nativa da Malásia, Indonésia, Filipinas, Ilhas do Pacífico Sul e Havaí. Sua distribuição vai desde o clima subtropical muito seco, até tropical com alto índice de umidade. É conhecida popularmente como "Noz Indiana", "árvore Noz vela", entre outros (GOMES E SIMIONATTO, 2016).

A planta Noz da Índia destaca-se pelo seu uso medicinal em diversos tratamentos, como: anti inflamatória, dor de cabeça, asma, conjutivite, antitumoral, bem como desintoxicante alimentar. O óleo de sua semente sofre modificações e é usado como substituto do diesel e seus resíduos são convertidos em álcool ou pirólise (CASTILHO, 2016).

Sua semente é rica em óleos utilizados na fabricação de verniz, sabão e vela, e também a presença de tanino usado em curtumes. Utilizada em grande escala para tratamentos de queimaduras devido a sua propriedade emoliente, assim como, os benefícios perante a sua composição química altamente poliinsaturada (GOMES E SIMIONATTO, 2016).

O potencial fenólico do óleo de noz da Índia faz com que este possa apresentar atividade relevante na aplicação em filmes biodegradáveis devido ao possível transporte desses compostos para o alimento, com potencialidades que podem ser exploradas. Além de todas as propriedades do óleo, estudar se a

combinação deste na interação com PLA pode promover alterações em propriedades interessantes para aplicações em embalagens.

3.3.3 Óleo de Semente de Abóbora (*Cucurbita* spp.)

As sementes de abóbora são ricas em proteína (34,5 a 44,4%), possuem de 41,8% a 54,9% de lipídeos e apresentam elevado teor de ácidos graxos insaturados (78% dos lipídeos), destacando-se o ácido linoléico (35,6 a 60,8%) e oléico (29%). O óleo da semente de abóbora possui propriedades antioxidantes, e é rico em vitamina E, sendo muito utilizado em países europeus para temperar saladas, devido a seu sabor e aroma característico (PORTE, et al. 2011).

Embora haja o consumo desta semente em países subdesenvolvidos, seu potencial é pouco explorado, uma boa opção é a extração do óleo, com ótimas propriedades nutricionais para incorporação em diferentes produtos industriais, bem como, aplicações em novas tecnologias na elaboração de filmes e novos materiais para embalagens.

3.3.4 Óleo de Babaçu (*Attalea* spp.)

O babaçu é um tipo de palmeira da família *Arecaceae*, presente em vários países da América Latina. No Brasil, seu uso é bastante comum na Amazônia, na Mata Atlântica, no Cerrado e na Caatinga (QUEIROGA et al., 2015).

Em média, para cada 100 kg de coco obtém-se 5,4 a 6,0 kg de óleo e 4,5 kg de torta (CARVALHO et al., 1952; FONSECA, 1992). A amêndoa do babaçu é composta por mais de 60% de óleo rico em ácido láurico, utilizado na indústria de cosmético, de alimentos, produtos de higiene ou até mesmo como combustível (FERREIRA, 2011).

As gorduras láuricas, contidas no óleo de babaçu, são muito importantes na indústria, pois são resistentes à oxidação não enzimática e ao contrário de outras gorduras saturadas, elas têm temperatura de fusão baixa e bem definida (COSTA MACHADO, PAES CHAVES e ANTONIASSI, 2006). O óleo de babaçu possui um agradável odor, pode ser resistente a rancificação, em virtude de sua composição de poucos ácidos graxos insaturados, em virtude de sua composição, podem ser exploradas aplicações tecnológicas diversificadas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

O poli(L-ácido láctico) (PLA ou PLLA) foi fornecido pela Nature Works LLC (Minnetonka, MN, EUA) com referência comercial Ingeo™ biopolymer 2003D. O PLLA 2003D apresenta massa molar média de aproximadamente 100.000g mol^{-1} , índice de dispersão 2.0, resíduo de lactídeo <0,3% e composição química (isômeros) >95% de L-Ácido láctico <5% de D-Ácido láctico. O PLA 2003D é um polímero derivado de recursos renováveis e projetado especificamente para aplicações nos processos de extrusão e termoformagem. Neste estudo, o PLA foi utilizado como matriz polimérica. O solvente utilizado foi o clorofórmio estabilizado com amileno da marca Vetec.

Os óleos de chia e noz da Índia foram fornecidos pelo professor Euclésio Simonatto da Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul. O óleo de babaçu foi cedido pela empresa Florestas Brasileiras S.A. (Itapecuru Mirim - MA) e o óleo de abóbora adquirido no comércio local.

4.2 Métodos

4.2.1 Elaboração dos filmes

Os filmes foram obtidos pela técnica de *casting*, com quantidades fixas de PLA e de clorofórmio estabilizado com amileno, e diferentes concentrações (0%, 5%, 10% e 15% m/m) de óleo de chia (CH), noz da Índia (NI), abóbora (ABO) e babaçu (BAB). A solução filmogênica foi preparada com 3,75% (m/v) de PLA. A solução foi colocada sob agitação e aquecimento a 40°C durante 40min. As formulações elaboradas podem ser observadas na Tabela 1

As soluções filmogênicas foram colocadas, uniformemente sobre placas de petri de 140 mm de vidro, cerca de 40mL por placa e secas à temperatura ambiente por aproximadamente 24 horas.

Tabela 1. Formulações para os filmes de PLA e óleos.

Amostra:	CHCl₃ (mL)	PLA(g)	Chia*(g)
Controle	40	1,5	0
CH 5%	40	1,5	0,075
CH 10%	40	1,5	0,150
CH 15%	40	1,5	0,225
Amostra:	CHCl₃ (mL)	PLA(g)	Noz da Índia*(g)
NI 5%	40	1,5	0,075
NI 10%	40	1,5	0,150
NI 15%	40	1,5	0,225
Amostra:	CHCl₃ (mL)	PLA(g)	Abóbora*(g)
ABO 5%	40	1,5	0,075
ABO 10%	40	1,5	0,150
ABO 15%	40	1,5	0,225
Amostra:	CHCl₃ (mL)	PLA(g)	Babaçu*(g)
BAB 5%	40	1,5	0,075
BAB 10%	40	1,5	0,150
BAB 15%	40	1,5	0,225

* Percentuais calculados em relação à massa de PLA.

4.2.2 Acondicionamento e Medida de Espessura

Todos os filmes foram acondicionados em um dessecador com nitrato de magnésio (Mg(NO₃)₂) controlando a umidade relativa (UR) de 58% em temperatura ambiente por no mínimo 48 h. A espessura de cada amostra foi medida utilizando um micrometro digital (Mitutoyo Co., Japão).

As medidas de espessura foram feitas em cinco pontos diferentes de cada amostra e estes valores foram utilizados para o cálculo da média e do desvio padrão, usados nos cálculos das demais análises.

4.2.3 Propriedades Mecânicas

Os testes mecânicos de resistência à tração dos filmes foram realizados na Universidade Federal de Santa Catarina, no Departamento de Química, conforme a norma ASTM D882 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2009), utilizando-se equipamento universal de ensaios da marca Emic (modelo DL2000) e célula de carga TRD-21 com capacidade de carregamento igual a 50 kg (490,5 N).

Os corpos de prova foram obtidos a partir dos filmes, apresentando espessura uniforme de 0,09-0,120 mm, 130 mm (comprimento), 10 mm (largura) e condicionados antes da realização dos ensaios a 22±1°C, 58±3% UR, durante 48 h.

Posteriormente, os corpos de prova foram posicionados na máquina universal de ensaios com espaçamento de 50 mm entre as garras mecânicas.

Os testes de resistência à tração foram realizados com velocidade constante de 10 mm min.⁻¹, a 22±1°C e 58±3% UR. Para cada tratamento (formulação) foram realizadas 15 replicações. Os dados foram coletados da máquina universal de ensaios por meio do software Tesc® versão 1.13. O ensaio mecânico de resistência à tração foi utilizado para analisar as modificações nos filmes de PLA, por meio das medidas das propriedades tensão máxima, tensão na ruptura, deformação específica e módulo de elasticidade (módulo de Young).

4.2.4 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada gravimetricamente, segundo método, ASTM E-96 (1995). As amostras foram colocadas em células de acrílico contendo em seu interior cloreto de cálcio anidro (CaCl₂). O cloreto de cálcio anidro foi previamente seco em estufa a 140°C por 24h e cerca de 5 g de CaCl₂ anidro foi utilizada em cada célula. As células foram acondicionadas em uma cuba hermética contendo em seu interior solução supersaturada de cloreto de sódio (NaCl). Desta forma determinou-se o ganho de peso (umidade) de cada célula com o tempo ocasionado pelo gradiente de UR de 2-75%.

As células foram pesadas a cada 60min em uma balança analítica por 10h e a relação linear entre a quantidade de água transferida por unidade de área e tempo foi obtida. O valor de PVA foi obtido através do cálculo da Equação 1.

$$PVA = \frac{m/t \cdot e}{A \cdot p_s \cdot \left(\frac{UR_1 - UR_2}{100}\right)} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

e é a espessura média de cada filme (m);

A é a área de permeação (0,0019 m²);

*UR*₁ é a umidade relativa no interior da cuba (75%);

*UR*₂ é a umidade relativa no interior das células (2%);

*p*_s é a pressão de saturação do vapor a temperatura do ensaio (kPa);

E o termo m/t (g água/dia) foi calculado a partir da regressão linear obtida pelo ganho de massa em função do tempo.

4.2.5 Teste de Solubilidade em Água (TS)

A solubilidade total em água das amostras foi determinada como descrito por Lee et al. (2004). A solubilidade em água (g amostra/g totais) foi definida como a quantidade de sólidos solúveis em relação à quantidade inicial de sólidos secos (Equação 2), depois de 24h imersas em água. Amostras de filmes com 2cm de diâmetro foram pesadas e secas em estufa com circulação de ar por 24h a 105°C. Passado este tempo, as amostras foram imersas em 50 ml de água destilada em erlenmeyers de 125 ml e colocadas em shaker sob agitação suave de 100 rpm durante 24h. Posteriormente, as amostras foram removidas e secas novamente a 105°C por 24h. O conteúdo de sólidos foi então determinado. Cada determinação foi realizada em triplicata.

$$Sol = \frac{\text{massa sólidos inicial}}{\text{massa sólidos solubilizados}} \quad (\text{Equação 2})$$

4.2.6 Difração de Raios-X

Os ensaios de difração foram realizados no Laboratório de Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul de Campo Grande (MS). Realizou-se as análises em um difratômetro, com radiação $K\alpha$ de cobre, voltagem de 40 kV, corrente de 40 mA, varredura 0,05 (2 θ /5 s) para valores de 2 θ entre 5 e 50°.

4.2.7 Espectrofotometria de Luz UV e visível

Os filmes foram avaliados com relação à transmissão de luz total, ou transmitância (%T) – definida como a porcentagem total de luz incidente que é transmitida através do material conforme a norma ASTM D1003-07 (2007).

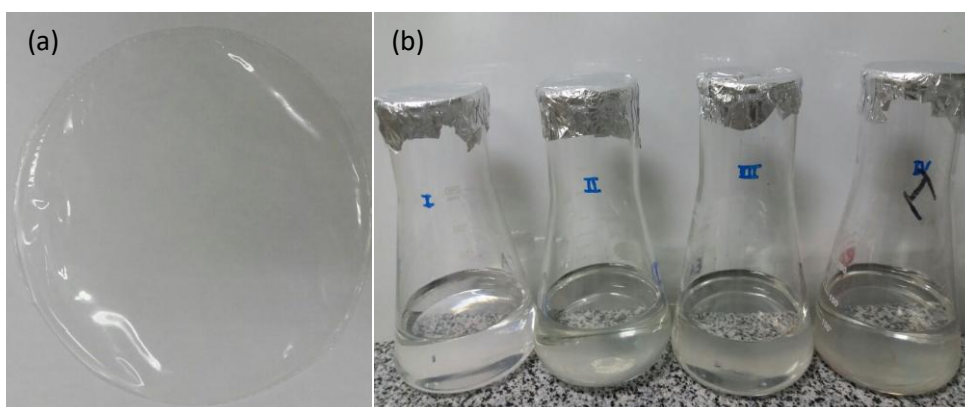
4.2.8 Análise Estatística

O programa Statistica® versão 7.0 (Statsoft, Tulsa, EUA) foi utilizado para calcular as análises de variância (ANOVA). O teste de Tukey foi usado para determinar diferenças entre as propriedades dos filmes no intervalo de 95% de confiança.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filmes (Figura 3a) apresentaram aspecto uniforme, transparente e brilhante. Outra característica é a homogeneidade, bem como, apresentaram flexibilidade e maleabilidade, podendo-se dizer então, que foi possível obter filmes com ótimo aspecto visual e de características desejáveis. Através da Figura 3b, pode-se observar que a adição dos óleos não interferiu visualmente na coloração da solução filmogênica.

Figura 3. (a) Filme controle seco. (b) Solução filmogênica Controle, CH 5%, CH 10% e CH 15% respectivamente.



5.1 Espessura e Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

A espessura é uma medida que influencia diretamente as propriedades do filme. O controle da espessura é importante para avaliar a uniformidade do material, através dela, é possível obter informações sobre a resistência mecânica e as propriedades de barreira aos gases e ao vapor de água do material (OLIVEIRA *et al.*, 1996).

Determinar a propriedade de permeabilidade ao vapor de água de embalagens para alimentos é de extrema importância, pois a água acarreta reações de deterioração e crescimento microbiano no produto (JAMSHIDIAN *et al.*, 2012).

A Tabela 2 apresenta as medidas de espessura dos filmes e a Figura 4 os valores de PVA.

Tabela 2. Medida de espessura dos filmes*.

Amostras:	Espessura (mm)
Controle	0,091 ^b ± 0,007
CH 5%	0,101 ^{a,c} ± 0,008
CH 10%	0,098 ^{b,c} ± 0,005
CH 15%	0,109 ^a ± 0,010
Controle	0,091 ^b ± 0,007
NI 5%	0,093 ^{b,c} ± 0,006
NI 10%	0,099 ^{a,c} ± 0,007
NI 15%	0,107 ^a ± 0,008
Controle	0,091 ^b ± 0,007
ABO 5%	0,091 ^b ± 0,004
ABO 10%	0,097 ^b ± 0,008
ABO 15%	0,119 ^a ± 0,013
Controle	0,091 ^b ± 0,007
BAB 5%	0,106 ^a ± 0,003
BAB 10%	0,104 ^a ± 0,005
BAB 15%	0,108 ^a ± 0,006

Amostras foram comparadas por grupos de óleos, em relação ao controle.

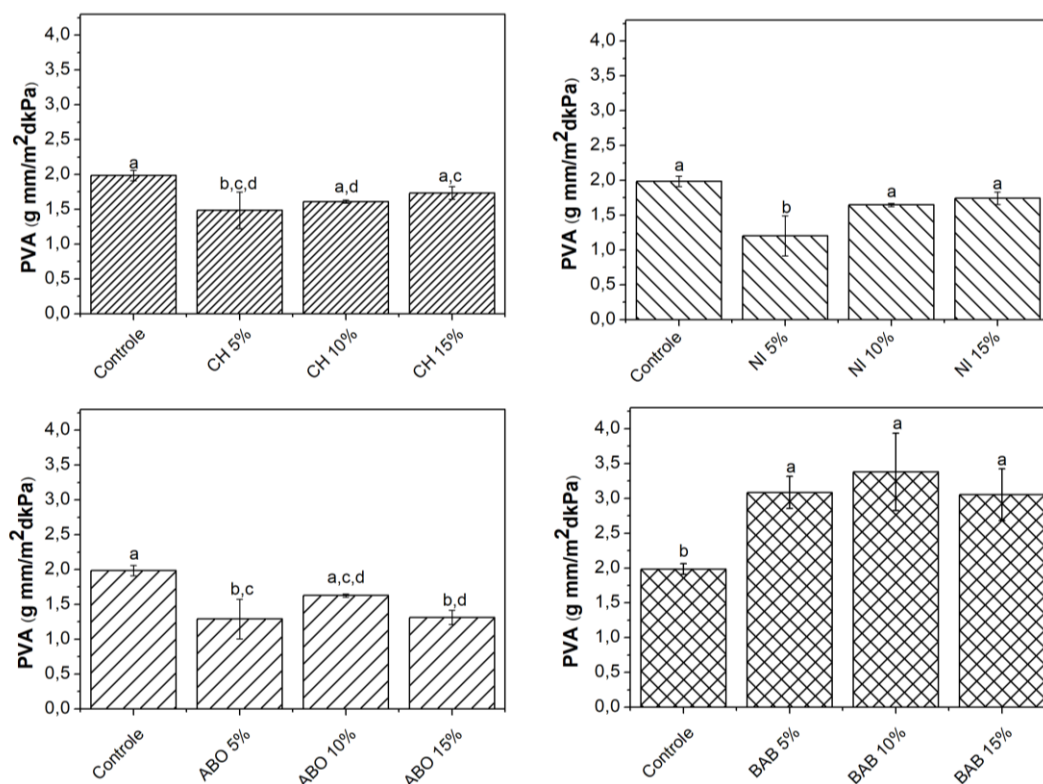
*Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p < 0,05$).

Os valores de espessura variaram de 0,091 mm até 0,119 mm. Observou-se que filmes com maior espessura são os que contem 15% de óleo, a maior concentração do experimento, com diferença significativa ($p > 0,05$) em relação ao controle.

Uma ampla faixa de valores para espessura de filmes biodegradáveis é relatada na literatura. Valores semelhantes aos obtidos neste estudo foram encontrados por Alberton (2014) em seus filmes de PLA com fibra de celulose (*Eucalyptus* spp.), talco, nanopartícula de dióxido de titânio e nanotubo de caulim (haloisita), apresentando espessura uniforme de 0,13 a 0,20 mm. Ahmed *et al.*(2017), obteve em seus filmes de PLA/PEG e PLA/PEG com adição de óleo de canela resultados de espessura de 0,048mm e 0,049 mm respectivamente, valores inferiores ao encontrado no presente trabalho.

A espessura é um parâmetro que varia conforme a necessidade da aplicação do material, bem como, o processo de produção (conformação do filme), metodologia empregada, volume e área da superfície na qual a solução filmogênica foi depositada (GARCIA *et al.*2009).

Figura 4. Dados de PVA dos filmes.



Analisando a Figura 4, nota-se que a adição do óleo ao filme trouxe mudanças na permeabilidade do material. O valor de PVA mais elevado foi com o óleo de babaçu 10% (3,085 g mm/m²dkPa) e o mais baixo com o óleo de noz da Índia 5% (1,203 g mm/m²dkPa), sendo que, a incorporação do óleo de babaçu em todas as concentrações (5, 10 e 15%) elevou, consideravelmente a permeabilidade ao vapor de água do filme.

Durante o processo de permeação, a difusão, depende do tamanho, forma e polaridade da molécula penetrante do permeante e da cristalinidade, bem como, do grau de reticulação e movimento segmentar da cadeia polimérica da matriz (SIRACUSA, 2012). Ainda, as regiões cristalinas dos polímeros semicristalinos são consideradas impermeáveis às moléculas de vapor (GORRASI et al., 2014).

Os valores obtidos para o PVA das amostras de babaçu podem ser justificados pela interação química da molécula de óleo, que possui cadeias carbônica médias, saturadas, e ricas em ácidos mirístico, palmíticos e oléicos, com o PLA. O óleo de babaçu tem potencial para aplicações na indústria cosmética, capaz de formar emulsões aquosas estáveis (LIMA et al., 2008), no contexto deste estudo pode ter ocorrido interação que elevou a passagem de água pelo material. Bem

como, a presença do óleo pode ter reduzido a quantidade dos sítos cristalinos, aumentando a permeabilidade.

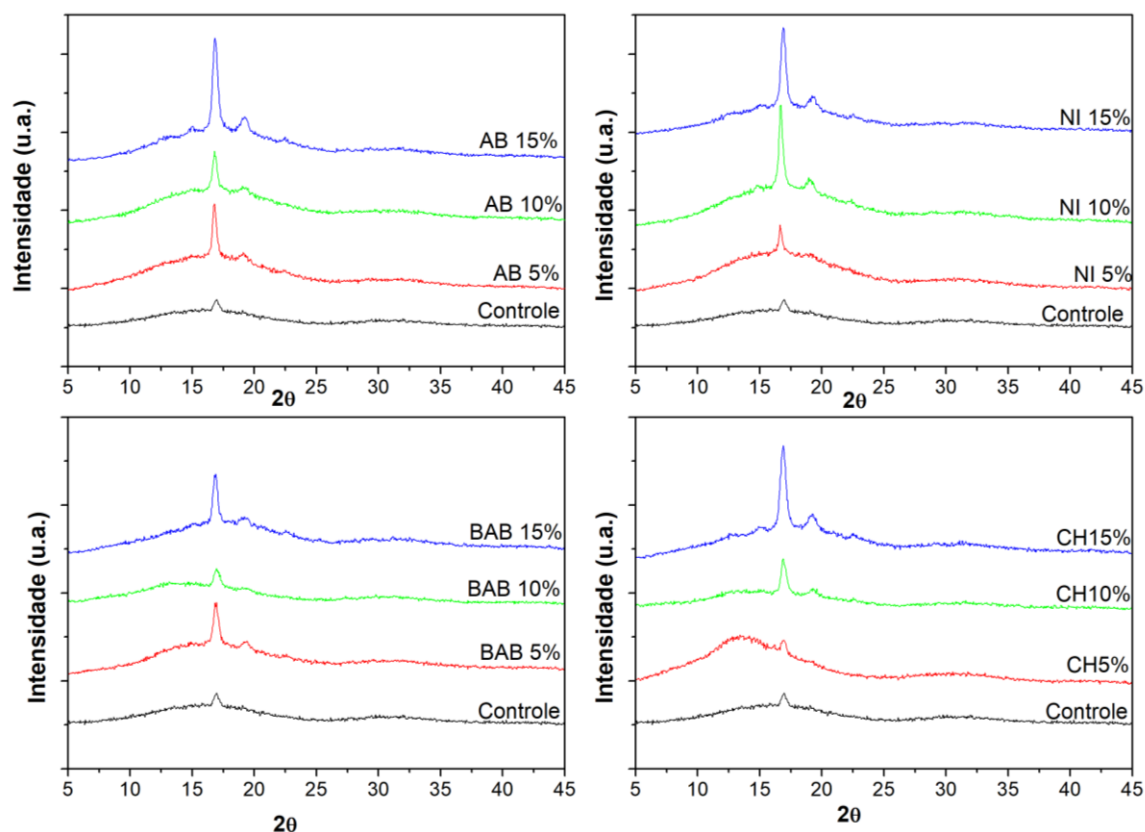
De acordo com a literatura, as modificações e/ou diferenças de cristalinidade afetam a taxa de transmissão de vapor de água dos filmes de PLA (TSUJI, TAKAI E SAHA, 2006). Qin (2016) encontrou em seu estudo sobre filmes de PLA com a incorporação de óleos essenciais comportamento semelhante ao do presente trabalho, os valores de PVA dos filmes contendo óleo foram maiores em relação ao controle ($p < 0,05$). Ainda, as diferenças observadas nos valores de PVA podem ser devido à composição distinta dos óleos essenciais.

O aumento do espaçamento entre as cadeias, devido à inclusão adicional de moléculas entre as cadeias de polímeros podem promover aumento na permeabilidade ao vapor de água através do filme e, portanto, acelerar a transmissão do vapor de água (FAKHOURI, 2012). Neste estudo, o aumento foi observado nos filmes com óleo de babaçu, e o efeito contrário foi observado nos filmes com os demais óleos. Com a adição dos óleos de abóbora (5% e 10%), chia (5% e 10%) e noz da Índia (5% e 10%) provocou maior dificuldade para passagem do vapor de água entre a matriz polimérica e ocorreu à diminuição da PVA.

5.2 Difração de Raios-X

A morfologia cristalina dos filmes foi avaliada por meio de difração de raios-X (DRX). A Figura 5 apresenta as curvas de DRX dos filmes de PLA, com a adição dos diferentes óleos. Conforme o gráfico é possível observar, para a amostra controle, a ausência de picos intensos de cristalinidade, indicando que o filme tem um caráter amorfo.

Figura 5. Difração de raios-X.



Nos difratogramas de raios-X, ainda é possível observar que as amostras com adição de óleo apresentaram a formação de um pico em $16,80^\circ 2\theta$, que se intensifica conforme o aumento da concentração de óleo. Este comportamento é observado para as amostras com óleo de chia, noz da Índia e abóbora. O óleo de babaçu apresentou picos de menores intensidades em $16,80^\circ 2\theta$.

Visto que, o DRX está relacionado com a cristalinidade das amostras, a que apresentou menor intensidade de picos cristalinos foi o filme de PLA contendo óleo de babaçu, este comportamento pode ser relacionado com a permeabilidade de vapor de água, na qual os resultados foram os mais elevados (em média $3,173 \text{ g mm/m}^2\text{dkPa}$). Assim, modificações e/ou diferenças de cristalinidade afetam a taxa de transmissão de vapor de água dos filmes de PLA (TSUJI, TAKAI E SAHA, 2006).

Constata-se que a adição do óleo pode atuar como plastificante na reorganização das moléculas e conformação estrutural do filmes elaborados (INÁCIO, DIAS E LIMA, 2015).

5.3 Teste de Solubilidade em Água (TS)

A quantidade de água encontrada nos filmes e a solubilidade são parâmetros que indicam a afinidade do revestimento com a mesma (BOURBON et al., 2011; FAKHOURI, 2009).

O uso de filmes como camadas protetoras em alimentos, especialmente em produtos de alta atividade de água, exige que esses materiais sejam resistentes à água. Embalagens com baixos valores de solubilidade podem prolongar a vida de prateleira dos produtos (FAKHOURI, 2009).

A solubilidade em água dos filmes de PLA com os diversos óleos alimentícios pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3. Dados de solubilidade em água*.

Amostras:	Solubilidade (%)
Controle	1,539 ^a ± 0,334
CH 5%	2,075 ^a ± 0,660
CH 10%	1,591 ^a ± 1,456
CH 15%	0,715 ^a ± 0,290
Controle	1,539 ^{a,c} ± 0,334
NI 5%	2,234 ^a ± 0,734
NI 10%	0,787 ^{b,c} ± 0,561
NI 15%	0,733 ^{b,c} ± 0,280
Controle	1,539 ^a ± 0,334
ABO 5%	2,075 ^a ± 0,785
ABO 10%	1,591 ^a ± 1,001
ABO 15%	0,715 ^a ± 1,084
Controle	1,539 ^a ± 0,334
BAB 5%	1,856 ^a ± 0,510
BAB 10%	2,126 ^a ± 0,572
BAB 15%	3,409 ^a ± 0,472

*Letras iguais na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa ($p < 0,05$).

A solubilidade dos filmes variou de 3,4%(BAB 15%) a 0,71% (CH 15% e ABO 15%) para as formulações. O controle obteve com base na metodologia aplicada 1,54% de solubilidade. Esta característica é desejável para os filmes deste estudo, demonstrando que pode ser conformado em uma embalagem primária para o armazenamento de alimentos.

5.4 Propriedades Mecânicas

O comportamento mecânico dos materiais pode ser caracterizado pela resposta que estes apresentam quando submetidos à capacidade de carregamento. As respostas dos polímeros às solicitações mecânicas são acentuadamente dependentes de fatores estruturais, como a composição intrínseca e de variáveis externas (WASILKOSKI et al. 2006).

A avaliação das propriedades mecânicas é importante, uma vez que, filmes destinados a embalagens de alimentos requerem flexibilidade para evitar quebras durante o processo de embalagem, ainda, um valor mínimo de dureza é desejável para evitar perfurações durante o transporte e exposição do produto embalado (ARMENTANO et al., 2015; QIN et al.2017).

O valor médio da tensão máxima, tensão na ruptura, deformação específica e módulo de elasticidade dos filmes estão apresentados, respectivamente nas Figuras 6, 7, 8 e 9.

Figura 6. Tensão máxima dos filmes.

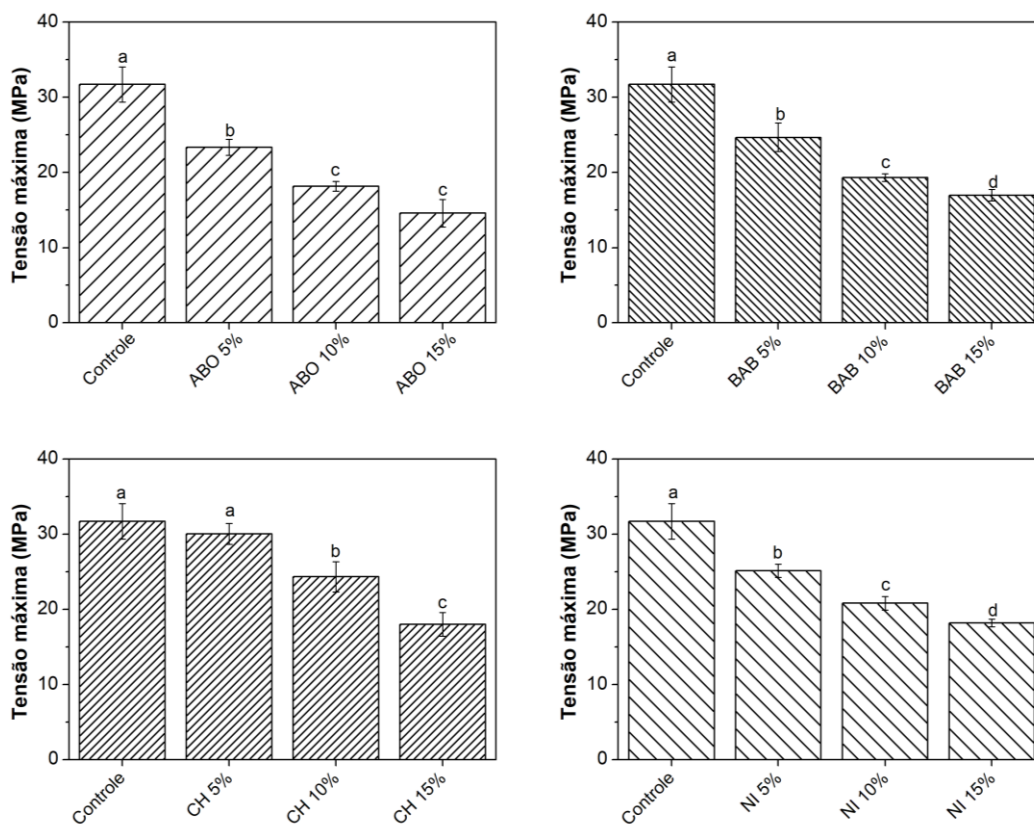
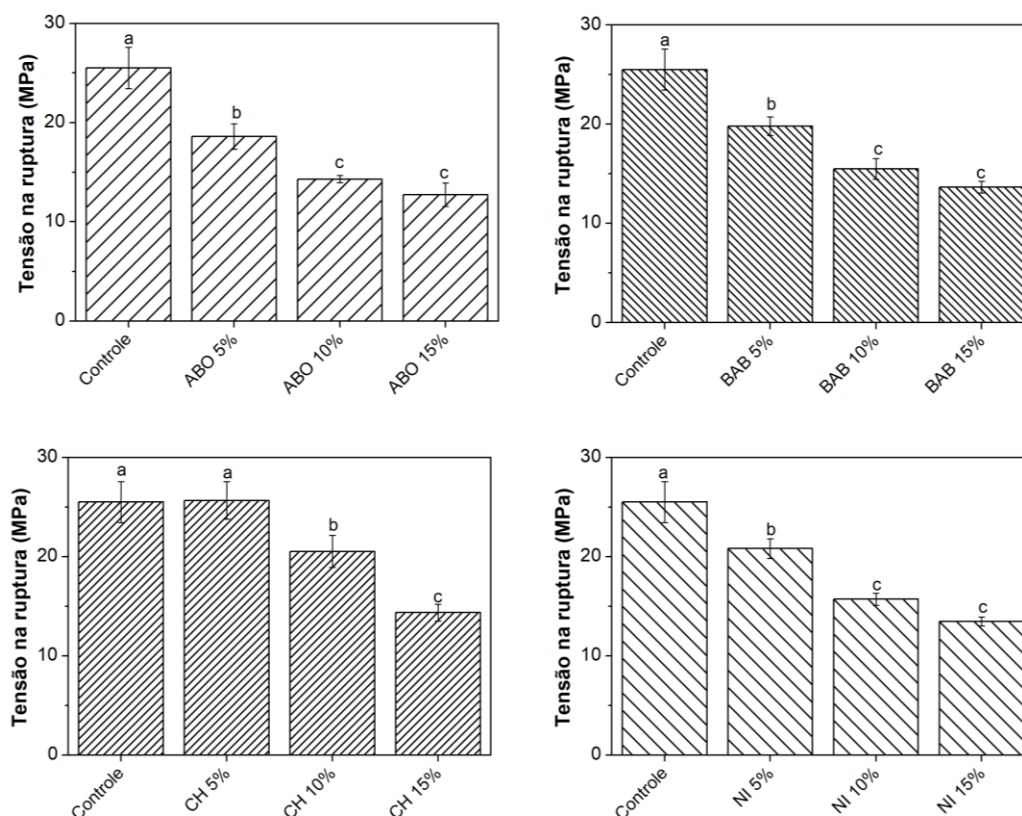


Figura 7. Tensão na ruptura dos filmes.



Nos filmes de noz da Índia, babaçu e abóbora, a adição do óleo na matriz polimérica mostrou que a tensão máxima e tensão na ruptura do polímero foram reduzidas com diferenças significativas. De acordo com os gráficos, entre os ensaios de babaçu e abóbora 5% e 10% não foi observado diferença significativa.

Já a adição do óleo de chia na matriz do PLA em 5% não alterou as propriedades mecânicas de tensões máximas e na ruptura com diferença significativa.

As Figuras 8 e 9 mostram respectivamente a deformação específica e do módulo de elasticidade dos filmes. Observa-se que os valores da deformação específica do PLA aumentaram com a elevação das respectivas quantidades de óleo de abóbora, apresentando diferenças significativas. A maior diferença observada na deformação do biopolímero foi uma elevação de 251% com a formulação 15%. Observou-se também uma elevação no módulo de elasticidade em relação a matriz do PLA apenas na formulação ABO 5%, 1745 MPa, aumento de 10,3% (com diferença significativa).

A deformação específica aumentou em função da adição do óleo de babaçu na matriz do PLA. A maior diferença observada na deformação do biopolímero foi

uma elevação de 446% com a formulação de BAB 10%, apresentando resultado significativo. O módulo de elasticidade (Figura 9) dos tratamentos com óleo de babaçu foi elevado em relação a matriz do PLA apenas na formulação BAB 5%, 1827 MPa, aumento de 15,5% com diferença significativa.

Analisando o comportamento com óleo de chia, a deformação específica do filme de PLA foi elevada com a adição ao polímero. A maior diferença observada foi um aumento de 289% com a formulação CH 15%, apresentando resultado significativo. O módulo de elasticidade foi elevado nas formulações CH 5% e CH 10% apresentando, respectivamente, aumento significativo de 24,6% e 10,2%.

A deformação específica do PLA foi elevada em 205% com a formulação de NI 5%, não apresentando diferenças significativas com o aumento da quantidade de óleo adicionada na matriz polimérica. O módulo de elasticidade do PLA dos tratamentos com óleo de noz da Índia foi elevado nas formulações NI 5% e NI 10% apresentando, respectivamente, aumento significativo de 25,3% e 11%.

Figura 8. Deformação específica dos filmes.

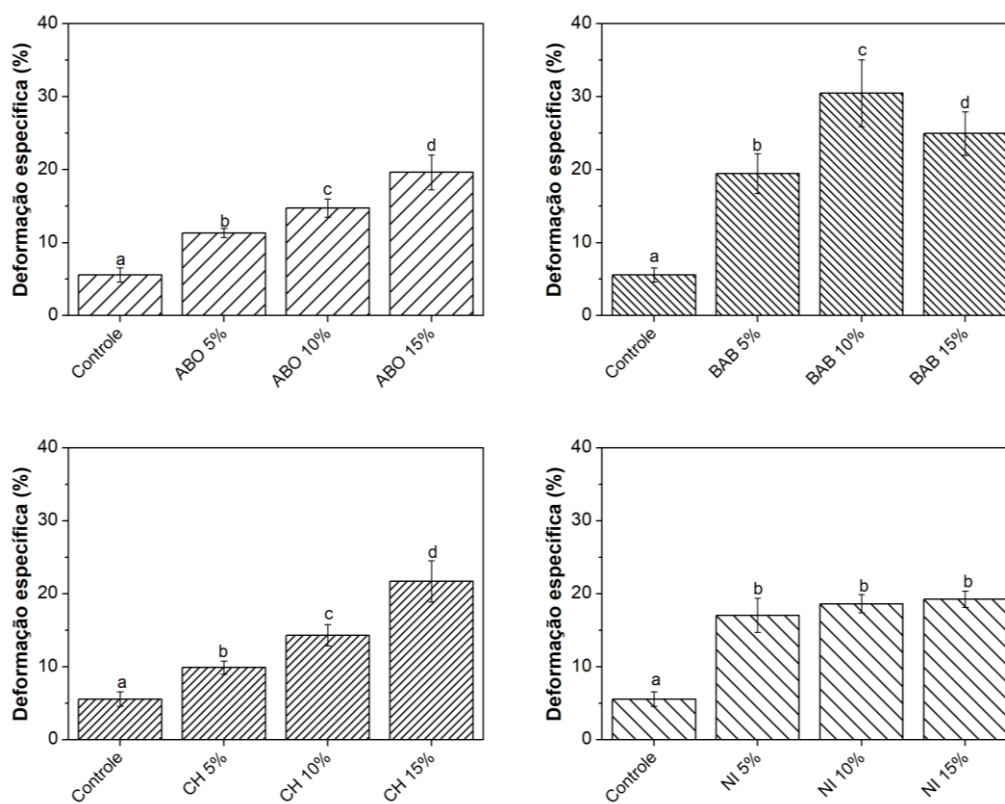
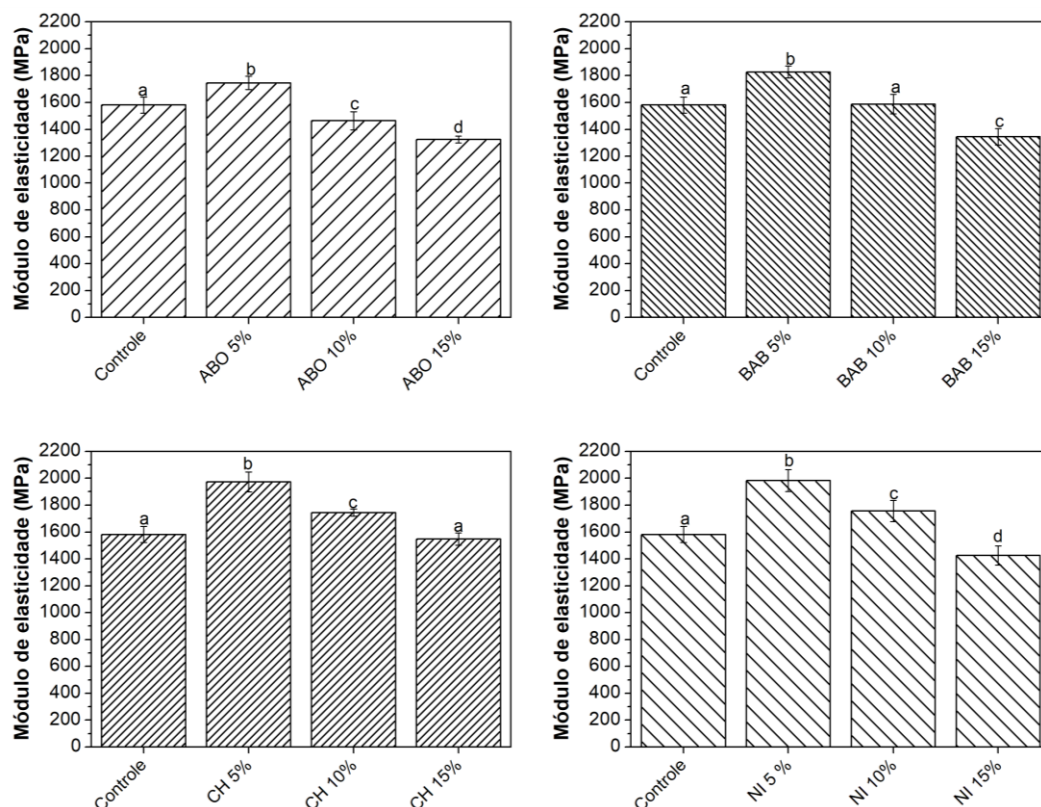


Figura 9. Módulo de elasticidade dos filmes.



Acerca dos parâmetros estudados, de acordo com a literatura, o PLA possui uma deformação específica de 6% (ALBERTON, 2014), valores semelhantes aos obtidos neste estudo. Constata-se que a adição dos diversos óleos causou efeitos de acréscimo da deformação específica para todas as amostras.

A deformação específica está associada ao comportamento dúctil dos filmes de PLA e suas formulações com óleos, devido aos valores elevados de deformação e alongamento antes da ruptura dos corpos de prova.

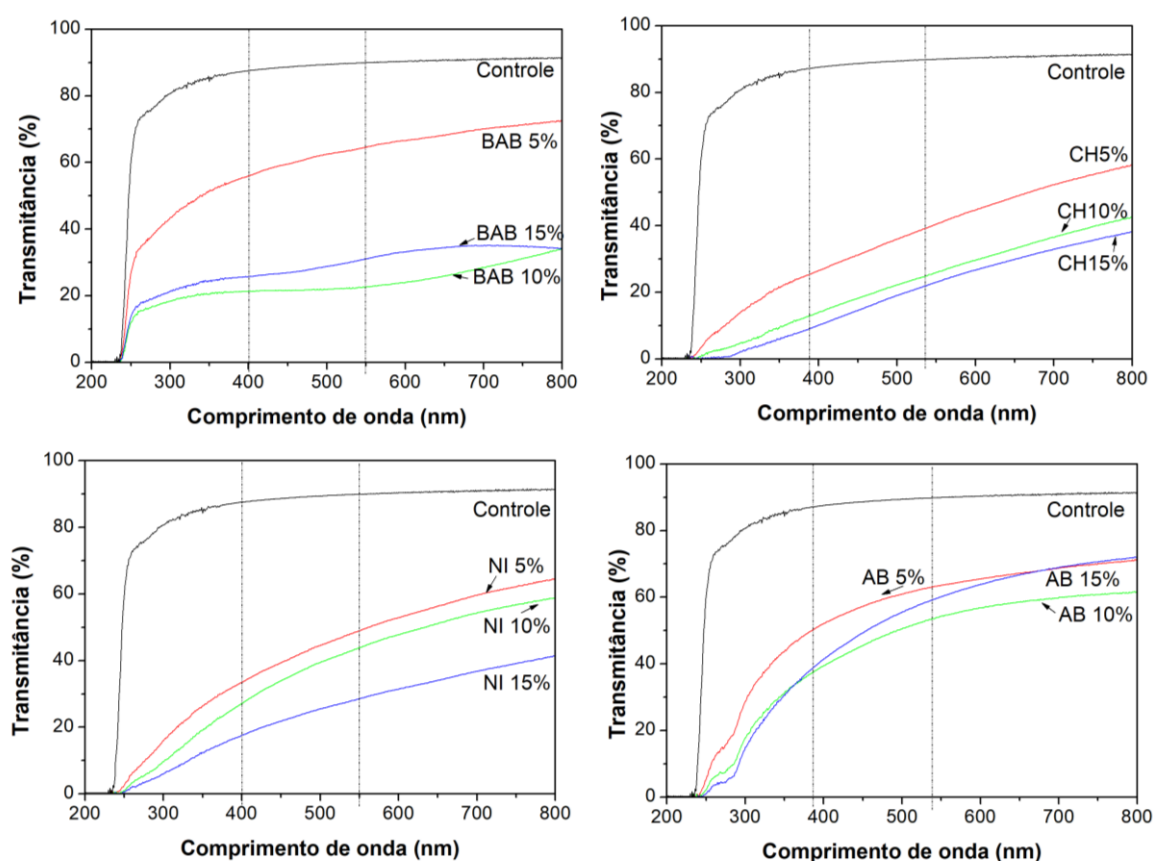
Os valores obtidos para a análise de tração deste estudo corroboram com os valores do estudo de Qin et al. (2017), que aborda a composição de filmes de PLA com óleos essenciais. As interações obtidas para as blends de filmes com os diferentes óleos enfatizam a possibilidade de emprego em diversas aplicações no ramo de embalagens de alimentos, o aumento do módulo de elasticidade e deformação específica são indicativos do aumento da resistência e versatilidade do material.

5.5 Espectrofotometria de Luz UV e visível

A principal função das embalagens é manter a qualidade e a segurança do produto, a fim de prolongar sua vida útil e minimizar as perdas por deterioração. Para isso, ela deve controlar fatores como a umidade, oxigênio, luz e ser uma barreira aos micro-organismos, impedindo o seu desenvolvimento no produto (JORGE, 2013).

Muitos compostos como lipídios, clorofila, carotenóides, antocianinas, vitaminas entre outros, quando expostos à luz, sofrem reações que levam à degradação (DA MOTA, 2006). A análise de transmitância quantifica o quanto de luz atravessa a embalagem, ou seja, a eficiência do filme como barreira de radiações UV e Visível, sendo importante para determinar a aplicação da embalagem. Na Figura 10 é possível observar as curvas de transmitância obtidas por UV-vis para os filmes estudados.

Figura 10. Espectros de transmitância.



Na faixa indicada acima (400 a 550 nm) carotenóides, antocianinas e compostos fenólicos, possuem bandas de absorção (DA MOTA, 2006). Constatou-se que os filmes com diferentes óleos, apresentaram melhor retenção da luz emitida na faixa citada, fato que indica a possível capacidade de melhorar a preservação dos alimentos nestes materiais embalados. Quando essas propriedades são associadas as outras características apresentadas para este filme, enfatiza-se a ampla possibilidade deste material para embalagem de alimentos, preservando propriedades ativas do mesmo.

A blenda controle apresentou em média na faixa destacada 89% de transmitância. A amostra com óleo de babaçu 5% foi a segunda maior com 61% de transmitância, seguida pela amostra com óleo de abóbora 5% (58%), óleo de abóbora 15% (51%) e abóbora 10% (47%). Os filmes de PLA com óleo de chia (CH 5% - 32%, CH 10% - 19%, CH 15% - 17%), noz da Índia (NI 5% - 42%, NI 10% - 37%, NI 15% - 24%) e babaçu (BAB 10% - 21%, BAB 15% - 27%), apresentaram os menores índices de transmitância.

A barreira a luz é um parâmetro fundamental para determinar o correto acondicionamento e preservação dos alimentos.

6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que as espessuras dos filmes variam conforme a adição de óleo, que tendem a aumentar de acordo com o aumento da concentração utilizada (5%, 10% e 15%). Em relação a permeabilidade ao vapor de água (PVA), para as amostras com óleo de chia, noz da Índia e abóbora, a interação química promoveu a redução da permeabilidade, fato que corrobora com o aumento da cristalinidade observado por meio da DRX das amostras, que apresentaram-se mais cristalinas. A permeabilidade do filme de PLA com óleo de babaçu aumentou, possivelmente em virtude da constituição química e interações do óleo de babaçu na matriz polimérica, fato evidenciado na análise de difração de raios-X, no qual esta amostra apresentou menor perfil de cristalinidade.

Em relação a solubilidade, o PLA é considerado um material hidrofóbico, com a adição dos óleos, a solubilidade dos filmes permaneceu baixa com valores próximos ao controle.

A adição de óleo pode atuar como plastificante, melhorando as propriedades mecânicas como a deformação específica. Acerca do módulo de elasticidade, formulações contendo 5% de óleo, causaram aumento deste parâmetro. Contudo, ocorreu a redução da tensão máxima e tensão na ruptura para todas as formulações com os diferentes óleos.

A incorporação do óleo a matriz polimérica foi positiva, promovendo a diminuição da passagem de luz (transmitância), fato que pode favorecer a preservação de compostos ativos sensíveis a exposição à luz.

Quando comparado a polímeros convencionais como o PEAD (Polietileno de alta densidade), o PLA apresentou resultados semelhantes de tensão máxima, tensão na ruptura e deformação específica, sendo que, com a incorporação de óleo, os resultados foram melhores, indicando a viabilidade do uso deste material.

Por fim, as amostras contendo os diferentes óleos quando comparadas ao controle, apresentaram características interessantes para o desenvolvimento tecnológico de embalagens ativas e ambientalmente amigáveis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDUL KHALIL, H. P. S., DAVOUDPOUR, Y., SAURABH, C. K., HOSSAIN Md. S., ADNAN, A. S., DUNGANI, R., PARIDAH, M.T. A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 64, p. 823-836, 10// 2016. ISSN 1364-0321.

AHMED, J., MULLA, M., ARFAT, Y. A. Application of high-pressure processing and polylactide/cinnamon oil packaging on chicken sample for inactivation and inhibition of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella Typhimurium*, and post-processing film properties. **Food Control**, v. 78, p. 160-168, 2017.

ALBERTON, J. **Preparação e caracterização de biocompósitos e bionanocompósitos com matriz de poli (ácido láctico)**. (Tese Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM - Designation D1003-07: **Standard test methods for haze and luminous transmittance of transparent plastics**. 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Designation D882-09: **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. 2009.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Designation E96-95: **Standard Method for Water Vapor Transmission of Materials**. 1995.

ARMENTANO, I., FORTUNATI, E., BURGOS, N., DOMINICI, F., LUZI, F., FIORI, S., ... & KENNY, J. M. Bio-based PLA_PHB plasticized blend films: Processing and structural characterization. **LWT-Food Science and Technology**, 64(2), 980-988, 2015.

ASHBY, M. F. Chapter 1 - Background: Materials, Energy and Sustainability. In: (Ed.). **Materials and Sustainable Development**. Boston: Butterworth-Heinemann, 2016a. p.1-25. ISBN 978-0-08-100176-9.

ASHBY, M. F. Chapter 2 - What is a “Sustainable Development” In: (Ed.). **Materials and Sustainable Development**. Boston: Butterworth-Heinemann, 2016b. p.27-38. ISBN 978-0-08-100176-9.

ASHBY, M. F. Chapter 8 - Scaling Up Biopolymer Production. In: (Ed.). **Materials and Sustainable Development**. Boston: Butterworth-Heinemann, 2016c. p.117-133. ISBN 978-0-08-100176-9.

AURAS, R. A., SINGH, S. P., SINGH, J. J. Evaluation of oriented poly(lactide) polymers vs. existing PET and oriented PS for fresh food service containers. **Packaging Technology and Science**, v. 18, n. 4, p. 207-216, jul./aug. 2005.

AURAS, R., HARTE, B., SELKE, S. Effect of water on the oxygen barrier properties of poly(ethylene terephthalate) and polylactide films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 92, n. 3, p. 1790-1803, may 2004b.

AURAS, R., HARTE, R., SELKE, S. Sorption of ethyl acetate and D-limonene in poly(lactide) polymers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, n. 4, p. 648-656, mar. 2006.

- BELLOLI, R. **Polietileno Verde do Etanol da Cana-de-açúcar Brasileira: Biopolímero de classe mundial.** (Trabalho de conclusão de curso – Engenharia Química). UFRGS, 2010.
- BOURBON, A. I., PINHEIRO, A. C., CERQUEIRA, M. A., ROCHA, C. M. R., AVIDES, M. C., QUINTAS, M. A. C., VICENTE, A. A. Physico-chemical characterization of chitosan-70 based edible films incorporating bioactive compounds of different molecular weight. **Journal of Food Engineering.** Amsterdam, v. 106, n. 2, p. 111-118, 2011.
- BRITO, G. F., AGRAWAL, P., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.
- CARVALHO, J. B. M., MARTINENGUI, G. B., MELZER, M. Tecnologia industrial de óleos e ceras. Rio de Janeiro: **Boletim do Instituto de Óleos**. n.9, p.34-70, 1952.
- CASTILHO, P. F. **Potencial mutagênico e citotóxico de sementes de Aleurites moluccana (L.) WILLD. in vitro.** (Trabalho de Conclusão de Curso - Biotecnologia). Universidade Federal da Grande Dourados. 2016.
- COSTA MACHADO, G., PAES CHAVES, J. B., ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, 2006.
- DA MOTA, R. V. Caracterização do suco de amora-preta elaborado em extrator caseiro1. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 26, n. 2, p. 303-308, 2006.
- DE LEMOS, A. L., MARTINS DE MARTINS, R. Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de poli (ácido láctico) e fibras naturais. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 2, 2014.
- DE PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros.** São Paulo: Artliber, 2009.
- DOS SANTOS, F. A., TAVARES, M. I. B. Preparo e caracterização de filmes obtidos a partir de poli (ácido láctico) e celulose microcristalina. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 23, n. 2, 2013.
- FAKHOURI, F. M. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina.** Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, 2009.
- FARUK, O., BLEDZKI, A. K., FINK, H. P., SAIN, M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. **Progress in polymer science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, ISSN 0079-6700, 2012.
- FERREIRA, A. M. N. **O total aproveitamento do coco de babaçu (Orbignya oleifera).** (Trabalho de Conclusão de Curso - Biologia). Universidade Federal de Brasília, 2011.
- FONSECA, E. T. Óleos vegetais brasileiros. **Ministério da Agricultura**, Rio de Janeiro, 1992. 130p.
- GAO, H., FANG, X., CHEN, H., QIN, Y., XU, F., JIN, T. Z. Physiochemical properties and food application of antimicrobial PLA film. **Food Control**, v. 73, p. 1522-1531, 2017.

GARCÍA, M. A., PINOTTI, A., MARTINO, M. N., ZARITZKY, N. E. Characterization of starch and composite edible films and coatings. In: **Edible films and coatings for food applications**. Springer, New York, NY, 2009. p. 169-209.

GOMES, F. C., SIMIONATTO, E. **Obtenção e caracterização de ésteres a partir de oleaginosas pouco comuns de Mato Grosso do Sul**. Anais do ENIC, 2017.

GORRASI, G., PANTANI, R., MURARIU, M., DUBOIS, P. PLA/Halloysite nanocomposite films: water vapor barrier properties and specific key characteristics. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 299, n. 1, p. 104-115, jan. 2014.

HERRERA, M. A., SIRVIÖ, J. A., MATHEW, A. P., OKSMAN, K. Environmental friendly and sustainable gas barrier on porous materials: Nanocellulose coatings prepared using spin- and dip-coating. **Materials & Design**, v. 93, p. 19-25, 3/5/ 2016. ISSN 0264-1275.

INÁCIO, E. M., DIAS, M. L., LIMA, M. C. P. Morfologia e Propriedades Térmicas de filmes de PLA plastificados com oligoésteres alifáticos. In: **Congresso Brasileiro de Polímeros-13 CBPOL**, 2015.

IWATA, T. Biodegradable and bio-based polymers: future prospects of eco-friendly plastics. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 54, n. 11, p. 3210-3215, 2015.

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, 2016.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013.

LEE, K. Y., SHIM, J., LEE, H. G. Mechanical properties of gellan and gelatin composite films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 251-254, 2004.

LEHERMEIER, H., DORGAN, J., WAY, J. D. Gas permeation properties of poly(lactic acid). **Journal of Membrane Science**, v. 190, n. 2, p. 243-251, sep. 2001.

LIMA, C. G., VILELA, A. F. G., SILVA, A. D., PIANNOVSKI, A. R., SILVA, K. K., CARVALHO, V. F., ... FERRARI, M. Desenvolvimento e avaliação da estabilidade física de emulsões O/A contendo óleo de babaçu (*Orbignya oleífera*). **Rev. Bras. Farm**, v. 89, n. 3, p. 239-245, 2008.

LUCAS, E. F., SOARES, B. G., MONTEIRO, E. E. C. **Caracterização de polímeros: determinação de peso molecular e análise térmica**. Editora E-papers, 2001.

M. JAMSHIDIAN, E. A. TEHRANY, F. CLEYMAND, S. LCONTE, T. FALHER, S. DESOBRY, **Carbohydr. Polym.** 87 (2012) 1763–1773.

MILLER JÚNIOR, G. T. **Ciência ambiental**. In: (Ed.). *Ciência ambiental*: Cengage Learning, 2013

NECHYPORCHUK, O., BELGACEM, M. N., BRAS, J. Production of cellulose nanofibrils: A review of recent advances. **Industrial Crops and Products**, ISSN 0926-6690, 2016.

OLIVEIRA, L. M. D., ALVES, R. M. V., SARANTÓPOULOS, C. I. G. L., PADULA, M., GARCIA, E. E. C., COLTRO, L. **Ensaio para avaliação de embalagens plásticas flexíveis**. Campinas: Centro de Tecnologia de Embalagem, CETEA, 1996. 219 p.

PACHEKOSKI, W. M., DALMOLIN, C., MARCONDES, J. A. A. Blendas poliméricas biodegradáveis de PHB e PLA para fabricação de filmes. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 4, 2014.

PEREIRA, M. C., VILELA, G. R., COSTA, L. M. A. S., SILVA, R. D., FERNANDES, A. F., FONSECA, E. D., PICCOLI, R. H. Inibição do desenvolvimento fúngico através da utilização de óleos essenciais de condimentos. **Ciência e Agrotecnologia**, 30(4), 731-738. 2006.

PHILIPPI JÚNIOR, A., PELICIONI, M. C. F. **Educação ambiental e sustentabilidade**. USP, 2009. ISBN 8520422071

PORTE, A., SILVA, E. F. D., ALMEIDA V. D. D. S. D., SILVA, T. X. D., PORTE, L. H. M. Propriedades funcionais tecnológicas das farinhas de sementes de mamão (Carica papaya) e de abóboras (Cucurbita sp). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, 13(1), 91-6. 2011.

QIN, Y., LI, W., LIU, D., YUAN, M., LI, L. Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil. **Progress in Organic Coatings**, v. 103, p. 76-82, 2017.

QUEIROGA, V. P., GIRÃO, E. G., ARAÚJO, I. M. S., GONDIM, T. M. S., FREIRE, R. M. M., VERAS, L. G. C. Composição centesimal de amêndoa de coco de babaçu em quatro tempos de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.2, p.207-213. 2015.

RISS, H., CARNIEL, T., FARINA, C., ROSO, A., SILVA, L., MELLO, J. & DALCANTON, F. Extração de óleo de chia (Salvia hispanica L.) via Soxhlet. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, 1(3), 1716-1721. 2015.

SANTOS, J. C., FILHO, C. D. C., BARROS, T. F., GUIMARÃES, A. G. Atividade antimicrobiana in vitro dos óleos essenciais de orégano, alho, cravo e limão sobre bactérias patogênicas isoladas de vôngole. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1557-1564. 2011.

SIRACUSA, V. Food packaging permeability behaviour: a report. **International Journal of Polymer Science**, v. 12, p.1-12, 2012.

TSUJI, H., TAKAI, H., SAHA, S. K. Isothermal and non-isothermal crystallization behavior of poly (L-lactic acid): Effects of stereocomplex as nucleating agent. **Polymer**, v. 47, n. 11, p. 3826-3837, 2006.

UGALDE, M. L. **Biofilmes ativos com incorporação de óleos essenciais**. Erechim: URI. 2014.

UTPOTT, Michele. **Utilização da mucilagem da chia (salvia hispanica l) na substituição de gordura e/ou gema de ovo em maionese**. Trabalho de conclusão de curso. UFRGS, 2012.

VILLMOW, T., PÖTSCHKE, P., PEGEL, S., HÄUSSLER, L., KRETZSCHMAR, B. Influence of twin-screw extrusion conditions on the dispersion of multi-walled carbon nanotubes in a poly(lactic acid) matrix. **Polymer**, v. 49, n. 16, p. 3500-3509, jul. 2008.

WASILKOSKI, C. M., **“Comportamento Mecânico Dos Materiais Poliméricos”**, 2006, 82p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil.

WATA, T. Biodegradable and Bio-Based Polymers: Future Prospects of Eco-Friendly Plastics. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 54, n. 11, p. 3210-3215, 2015. ISSN 1521-3773.