



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS

Área de Concentração: Ciência de Alimentos

**PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICO À BASE DE AMIDO DE JACA (*Artocarpus heterophyllus Lam*) E ÓLEO DE PALMA (*Elaeis guineensis Jaquim*)**

**Autora:** Keila Souza Correia

**Orientador:** Prof. *Dsc.* Leandro Soares Santos

ITAPETINGA

BAHIA - BRASIL

FEVEREIRO 2019

**KEILA SOUZA CORREIA**

**PRODUÇÃO DE BIOPLÁSTICO À BASE DE AMIDO DE JACA (*Artocarpus heterophyllus Lam*) E ÓLEO DE PALMA (*Elaeis guineensis Jaquim*)**

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

**Orientador:** Prof. *Dsc.* Leandro Soares Santos

**Co-orientadoras:** Prof. *Dsc.* Renata Cristina Ferreira Bonomo

Prof. *Dsc.* Ana Clarissa dos Santos Pires

ITAPETINGA  
BAHIA - BRASIL  
FEVEREIRO 2019



**Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia**  
Recredenciada pelo decreto estadual nº 16.825 de 04.07.2016  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos  
**PPG-ECAL / UESB**



Áreas de Concentração: Engenharia de Alimentos  
Ciência de Alimentos

### DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Título: PRODUÇÃO DE BIOPLASTICO À BASE DE AMIDO DE JACA (*Artocarpus heterophyllus*) E ÓLEO DE PALMA (*Elaeis guineensis*).**

**Autor (a): KEILA SOUZA CORREIA**

**Orientador (a): Prof. Dr. Leandro Soares Santos**

**Coorientador (a):**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **MESTRE EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CIÊNCIA DE ALIMENTOS**, pela Banca Examinadora.

Prof.ª Dr.ª Cristiane Martins Veloso  
Membro UESB

Prof. Dr. Biano Alves de Melo Neto  
Membro Externo - IFBAIANO/ Uruçuca

Prof. Dr. Leandro Soares Santos  
Orientador - UESB  
Presidente da Banca

Itapetinga-BA, 27 de fevereiro de 2019.

664.09 Correia, Keila Souza  
C848p Produção de bioplástico à base de amido de jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*) e óleo de palma (*Elaeis guineensis Jaquim*). / Keila Souza Correia. - Itapetinga: UESB, 2019.  
67p.

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. D.Sc. Leandro Soares Santos e coorientação da Profª. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo e Profª. D.Sc. Ana Clarissa dos Santos Pires.

1. Embalagens biodegradáveis e antioxidantes. 2. Produção de bioplástico. 3. Produção de bioplástico - Amido de jaca - Óleo de palma. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. II. Santos, Leandro Soares. III. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. IV. Pires, Ana Clarissa dos Santos. V. Título.

CDD(21): **664.09**

Catálogo na fonte:

Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535  
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Embalagens biodegradáveis e antioxidantes
2. Produção de bioplástico
3. Produção de bioplástico - Amido de jaca - Óleo de palma

*“Todo mundo é um gênio. Mas, se você julgar um peixe por sua capacidade de subir em uma árvore, ele vai gastar toda a sua vida acreditando que ele é estúpido”.*

The Animal School (1940) - George Reavis

*It's a new dawn  
It's a new day  
It's a new life  
For me  
And I'm feeling good*

Feeling Good – Nina Simone

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, à Deus, por todo amor que tens pela minha vida. Pude sentir e todos os momentos, o seu carinho, cuidado, erguendo-me a cada batalha e aumentando cada dia mais a minha fé, amparando-me, e me fazendo acreditar, que eu sou mais que vencedora. Quantas vezes nesta caminhada te pedi um abraço? E de maneira sobrenatural pude sentir! Tu és fiel!

À minha mãe Solange, que sempre esteve comigo a cada novo desafio que enfrentei, sempre acredita e demonstra orgulho e felicidade pelas minhas conquistas. Ao meu pai, Cícero, por também contribuir para que até aqui eu chegasse.

À Dhionatan Santana, por todo carinho, sempre me ajudando durante todo o trabalho, diversas vezes esteve comigo, acompanhando-me durante as madrugadas de escrita da dissertação, compreendendo até os meus momentos de silêncio. Obrigada por todo apoio e cuidado.

Ao amigo Márcio Dias, por me incentivar sempre a buscar novos desafios, alegrar-se com os meus objetivos alcançados, e sempre preparar um café ou chá para me escutar.

Ao meu orientador Leandro Soares, pela orientação, e apoio para que este trabalho fosse realizado, contribuindo para a minha formação desde a graduação de maneira excepcional, obrigada por toda compreensão, confiança e amizade.

À minha querida amiga, professora Dr. Ligia Menezes, por todo apoio durante a minha trajetória acadêmica. Agradeço por todas as vezes que transmitiu carinho em seu olhar e abraço, obrigada por acreditar em mim, sou grata por todo ensinamento e cuidado.

À professora Dr. Elen Lacerda, pela disponibilidade para esclarecer dúvidas, encorajando-me durante as análises, mesmo distante.

Aos colegas de laboratório, ou melhor à equipe Júlia Lopes, Sthefany Nicolle, Esdras Ferraz, Antônia Cardoso, Amanda Lima, por toda ajuda no decorrer das análises. Em especial à Júlia, mesmo em meio ao cansaço, sempre me transmitiu calma e coragem. À Acsa Batista, após o exame de qualificação, sempre solícita para estar comigo durante as análises, contribuindo de maneira singular para que eu pudesse dar continuidade ao trabalho, até a sua concretização, obrigada!

À amiga Josane Cardim, que esteve comigo em todos os momentos em que eu dei mais um passo em minha carreira. Você, Jô, foi uma das peças fundamentais para que eu não desistisse em meio a dificuldade. O verdadeiro sentido de amizade aprendi que não é conviver, mas o que somos capazes de deixar de melhor no outro, você é especial para mim!

À amiga Daniele Gomes, por sempre ter um tempo para uma boa conversa, aconselhando inspirando a batalhar pelos meus sonhos. Obrigada por sua amizade e carinho, o meu é recíproco.

Às minhas “meninas”, que a Uesb me apresentou, Ramile Bach e Renata de Sousa. Tenho o maior carinho e zelo por vocês, e o mesmo recebo, sinto-me querida e amada. Sempre com uma palavra positiva, um conselho, e prontas a me ajudar não importa quão árdua seria a missão, sempre comigo! Obrigada meninas.

À amiga Alexandra Fernandes e a sua mãe Teresinha, por todas as orações, incentivo. Por me acolher tão bem, obrigada por estarem comigo quando mais precisei.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos pela oportunidade. E aos funcionários da Universidade, Fátima, Gilberto, Tarcísio. Obrigada por cada bom dia, risada, vocês também fazem parte desta conquista.

À Fundação de Amparo à Pesquisa (CAPES), pela bolsa concedida

A todos os professores que contribuíram para o meu crescimento profissional

Aos integrantes da banca examinadora, por terem aceitado o convite em contribuir com este trabalho

**Obrigada!**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS .....	11
RESUMO .....	12
ABSTRACT .....	13
1.INTRODUÇÃO .....	14
2.REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1. Polímero biodegradável .....	16
2.2. Biodegradabilidade .....	17
2.3. Componentes do bioplástico .....	18
2.3.1. Amido .....	18
2.3.2. Plastificante .....	20
2.4. Amido da semente de jaca ( <i>Artocarpus heterophyllus Lam</i> ) .....	21
2.5. Óleo de palma ( <i>Elaeis guineensis Jaquim</i> ).....	22
2.6. Bioplástico à base de amido e compostos hidrofóbicos .....	23
2.7. Bioplásticos ativos antioxidante .....	24
3. OBJETIVOS .....	26
3.1. Objetivo Geral.....	26
3.2. Objetivos específicos .....	26
4. MATERIAL E MÉTODO .....	27
4.1. Aquisição da matéria prima.....	27
4.2. Extração do amido da semente de jaca .....	27
4.3. Composição centesimal do amido da semente de jaca.....	28
4.3.1. Teor de umidade e cinzas .....	28
4.3.2. Proteínas .....	28
4.3.3. Teor de lipídeos.....	28
4.3.4. Determinação do teor de amido .....	29
4.3.5. Determinação do teor de Amilose.....	29
4.4. Preparo do bioplástico a base de amido de jaca.....	29
4.5. Análise das características dos bioplásticos .....	31
4.5.1. Propriedades ópticas .....	31
4.5.2. Solubilidade.....	
4.5.3. Permeabilidade ao vapor de água.....	32
4.5.4. Biodegradabilidade .....	32
4.5.5. Espessura .....	33



4.5.6. Propriedades mecânicas.....	33
4.5.7. Difração raios x - DRX.....	34
4.5.8. Avaliação da migração de compostos antioxidantes dos bioplásticos.....	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
5.1. Caracterização do amido da semente de jaca .....	36
5.2. Caracterização dos bioplásticos de amido da semente de jaca.....	37
5.3. Solubilidade.....	38
5.4. Espessura .....	41
5.5. Propriedades mecânicas.....	42
5.5.1. Força de ruptura .....	42
5.5.2. Módulo de Young .....	44
5.5.3. Deformação .....	46
5.6. Propriedades ópticas .....	47
5.7. Permeabilidade ao vapor de água.....	51
5.8. Avaliação da atividade antioxidante dos bioplásticos .....	52
5.9. Biodegradabilidade .....	54
5.10. Difração raio-X .....	55
6. CONCLUSÃO .....	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estrutura da amilose .....	16
<b>Figura 2:</b> Estrutura da amilopectina .....	17
<b>Figura 3:</b> Mecanismo de gelatinização do amido. (1) grânulos de amido nativo; (2) redução da cristalinidade; (3) inchamento dos grânulos de amido sob calor e água; (4) aumento da viscosidade da solução, formação do gel. ....	18
<b>Figura 4:</b> Estrutura da molécula de glicerol .....	19
<b>Figura 5:</b> Diferentes partes de jaca: (A) jaca; (B) seção de corte de jaca; (C) bagos da jaca; (D) sementes de jaca. ....	20
<b>Figura 6:</b> Planta da palma, fruto e óleo extraído do fruto, respectivamente .....	21
<b>Figura 7:</b> Ensaio de tração do bioplástico .....	31
<b>Figura 8:</b> Dimensões do corpo de prova para realização do teste de tração .....	32
<b>Figura 9:</b> Solubilidade dos bioplásticos sob influência da concentração de plastificante e óleo de palma. ....	37
<b>Figura 10:</b> Solubilidade dos bioplásticos sob influência da concentração de emulsificante e plastificante.....	38
<b>Figura 11:</b> Espessura dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma .....	39
<b>Figura 12:</b> Força de ruptura dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma .	41
<b>Figura 13:</b> Módulo de Young dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma .....	43
<b>Figura 14:</b> Deformação dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma .....	45
<b>Figura 15:</b> Cromaticidade $b^*$ dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma	46
<b>Figura 16:</b> Cromaticidade $a^*$ dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma	47
<b>Figura 17:</b> Luminosidade dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma ....	48
<b>Figura 18:</b> Porcentagem de inibição do radical DPPH para 2,96% óleo de palma adicionado no bioplástico .....	51
<b>Figura 19:</b> Porcentagem de inibição do radical DPPH para 8% óleo de palma adicionado no bioplástico .....	51
<b>Figura 20:</b> Porcentagem de inibição do radical DPPH para 13,04 % óleo de palma adicionado no bioplástico.....	52
<b>Figura 21:</b> Aspecto visual dos bioplásticos após 90 dias enterrados.....	53
<b>Figura 22:</b> Difratoograma de raios-X dos bioplásticos.....	55

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1:</b> Planejamento experimental para a produção do bioplástico de amido de semente de jaca .....	28
<b>Tabela 2:</b> Composição do amido da semente de jaca .....	34
<b>Tabela 3:</b> Modelo estimado e coeficiente de regressão para permeabilidade ao vapor de água (PVA) .....	49

## RESUMO

CORREIA, K. S. **Produção de bioplástico à base de amido de jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*) e óleo de palma (*Elaeis guineenses Jaquim*)**. Itapetinga, BA: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2019. 67 p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração: Ciência de Alimentos). \*

Embalagens biodegradáveis têm sido o foco de estudo para a substituição dos materiais produzidos a partir de recursos não renováveis. Dentre os biopolímeros o amido das mais diversas fontes botânicas apresenta grande potencial para elaboração, devido a sua biodegradabilidade, baixo custo e disponibilidade. Além das funções de armazenamento e transporte, as embalagens podem prolongar a vida útil dos alimentos, carreando substâncias ativas que podem ser incorporadas a matriz. Diante disto, este trabalho teve como objetivo, a produção de bioplástico à base de amido extraído da semente de jaca, e a incorporação de óleo de palma a matriz polimérica, afim de obter uma embalagem biodegradável e antioxidante. Os bioplásticos foram caracterizados quanto às propriedades ópticas, permeabilidade ao vapor de água, biodegradabilidade, espessura, propriedades mecânicas, atividade antioxidante e análise da estrutura por meio da difração de raios-X. Os bioplásticos apresentaram boa aparência e atividade antioxidante, detectada por meio da análise do poder anti radicalar DPPH'. A espessura dos bioplásticos teve um aumento pela influência das concentrações de óleo e emulsificante. A menor solubilidade observada foi no tratamento com maior quantidade de óleo de palma, resultado coerente devido ao caráter hidrofóbico deste componente. Quanto as propriedades mecânicas, a quantidade de emulsificante e óleo influenciaram para este parâmetro. A provável incompatibilidade termodinâmica entre os componentes, e a característica amorfa observada pela difração de raios-X, pode ter interferido para os baixos valores obtidos das propriedades avaliadas, entretanto não limita a sua aplicação para embalagem, o que dependerá de estudos à cerca da correta aplicação com base em suas características. Para a biodegradabilidade observou-se que, os bioplásticos foram degradados ao final de 90 dias de análise, os mesmos perderam a sua integridade inicial. A permeabilidade ao vapor de água, apresentou redução com o aumento da quantidade de emulsificante. Para as cromaticidades  $a^*$  e  $b^*$  dos bioplásticos ambas foram influenciadas pela concentração de emulsificante e plastificante, enquanto que a luminosidade teve influência de acordo com a quantidade de óleo e plastificante incorporados a matriz polimérica. Para estas propriedades foram detectadas redução da luminosidade, resultando em filmes opacos, e coloração em tons amarelo ( $b^*$ ) e verde ( $a^*$ ). Os resultados obtidos, mostram a possibilidade do estudo da aplicação do bioplástico em alimentos, com a finalidade de inibir ou retardar processos de deterioração oxidativo, além de que o mesmo tem a vantagem de contribuir para a redução de resíduos de alto impacto para o meio ambiente.

**Palavras-chave:** Embalagens biodegradáveis, biopolímeros, antioxidante

---

\* Orientador: DSc. UESB. Leandro Soares Santos, e Co-orientadores: DSc. UESB. Renata Cristina Ferreira Bonomo; DSc. UFV. Ana Clarissa dos Santos Pires

## ABSTRACT

CORREIA, K. S. **Production of bioplastic based on jackfruit starch (*Artocarpus heterophyllus Lam*) and palm oil (*Elaeis guineensis Jaquim*)**. Itapetinga – BA: UESB, 2019. 67 p. (Dissertation – MSc. in Food Engineering and Food Science; Area of concentration: Food Science). \*

Biodegradable packaging has been the focus of study, for the replacement of materials produced from non-renewable resources. Among the biopolymers, the starch of the most diverse botanical sources presents great potential for elaboration, due to their biodegradability, low cost and availability. In addition to the storage and transport functions, packaging can extend the life of the food, carrying active substances that can be incorporated into the matrix. In view of this, this work had as objective, the production of starch-based bioplastics extracted from jackfruit, and the incorporation of palm oil into the polymer matrix, in order to obtain a biodegradable and antioxidant packaging. The bioplastics were characterized as optical properties, water vapor permeability, biodegradability, thickness, mechanical properties, antioxidant activity and structure analysis by means of X-ray diffraction. The bioplastics presented good appearance and antioxidant activity, detected by the analysis of the anti radical power DPPH'. The thickness of the bioplastics was increased by the influence of the concentrations of oil and emulsifier. The lowest solubility observed was in the treatment with higher amount of palm oil, coherent result due to the hydrophobic character of this component. As for the mechanical properties, the amount of emulsifier and oil influenced to this parameter. The probable thermodynamic incompatibility between the components, and the amorphous characteristic observed by X-ray diffraction may have interfered with the low values obtained from the properties evaluated, however does not limit its application to packaging, which will depend on studies about the correct application based on its characteristics. For the biodegradability it was observed that, the bioplastics were degraded at the end of 90 days of analysis, they lost their initial integrity. The permeability to water vapor, presented reduction with the increase of the amount of emulsifier. For the a \* and b \* chromaticity of the bioplastics both were influenced by the concentration of emulsifier and plasticizer, while the luminosity had influence according to the amount of oil and plasticizer incorporated in the polymeric matrix. For these properties were detected reduction of luminosity, resulting in opaque films, and coloration in yellow (b\*) and green (a\*). The results obtained, show the possibility of the study of the application of bioplastic in foods, with the aim of inhibiting or retarding the processes of oxidative deterioration, besides that it has the advantage of contributing to the reduction of high impact waste to the environment.

**Keywords:** Biodegradable packaging, biopolymers, antioxidants

---

\* Advisor (a): **DSc.** UESB. Leandro Soares Santos; Co-advisors: **DSc.** UESB. Renata Cristina Ferreira Bonomo; **DSc.** UFV. Ana Clarissa dos Santos Pires

## 1. INTRODUÇÃO

Quando se trata da produção de embalagens, os materiais mais utilizados derivam dos combustíveis fósseis em parte por que esses materiais conferem maior resistência mecânica, não são degradados pela presença de água, luz e calor conferindo proteção necessária para o transporte de diversos produtos. No entanto, prejudicam o meio ambiente, uma vez que não se decompõe com facilidade, sendo mantido em aterros sanitários por muitos anos, além do que a incineração destes materiais que poderia ser uma alternativa para eliminar estes resíduos, quando em combustão liberam substâncias tóxicas (WANG, 2014). Neste sentido, muitas pesquisas estão sendo realizadas para desenvolver embalagens à de base polímeros biodegradáveis, individualmente ou na forma de blendas (BONOMO et al., 2018; BORDES e AVEROUS, 2009).

Entre as diversas funções das embalagens, o estudo e desenvolvimento de embalagens que interagem com os alimentos é algo promissor, pois desempenham a função de preservar a qualidade dos alimentos pelo mecanismo de incorporação de substâncias, que são liberadas gradativamente para a superfície do alimento. A degradação química oxidativa, é uma das principais perdas da qualidade dos alimentos, alterando cor, sabor, textura, bem como podem ocorrer perdas nutricionais. As embalagens ativas antioxidantes surgem como alternativa para inibir ou impedir estas alterações nos alimentos, contribuindo para a evitar a necessidade da adição de agentes antioxidantes na formulação dos alimentos ou mesmo reduzir a quantidade adicionada.

A incorporação de lipídeos na produção de embalagens à base de amido, pode melhorar as propriedades de barreira ao vapor de água, mecânicas, solubilidade desses materiais (JIMÉNEZ et al., 2013). No entanto, a incorporação destes compostos na matriz não é simples, pois existe uma incompatibilidade entre os hidrocoloides e as moléculas lipídicas (QURAT-UL-AIN et al., 2016), sendo necessária a utilização de técnicas que permitam a incorporação dos compostos hidrofóbicos na matriz polimérica. Dentre as técnicas que tem sido aplicada a emulsificação é uma alternativa (PÉREZ-GAGO et al., 2014), e um modo geral, a produção de filmes à base de amido e lipídeos compreenderá a incorporação do óleo na matriz por meio da utilização agentes surfactantes.

A maioria dos óleos vegetais, como por exemplo o óleo de palma ou dendê como é popularmente conhecido, possui em sua composição química peculiar: ácidos graxos monoinsaturados (36,0-45,0%), poliinsaturados (9,0-12,5%) e saturados (43,3-57,4%), presença de compostos antioxidantes, como tocotrienóis e tocoferóis e carotenóides, o que confere ao

mesmo, elevada estabilidade oxidativa (CODEX STAN, 2011). Assim, a incorporação do óleo de palma bruto a formulações de embalagens a base de amido de jaca, além de melhorar algumas de suas propriedades, pode conferir atividade antioxidante para a embalagem.

A utilização de matérias-primas provenientes da agricultura ou subprodutos com baixo valor agregado para a produção de embalagens plásticas é uma alternativa a utilização de fontes fósseis, pois quando descartadas na natureza em um curto período de tempo o material é facilmente assimilado e degradado por ação bacteriana. Entre as matérias-primas mais utilizadas e estudada está o amido, que possui desempenho aceitável para um grande espectro de aplicações, pode ser obtido de diversas fontes vegetais, tais como a mandioca, o milho, a batata, o arroz, entre outros. A aplicação do amido para a produção do bioplásticos depende da capacidade de formação da pasta e do gel, que são afetados principalmente pelo teor e grau de polimerização da amilose, além da presença de outros constituintes que podem dificultar o processo de formação dos filmes.

O amido extraído das sementes da jaca, uma fonte não convencional de amido, tem sido estudado por diversos pesquisadores (BONOMO et al., 2018; SANTOS et al., 2009; SANTANA et al., 2017; RENGSUTHI e CHAROENREIN, 2011), e os resultados obtidos com as caracterizações quando comparado a fontes botânicas convencionais, tem apresentado bom rendimento na obtenção de amido. Com base em sua composição, o amido extraído das sementes de jaca apresenta promissora aplicação para produção de materiais biodegradáveis, devido ao elevado teor de amilose, alto grau de pureza, apropriadas propriedades físicas e químicas que propiciam a formação de pasta e gel para a elaboração de bioplásticos.

Deste modo, considerando as propriedades dos óleos vegetais e a utilização de amido para a produção de bioplásticos, o objetivo desse trabalho foi a produção e caracterização de bioplásticos à base de amido de semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus* Lam) e óleo de palma (*Elaeis guineenses* Jaquim).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Polímero biodegradável

Os plásticos convencionais são fabricados a partir de polímeros de fontes petrolíferas, são de origem não renovável e podem levar muitos anos para que seja degradado quando depositados no meio ambiente. Problemas relacionados com a poluição, despertam o interesse por matérias biodegradáveis. Os polímeros biodegradáveis são fabricados a partir de materiais biológicos, tais como polissacarídeos, proteínas, lipídios e derivados, para a elaboração, porém um dos seus constituintes deve ser uma macromolécula com a capacidade de formar uma matriz contínua e de alta coesividade (HENRIQUE et al., 2008; SHIRAI et al., 2013).

A técnica mais empregada experimentalmente para obtenção de filmes biodegradáveis é o casting. Neste método a obtenção do filme é baseada na solubilização do material em um solvente que pode ser água, etanol ou ácidos orgânicos e acréscimo de aditivos (plastificantes) resultando em uma solução filmogênica (HENRIQUE et al., 2008). Os materiais utilizados para a produção dos bioplásticos são derivados de fontes renováveis, e o amido é um biopolímero com potencial aplicação na produção, bastante utilizado devido à sua abundância e baixo custo (SHIRAI et al., 2013).

No processo de biodegradação os materiais são convertidos em estruturas de menor complexidade, tais como  $CO_2$  e  $H_2O$  que são distribuídos no ambiente por meio dos ciclos do carbono, nitrogênio e enxofre, sendo facilmente assimilado por microrganismos para que ocorra a biodegradação. No entanto, deve-se considerar que outros mecanismos podem atuar em sinergismo com os organismos vivos contribuindo para o processo de biodegradação, tais como fotodegradação, termodegradação, reações envolvendo oxidação e hidrólise podem atuar alterando a estrutura dos polímeros, antes, durante ou após a biodegradação (KAITH et al., 2011).

Embora seja positivo a utilização de filmes biodegradáveis, para que seja possível substituir as embalagens de materiais sintéticos algumas restrições precisam ser superadas, alta solubilidade e permeabilidade ao vapor de água, baixa resistência mecânica, fragilidade (BILO et al., 2018). As características necessárias das embalagens biodegradáveis para alimentos são estabilidade bioquímica, físico-química e microbiana, não deve apresentar toxicidade, não ser poluente e apresentar baixo custo para as matérias-primas e processos (LADIM et al., 2016).



Em substituição a utilização do petróleo para a produção de embalagens, outras alternativas têm sido utilizadas e aplicadas comercialmente, tais como o ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoato (PHA), policaprolactona (PCL) e o polietileno adipato (PEA), no entanto polímeros de origem agroindustrial tem se tornado fonte de interesse por pesquisadores, em destaque os polissacarídeos.

Dentre os polissacarídeos, o amido apresenta-se como uma alternativa promissora para a produção de embalagens e revestimentos para alimentos, tendo como características o baixo custo, a extração propicia elevado rendimento, vasta disponibilidade dentre raízes, tubérculos, legumes, além de ser biodegradável e biocompatibilidade (SOUZA et al., 2013; SHAH et al., 2015).

## 2.2. Biodegradabilidade

Os polímeros possuem inúmeras aplicações, quando manipulados, resultam em diversos produtos, como por exemplo, embalagens para alimentos. A produção excessiva de materiais plásticos, a base de petróleo ou materiais de reduzida taxa de biodegradação, requer alternativas sustentáveis para minimizar os impactos que podem gerar ao meio ambiente. Diversas implicações podem ocorrer pelo descarte incorreto ou a falta de tratamento adequado para os materiais que não possui mais a utilidade para qual foi produzido (MEKONNEN et al., 2013; PATHAK et al., 2014).

Biodegradável é a designação para materiais que são degradados por intermédio de atividade biológica. A biodegradação envolve três eventos importantes para que aconteça: biodeterioração, ocorre mudanças químicas e físicas no material; biofragmentação, quebra das cadeias polimericas por ação dos microrganismos e por fim; assimilação, quando os microrganismos são capazes de converter o material plástico, em  $CO_2$ , água e biomassa (LUCAS et al., 2008).

Os fatores envolvidos para que a biodegradação seja possível são pH do meio, tipo de solo, umidade, temperatura, influenciam sobre o tempo de biodegradação dos materiais. No solo, é o ambiente que ocorre a maior taxa de biodegradação, devido a maior quantidade e diversidade de microrganismos existente (ANSTEY et al., 2014; KALE et al., 2007; ACCINELLI et al., 2012; KUMARAVEL et al., 2010).

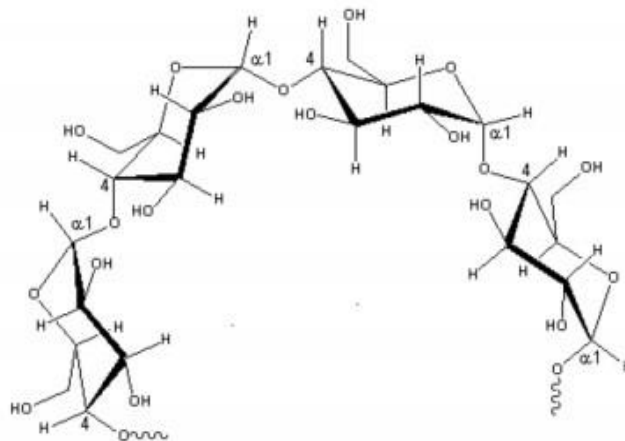
## 2.3. Componentes do bioplástico

### 2.3.1. Amido

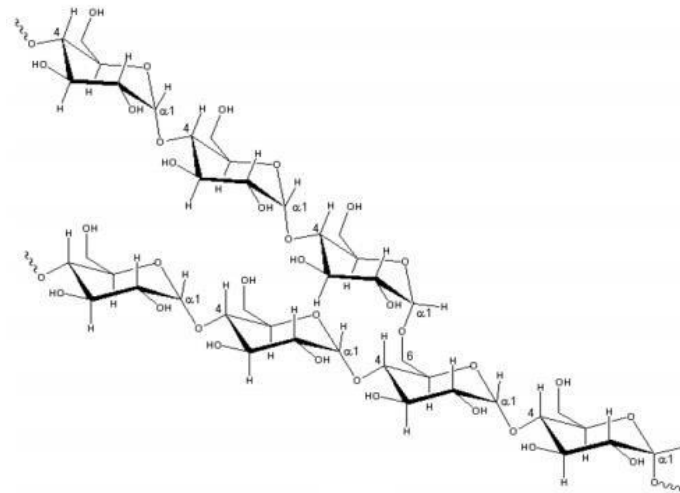
O amido é um polissacarídeo presente naturalmente em raízes, tubérculos, cereais, e pode estar sob a forma de reserva energética nos vegetais, e sua quantidade e composição dependerá da fonte botânica. Em escala industrial, o amido é utilizado para conferir estabilidade em emulsões, elaboração de produtos cárneos, panificação e na elaboração de materiais biodegradáveis (HE e THOMPSON, 2013).

O amido é a matéria-prima mais utilizada para a elaboração de embalagens biodegradáveis, quer seja sobre a sua forma modificada quimicamente ou natural (milho, inhame, batata, cereais, legumes, mandioca). O amido nativo apresenta em sua estrutura molecular dois polissacarídeos: amilose e amilopectina. A amilose (Figura 1) consiste em cadeias lineares com unidades de D-glicose unidas através de ligações  $\alpha$  (1-4). A amilopectina (Figura 2) também é formada por unidades de D-glicose unidas por ligações  $\alpha$  (1-4) e ramificações em  $\alpha$  (1-6) (YAMANI, 2010). A relação destes polissacarídeos varia de acordo com a fonte botânica utilizada para extração do amido.

**Figura 1:** Estrutura da amilose



Fonte: LAJOLO e MENEZES (2006)

**Figura 2:** Estrutura da amilopectina

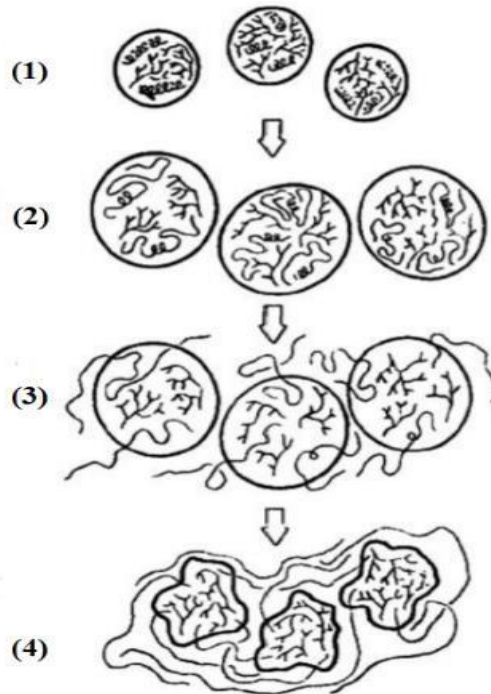
Fonte: LAJOLO & MENEZES (2006)

A amilose é a fração de maior interesse para a produção de materiais biodegradáveis utilizando amido, o alto valor deste componente melhora a qualidade do produto final. De caráter linear as moléculas se orientam paralelamente formando ligações de hidrogênio entre hidroxilas e polímeros adjacentes e por meio desta propriedade é possível obter filmes com boa propriedade mecânica e de barreira (MATTA JÚNIOR et al., 2015; LOBO e SILVA, 2003).

No grânulo de amido nativo a interação entre as moléculas de amilose e amilopectina propicia a formação de zonas de junção com densidades diferentes. Nas regiões onde está concentrada a amilopectina a região é mais densa ou cristalina, e a sua parte linear é responsável pela origem desta cristalinidade (LEOPOLDINO, 2017). A parte amorfa é formada por cadeias de amilose com ramificações de amilopectina.

Na Figura 3 é ilustrado o mecanismo de gelatinização do grânulo nativo de amido. Os grânulos de amido na presença de água sob aquecimento, promove desorganização das moléculas com diminuição da cristalinidade, inchamento dos grânulos e a amilose é difundida para fora do grânulo, resultando em grânulos compostos principalmente por amilopectina. Durante o aquecimento ocorre rompimento do grânulo e a amilopectina é mantida em uma matriz de amilose, nesta etapa é observado um aumento da viscosidade da solução, com a formação da pasta que é constituída por uma fase contínua de moléculas de amilose solubilizada e/ou de amilopectina, e outra fase composta de grânulos remanescentes (FENNEMA et al., 2000; LUCHESE et al., 2017).

**Figura 3:** Mecanismo de gelatinização do amido. (1) grânulos de amido nativo; (2) redução da cristalinidade; (3) inchamento dos grânulos de amido sob calor e água; (4) aumento da viscosidade da solução, formação do gel

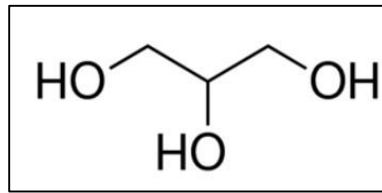


Fonte: LAI e KOKINI (1991)

### 2.3.2. Plastificante

Os agentes plastificantes são essenciais para a produção de plásticos biodegradáveis à base de amido. É uma molécula pequena, de baixa volatilidade e de natureza química similar à do polímero usado na constituição do bioplástico (AMALINI, 2018; SANTACRUZ, 2015), os mais indicados para a produção de bioplástico à base de amido são os polióis, tais como glicerol (figura 4).

Os plastificantes são adicionados para conferir flexibilidade, atua reduzindo as forças intermoleculares das cadeias poliméricas, aumentando a mobilidade da cadeia polimérica, diminuindo algumas discontinuidades e zonas quebradiças, conferindo uma menor temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ). A diminuição da temperatura de transição vítrea, resulta na transição de um estado de maior rigidez para um estado borrachento, de maior estabilidade mecânica (MALI et al, 2010).

**Figura 4:** Estrutura da molécula de glicerol

Fonte: SCHEIBE (2012)

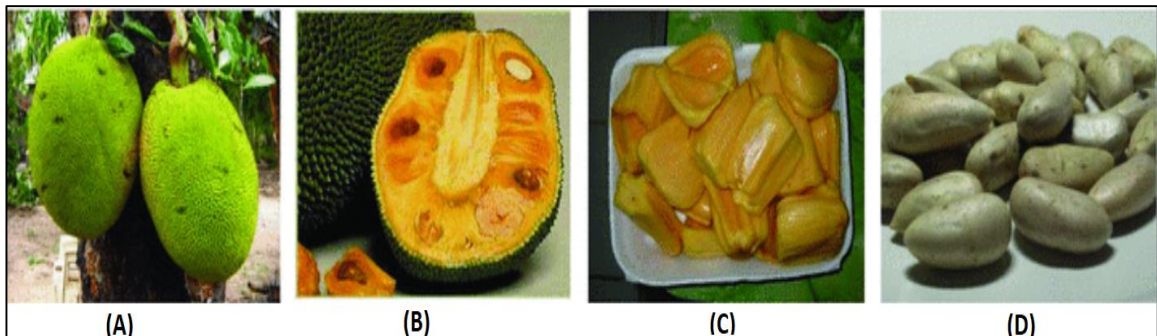
Em solução durante o processo de gelatinização, as moléculas de amilose e amilopectina são liberadas interagindo por ligações de hidrogênio, sem a utilização de plastificantes o filme seria constituído por uma fase rica em amilopectina e outra em amilose. Sem a adição de um agente plastificante as interações entre as moléculas de amilose e amilopectina podem ser fortes formando um material quebradiço e rígido.

O agente plastificante interrompe a formação da dupla hélice da amilose com fragmentos da amilopectina, como resultado final é conferido ao material maior flexibilidade (LIU et al., 2001). Porém, o agente plastificante pode influenciar negativamente na permeabilidade ao vapor de água dos materiais plásticos biodegradáveis, fator indesejável para matérias que serão destinados para embalagens de alimentos.

#### 2.4. Amido da semente de jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*)

A jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam*) é constituída em média de 100 a 500 sementes que variam por fruto, envolvidas por bagos, como é chamada a sua polpa de coloração amarela, aroma forte envolvidos por uma casa grossa (Figura 5). A polpa é consumida quase que inteiramente na forma *in natura*, e pode ser processada em doces, compotas, polpa de frutas, sucos, sorvetes. O processamento da jaca resulta na obtenção de diversos subprodutos, tais como cascas, mesocarpo, sementes, sendo possível o aproveitamento dos resíduos do fruto. Dos subprodutos, as sementes são submetidas a cocção, torradas ou assadas e consumidas, mas em sua maioria são descartadas (SILVA et al., 2007). As sementes da jaca possuem elevada quantidade de amido, valor semelhante as fontes tradicionais, podendo ser considerada como uma promissora fonte botânica para obtenção de amido pelas indústrias de alimento e farmacêutica (KITTIPONGPATANA e KITTIPONGPATANA, 2011; RENGSUTTHI e CHAROENREIN, 2011).

**Figura 5:** Diferentes partes de jaca: (A) jaca; (B) seção de corte de jaca; (C) bagos da jaca; (D) sementes de jaca



Fonte: SWAMI et al. (2012)

LUBIS et al. (2017); RETNOWATI et al. (2015); SANTOS et al. (2009) e SANTANA et al. (2017), desenvolveram filmes à base de amido de semente de jaca, variando nos ensaios a quantidade de amido e plastificante, os autores obtiveram materiais de qualidade semelhante aos produzidos com amido proveniente de fonte tradicional. Os autores relatam que o elevado teor de amilose presente neste tipo de amido o caracteriza como ideal para a elaboração de bioplásticos.

## 2.5. Óleo de palma (*Elaeis guineensis* Jaquim)

O óleo da palma (*Elaeis guineensis* Jaquim) ou óleo de dendê como popularmente é conhecido, é extraído de uma palmeira originária da costa oriental da África, típica de regiões tropicais e pertencente à família das Palmácea (ZAIDUL et al., 2006). Dos frutos da palma podem ser extraídos dois tipos de óleo, o óleo de palma e palmiste, obtidos da polpa (mesocarpo) e da amêndoa, respectivamente. O que difere estes óleos além da parte que é extraído, é a quantidade de ácido graxo presente. O óleo de palma possui elevado teor de ácido palmítico e o palmiste ácido oleico. A Figura 6 ilustra a planta, os frutos e o óleo de palma.

Para obtenção do óleo de palma, o cultivo do fruto necessita de pouca mecanização, e possui como uma das vantagens reduzido impacto ambiental. Devido ao seu baixo custo para obtenção, boa qualidade e aplicação nas mais diversas áreas o óleo de palma também é utilizado como matéria-prima nas indústrias de cosméticos, sabões, farmacêutica. Na indústria de alimentos é aplicado na produção de margarinas, óleo de cozinha, maioneses, produtos de panificação, entre outras (ALPTEKIN e CANAKCI, 2008).

Assim como outras fontes de gordura vegetal, possui ácidos graxos monoinsaturados em quantidade relativamente alta. Os ácidos graxos saturados e insaturados presentes no óleo de palma aparecem em proporções semelhante, sendo os principais e em maior quantidade o

palmítico ( $C_{16}$  44%), esteárico ( $C_{18}$  4,5%), oleico  $C_{18=1}$  41%) e linoleico ( $C_{18=2}$  9,5%) (ATADASHI et al., 2012; FATTORE et al., 2014). É caracterizado com uma fonte de beta caroteno, precursor da vitamina A. Em sua composição está presente os tocoferóis e tocotrienóis que atuam como antioxidantes, são considerados compostos minoritários e de importante interesse e relevância (CODEX, 2011).

Na produção de filmes biodegradáveis a adição de óleos pode atuar como substância hidrofóbica, melhorando a solubilidade e permeabilidade ao vapor de água, como relatado por TONGNUANCHAN et al. (2015).

**Figura 6:** Planta da palma, fruto e óleo extraído do fruto, respectivamente



Fonte: VIDAL (2016); ZANUNCIO (2011)

## 2.6. Bioplástico à base de amido e compostos hidrofóbicos

Materiais produzidos à base de amido apresentam desvantagens quanto a permeabilidade ao vapor de água e solubilidade, que podem limitar a sua utilização (AMALINI, 2018; CANO, 2014; JIMÉNEZ, 2013; JIMÉNEZ, 2012). A utilização de compostos hidrofóbicos para a produção de bioplásticos, pode conferir a melhoria destes fatores importantes para a preservação da qualidade dos alimentos, quando o material for destinado para embalagens de alimentos. A adição pode implicar na diminuição da permeabilidade ao vapor de água e solubilidade do material (LIMPISOPHON et al., 2010).

Compostos hidrofóbicos (lipídeos, gorduras) têm sido adicionado em bioplásticos à base de amido, a incorporação e bons resultados dependerá do tamanho das cadeias de ácido graxo, do estado físico, do grau de hidrofobicidade e dos demais componentes utilizados na produção do bioplástico. Os lipídeos podem ser adicionados a matriz polimérica sob a forma emulsionada, e são dispersos na matriz mediante a adição de um agente surfactante, uma molécula anfifílica composta por uma parte hidrofílica e outra parte hidrofóbica, utilizada para promover estabilidade entre a fase apolar constituída pelo lipídeo e a fase polar (ANDREUCCETTI et al., 2011; KOWALCZYK e BARANIAK, 2014).

Os agentes emulsionantes são sugeridos para auxiliar na incorporação de ácidos graxos na produção de filmes biodegradáveis, tais como lecitina de soja (ANDREUCETTI et al., 2011), Tween 40 (KOWALCZYK e BARANIAK, 2014), monoestearato de glicerol, Tween 60 e 80 (BRAVIN et al., 2004).

## 2.7. Bioplásticos ativos antioxidante

A embalagem ativa é definida como uma embalagem que tem a capacidade de absorver uma substância, a partir de um alimento ou liberar gradativamente para o alimento compostos, que retardarão processos de deterioração, preservando a qualidade do alimento durante o transporte, armazenamento e comercialização. As embalagens ativas com adição de agentes antioxidantes são uma alternativa promissora na área de conservação dos alimentos, afim de reduzir processos de oxidação que é umas das principais causas de deterioração de alimentos. (CARRIZO et al., 2016).

Tradicionalmente antioxidantes sintéticos fazem parte das formulações de alguns alimentos durante o processamento, com a finalidade de retardar processos oxidativo, perdas nutricionais. Estes compostos podem estar presentes nas embalagens, no entanto a migração destes antioxidantes para o produto acondicionado é algo que sempre será questionável, pois a depender da concentração do antioxidante utilizado, do tipo, pode representar risco à saúde.

As embalagens ativas antioxidantes existentes no mercado, são constituídas de materiais não biodegradáveis e antioxidantes sintéticos, como alternativa de minimizar a utilização de compostos sintéticos à formulação dos alimentos afim de conferir estabilidade química dos alimentos. A utilização de compostos antioxidantes naturais é uma alternativa interessante tendo em vista que a população, de maneira geral, entende que o natural é seguro, dentre os compostos naturais os carotenoides, ácidos orgânicos (ácido ascórbico), tocoferóis, extratos e óleos essenciais de ervas e especiarias são os mais empregados (BARBOSA-PEREIRA, 2013; DOPICO-GARCI, 2011).

Para que seja possível a utilização de compostos antioxidantes naturais a escolha correta é crucial. O composto deve ser compatível com o material que é produzido a embalagem, afim de obter uma distribuição homogênea por todo o material, para que o antioxidante seja liberado por todo o *headspace* da embalagem. Deve-se também levar em consideração a composição do alimento, pois determinará a eficácia do antioxidante.

A utilização da embalagem ativa tem como vantagem: a migração do agente antioxidante da matriz da embalagem para o alimento, sem necessidade de adicioná-lo durante



a etapa de produção ou mesmo adicionar em pouca quantidade; preservação da qualidade do alimento durante as etapas que antecedem o consumo, pois a liberação do agente antioxidante ocorre de maneira controlada prolongando a vida útil dos alimentos (SOUZA et al., 2012). Os filmes biodegradáveis incorporados com substâncias antioxidantes naturais representam elevado potencial para aplicação como embalagens para alimentos, tornando-se uma ferramenta tecnológica para retardar a deterioração dos alimentos (MARTINS, 2012).

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver bioplástico à base de amido de semente de jaca incorporado com óleo de palma.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Otimização do processo de produção do bioplástico utilizando diferentes concentrações de óleo de palma (fração insaturada), agente plastificante e surfactante;
- Caracterização do bioplástico quanto as propriedades mecânicas, solubilidade em água, permeabilidade ao vapor de água, cor e biodegradabilidade;
- Avaliar a estrutura do bioplástico, por meio da difração de raios-X;
- Avaliação da migração dos compostos que conferem atividade antioxidante ao bioplástico por meio da capacidade de remoção do DPPH<sup>•</sup>.

## 4. MATERIAL E MÉTODO

Os experimentos foram realizados na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, situada no Campus Juvino Oliveira na cidade de Itapetinga-Bahia, nos laboratórios de Engenharia de Processos, Laboratório de Embalagens e Projetos Agroindustriais, Laboratório de Propriedade Física dos Alimentos e Laboratório de Ensaio dos Materiais.

### 4.1. Aquisição da matéria prima

As jacas utilizadas para extração do amido foram adquiridas na cidade de Itabuna-Bahia, as sementes foram retiradas da polpa e congeladas até o momento da extração. O óleo de palma foi adquirido no município de Valença-Bahia.

### 4.2. Extração do amido da semente de jaca

As sementes de jaca foram lavadas com água corrente e imersas em solução de hidróxido de sódio a 6% (m/v) por 30 minutos, para facilitar a retirada da película que recobre a sementes. Logo após as sementes foram lavadas com água, e para neutralizar a alcalinidade residual as sementes foram imersas em solução de ácido cítrico a 3% (m/v). A extração do amido das sementes de jaca foi realizada segundo metodologia descrita por SCHOCH e MAYWAL (1968) com modificações propostas por SANTOS et al. 2009. As sementes foram trituradas em liquidificador com solução de bissulfito de sódio (0,2% (m/v)) (que atua inibindo o desenvolvimento microbiano e facilita a separação da proteína aderida nas sementes) até a obtenção de um resíduo fino.

A massa triturada foi prensada em tecido de algodão e a suspensão de amido foi mantida sob refrigeração em *over night* para decantação. Após este período a suspensão de amido foi centrifugada a 1618 x g por 10 minutos a 25 °C, a parte superior que apresenta uma coloração marrom foi descartada isolando apenas o amido. O amido foi seco em secador de bandeja com circulação de ar (Solab- SL102) a temperatura de 45 °C até peso constante, para obtenção do teor de umidade menor ou igual a 15%, para que o mesmo esteja de acordo com as especificações para ser designado como amido (BRASIL, 2005).

### 4.3. Composição centesimal do amido da semente de jaca

#### 4.3.1. Teor de umidade

O conteúdo de umidade foi determinado segundo metodologia sugerida pela AOAC (1997) nº 92510 105°C. Foi pesado 3g de amido e seco em estufa a 105 °C até peso constante, a análise foi realizada em triplicata.

#### 4.3.2. Determinação do teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas foi determinada pela técnica nº 92303, sugerida pela AOAC (1997). Foi pesado 3g da amostra de amido em cadinhos de porcelana, e incinerado a 550 °C por cerca de 6 horas, a análise foi realizada em triplicata.

#### 4.3.3. Proteínas

A quantificação da proteína residual foi determinada pelo método micro-Kjeldahl segundo a técnica nº 97804, sugerida pela AOAC (1997). Para a realização da metodologia amostra de amido foi digerida em bloco digestor a 400 °C sendo utilizada mistura catalítica para esta etapa, em seguida a amostra foi destilada com hidróxido de sódio e titulada com ácido clorídrico. O fator de correção utilizado foi de %N x 6,25.

(1)

$$Proteína (\%) = \frac{Fc \times V \times Fc1}{P}$$

Onde: P = massa da amostra em gramas; Fc = fator de correção da solução de ácido clorídrico; Fc1 = Fator de conversão de nitrogênio para proteína; V = volume da solução de ácido clorídrico gasto na titulação.

#### 4.3.4. Teor de lipídeos

O teor de lipídios foi determinado em um extrator de Soxhlet sob refluxo de 4 horas. Foi pesado 1g de amostra em cartuchos feito com papel filtro, o éter de petróleo foi utilizado como liquido extrator, após o período de extração, os cartuchos foram colocados em estufa de circulação forçada a 55 ° C durante 16 horas. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em estufa a 105 ° C por 3 horas, e então pesadas para obtenção do teor de lipídeos no amido (AACC, 1995).

#### 4.3.5. Determinação do teor de amido

O teor de amido foi determinado pelo método de Lane e Eynon (1934). Pesou-se 5g de amido, adicionou-se 50 ml de água destilada, 5 ml de ferrocianeto de potássio a 15% e 5 ml de solução de sulfato de zinco 30%, em um balão de 250 ml e o volume completado com água destilada. O líquido foi filtrado e o resíduo lavado com álcool etílico, e adicionados à 100 ml de água destilada, 10 ml de ácido clorídrico. Em seguida foi autoclavado a temperatura de 115 °C por 20 minutos. Após resfriar a amostra foi neutralizada com hidróxido de sódio 40% com auxílio de um pHmetro. Após a neutralização, a solução foi transferida para um balão volumétrico de 250 mL e o volume completado com água destilada. Em seguida foi realizada a titulação de açúcares por Lane-Eynon utilizando solução de Felhing A e B. O teor de amido foi determinado utilizando a Equação 2.

(2)

$$\% \text{ de amido} = \frac{250 \times TL \times 90}{\text{Volume gasto} \times PA}$$

Onde:

250 mL é o volume total da diluição da solução de amido a ser titulada; TL é o fator de correção para soluções A e B; 90 é o fator que transforma açúcares redutores em amido; - Volume gasto na titulação em mL; PA é o peso da amostra de amido usada.

#### 4.3.6. Determinação do teor de amilose aparente

Para determinar o teor de amilose foi utilizado o método colorimétrico do iodo simplificado de acordo com a metodologia proposta por MARTINEZ e CUEVAS (1989). Quando a amilose em contato com iodo forma um complexo colorido, esta metodologia é baseada na transmissão de luz através do complexo formado e a sua detecção é realizada por meio de leitura da absorbância. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro (UV-Vis Quimis - Brasil) na região do visível a um comprimento de onda de 610 nm. O teor de amilose do amido foi obtido utilizando curva analítica construída com amilose de batata.

#### 4.4. Preparo do bioplástico à base de amido de jaca

O bioplástico foi produzido de acordo metodologia descrita por VICENTINI (2003) com modificações, aplicando a técnica de *casting*, que consiste na desidratação de uma suspensão filmogênica em suporte. Para a avaliação da produção dos bioplásticos foi

empregado um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) simétrico e de segunda ordem, constituído de um fatorial  $2^3$ , com 8 ensaios, 4 pontos centrais e 6 pontos axiais, totalizando 18 experimentos. Foi utilizado amido extraído da semente de jaca, óleo de palma, agente plastificante (glicerol PA), água destilada e emulsificante Tween 80 nas concentrações descritas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Planejamento experimental para a produção do bioplástico de amido de semente de jaca.

Delineamento			Óleo de palma (%) Plastificante (%) Emulsificante (%)		
-1	-1	-1	5	35	0,7
1	-1	-1	11	35	0,7
-1	1	-1	5	45	0,7
1	1	-1	11	45	0,7
-1	-1	1	5	35	1,1
1	-1	1	11	35	1,1
-1	1	1	5	45	1,1
1	1	1	11	45	1,1
-1,68	0	0	2,96	40	0,9
1,68	0	0	13,04	40	0,9
0	-1,68	0	8	31,6	0,9
0	1,68	0	8	48,4	0,9
0	0	-1,68	8	40	0,564
0	0	1,68	8	40	1,24
0	0	0	8	40	0,9
0	0	0	8	40	0,9
0	0	0	8	40	0,9
0	0	0	8	40	0,9

Para a produção dos bioplásticos foram utilizados, 200 ml de solução de amido de semente de jaca foi submetido a aquecimento até atingir a temperatura de 95 °C e logo após foi adicionado o agente plastificante glicerol. O óleo de palma foi centrifugado a 2558 x g por 10 minutos a temperatura de 21 °C para obtenção da fração líquida. Esta fração foi utilizada na produção de bioplásticos. Para a incorporação do óleo de palma foi utilizado agente emulsificante Tween 80 para dispersão uniforme dos glóbulos de gordura na solução

filmogênica. Utilizando agitador ultra turrax, Tween 80 e óleo de palma (nas concentrações descritas na Tabela 1) foram misturados a 9000 rpm durante 4 minutos. Após resfriamento da solução de amido até  $\pm 35$  °C, a mistura prévia de Tween 80 e óleo palma, foi adicionado na solução filmogênica, e para melhor dispersão e encapsulação da fase lipídica, a solução foi emulsionada em ultra turrax a 9000 rpm durante 5 minutos.

Em seguida a solução foi vertida em placas de vidro e submetidas a secagem em estufa de circulação de ar (Solab- SL102 - Brasil) a temperatura de 45 °C por 22 horas. Após este período os bioplásticos foram mantidos em temperatura ambiente durante 24 horas para facilitar a remoção sem danificá-los. Retirado das placas, foram armazenados em dessecadores ao abrigo da luz contendo solução saturada de brometo de sódio (NaBr - umidade relativa de 58%), e foram mantidos por 48 horas até o momento das análises de caracterização do bioplástico.

#### 4.5. Análise das características dos bioplásticos

##### 4.5.1. Propriedades ópticas

A determinação da cor dos bioplásticos foi realizada utilizando colorímetro ColorQuest XE – Hunter Lab – USA, o iluminante utilizado como padrão foi o D65 com ângulo de observador de 10 °. O equipamento foi calibrado com padrão preto e branco e o sistema utilizado foi da CIELAB, neste sistema L\* corresponde a luminosidade com valores variando de 0 (branco) a 100 (preto) e as coordenadas de cores são representadas por a\* (eixo verde – vermelho) e b\* (eixo azul – amarelo). Dos tratamentos foram recortadas em duplicata amostras intactas e uniforme nas dimensões 4,5 cm x 5 cm, tamanho suficiente para acoplar as amostras no equipamento para a incidência do feixe de luz na superfície. Este feixe de luz é transmitido e captado por um sensor do equipamento, sendo possível medir a intensidade em vários comprimentos de onda. Cada amostra foi avaliada em duplicata alternado entre diferentes pontos do bioplástico sendo o resultado o valor médio.

##### 4.5.2. Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo metodologia proposta por GONTARD et al. (1992), com modificações. Foram pesados aproximadamente 1g dos bioplásticos e colocados em estufa a 105 °C por 24 horas para determinação da massa inicial. Após este período as amostras foram colocadas em erlenmeyer contendo 50 ml de água destilada, submetidas a agitação em agitador shaker a 175 rpm durante 24 horas sob temperatura controlada de 25 °C. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 4677 x g por 10 minutos para obtenção de

quaisquer partes da amostra que possa ter sido desintegrada e ficado em suspensão no líquido. Logo após este procedimento, a massa final das amostras foi determinada na mesma condição para determinar a massa inicial. A solubilidade em água foi expressa em porcentagem de material solubilizado, calculada a partir dos resultados em triplicata, aplicando a Equação 3.

(3)

$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{Massa inicial} - \text{massa final}}{\text{Massa inicial}} \times 100$$

#### 4.5.3. Permeabilidade ao vapor de água

Determinou-se a permeabilidade gravimetricamente segundo teste da ASTM (1995), com modificações realizadas por GONTARD et al. (1992). Amostras de 4,5 cm de diâmetro do bioplástico foram fixadas na abertura de um recipiente contendo sílica gel, de tal modo que a passagem de vapor de água fosse conduzida apenas através do bioplástico. Os recipientes foram acondicionados em dessecador contendo água destilada (UR = 100%;  $0,4297 \times 10^4$  Pa;  $\pm 25$  °C) para manter a umidade relativa em torno 53%. Desta forma, a transferência de vapor de água através da área da amostra foi medida pelo ganho de massa do recipiente contendo sílica gel em função do tempo, avaliado durante sete dias consecutivos. O valor de permeabilidade ao vapor de água (PVA) foi calculada pela Equação 4.

(4)

$$PVA = \frac{G \times e}{T \times A (P1 - P2)}$$

Onde:

PVA: permeabilidade ao vapor de água ( $\text{gm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{Pa}^{-1}$ ); G: ganho de massa (g) da célula durante 24 horas; e: espessura (m) média do filme; A: área ( $\text{m}^2$ ) de permeação do filme; T é o tempo (s); P1 - P2: gradiente de pressão (Pa) de vapor entre as superfícies do filme. As análises foram realizadas em triplicata.

#### 4.5.4. Biodegradabilidade

A avaliação da biodegradabilidade dos bioplásticos foi realizada por meio da perda de massa, em duplicata. Amostras de 4  $\text{cm}^2$  foram recortadas, pesadas e enterradas a 15 cm de profundidade em recipiente com solo. A análise decorreu durante 90 dias e a cada mês as amostras foram retiradas do solo, lavadas com água destilada, secas em estufa a 50 °C por 24h,



e em seguida acondicionadas em dessecador por 24h, após estes procedimentos as amostras foram novamente enterradas (CHANDRA e RUSTGI, 1997).

#### 4.5.5. Espessura

A espessura dos bioplásticos, foi determinada utilizando um micrómetro digital (Kit B da Pantec). Dez pontos aleatórios ao redor dos bioplásticos foram medidos para determinação da espessura

#### 4.5.6. Propriedades mecânicas

Por meio do ensaio de tração (Figura 7) em uma máquina de ensaios (CT3, Brookfield, USA), com célula de carga de 25 kg, acoplado com garra TA-DAGA Grip Assembly, segundo metodologia descrita por ASTM (1995) com modificações, foi possível avaliar as propriedades mecânicas do bioplástico. Para a realização do ensaio, foram recortados corpo de prova (Figura 8) com formato recomendado pela norma ASTM, 1995 específico para testes em filmes poliméricos, sendo as dimensões ajustadas ao equipamento.

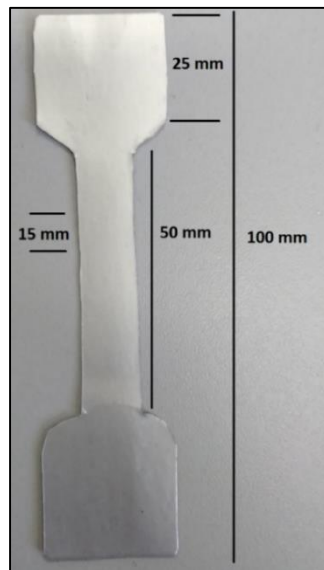
As dimensões utilizadas foram de 100 mm de comprimento e 25 mm de largura nas extremidades e a área útil correspondente da realização do teste 50 mm de comprimento e 15 mm de largura, foram analisados 5 corpos de prova para cada tratamento. Os corpos de prova foram tracionados a uma velocidade constante de 0,5 mm/s até 100% de deformação resultando em sua ruptura. A partir dos dados obtidos por meio do ensaio de tração foi possível obter valores dos parâmetros módulo de Young, Força máxima (N), Força de ruptura (Mpa) e Deformação (%).

**Figura 7:** Ensaio de tração do bioplástico



**Fonte:** O autor

**Figura 8:** Dimensões do corpo de prova para realização do teste de tração



**Fonte:** O autor

#### 4.5.7. Difração raios x - DRX

Utilizando a técnica de difração de raios-X foi possível avaliar a estrutura dos bioplásticos quanto a sua cristalinidade. A análise foi conduzida em temperatura ambiente, com ângulo  $2\theta$  de (5 a 60)° a uma velocidade de 4°/min, utilizando um difratômetro de raios-X D2 Phaser (Bruker), operando com voltagem de 30 kV e corrente de 10 mA, tendo como fonte de raios-X um tubo com ânodo de cobre (Cu -  $K\alpha$  1,54 Å).

#### 4.5.8. Avaliação da migração de compostos antioxidantes dos bioplásticos

A avaliação da migração dos compostos que conferem a atividade antioxidante foi determinada por meio do método de análise do poder anti radicalar do DPPH• (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) segundo adaptação de RUFINO et al. (2007). Amostras de 6 cm por 3 cm dos bioplásticos foram recortados e colocadas em 10 ml de ácido acético 3% e em 10 ml de n-heptano, as amostras foram acondicionadas em estufa a temperatura de  $\pm 40$  °C e armazenadas por 10 dias.

Em ambiente com baixa iluminação foi transferido para tubos 100  $\mu$ l das soluções das quais os bioplásticos estavam imersos e adicionou-se 3900  $\mu$ l da solução do radical DPPH• (0,06 mM), os tubos foram agitados e após 30 minutos em repouso ao abrigo da luz, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (UV-Vis Quimis - Brasil) a 515 nm. O álcool etílico

reagente utilizado para preparar a solução de DPPH•, foi utilizado como branco para calibrar o equipamento. No primeiro dia de análise a cada 1h:30min alíquotas foram retiradas para realização do ensaio com DPPH•, e ao longo do tempo, a cada 48h o ensaio foi novamente realizado até que completassem 10 dias de análise.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização do amido da semente de jaca

Dados da composição centesimal do amido extraído da semente de jaca estão descritos na Tabela 2. A umidade para o amido utilizado neste estudo foi de 10,56%, a Legislação Brasileira estabelece para amidos comerciais até 13% de umidade (BRASIL, 2005). O teor de umidade no amido necessita de controle por se tratar de um parâmetro de qualidade, evitando o desenvolvimento de microrganismos e conferindo maior estabilidade do produto.

**Tabela 2:** Composição do amido da semente de jaca

<b>Constituintes</b>	<b>Concentração (%)</b>
Umidade	10,56 ± 0,10
Cinzas	0,32 ± 0,04
Lipídeos	0,08 ± 0,01
Proteína	0,71 ± 0,01
Amido	83,18 ± 0,64
Amilose	30,26 ± 0,08
Amilopectina	52,92 ± 0,08

O valor de cinzas quantificado foi de 0,32%, valor este dentro do preconizado pela legislação que é de até 0,5% (BRASIL, 2005), e maior que o valor encontrado por RENGSUTTHI e CHAROENREIN (2011) que foi de 0,04%, o autor avaliou as propriedades físico-químicas do amido da semente de jaca, para aplicação como estabilizante e espessante de molho de pimenta. O teor de cinzas está relacionado com características intrínsecas das sementes de jaca, a quantidade pode variar de acordo com a fonte botânica. Valor acima do preconizado pode indicar falhas nas etapas de obtenção do amido, tais com lavagem e descascamento. O tipo de solo e as condições climáticas no período de colheita da jaca também estão relacionados com os diferentes valores que podem ser quantificados.

O teor de proteína foi de 0,71%, valor superior ao encontrado por ALBUQUERQUE (2011) que foi de 0,62%, o objetivo do autor foi a extração do amido da semente de jaca, para avaliar as características estruturais e propriedades funcionais do amido. As proteínas exercem pouca influência nas propriedades tecnológicas do amido (HOOVER, 2001). Porém, em concentrações elevadas (acima de 1%), pode provocar retardo na hidratação do grânulo de

amido, acarretando uma menor velocidade para desenvolvimento da viscosidade da solução (FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2015).

Dentre as frações dos componentes citados, a quantidade de lipídeos é a mais importante, podendo estar associado ao grânulo de amido internamente, complexado com amilose ou aderido aos grupos hidroxilas da amilopectina. Os lipídeos podem exercer influência sobre a gelatinização e retrogradação do amido. Lipídeos, proteínas e cinzas fazem parte da composição do amido da semente de jaca em pequenas quantidades, quanto menor for a quantidade melhor será a qualidade do amido.

Neste estudo a quantidade de amido quantificado nas sementes de jaca da variedade dura foi de 83,18%, esse valor está de acordo com o preconizado pela Legislação Brasileira que determina mínimo de 80% para o produto ser designado como amido (BRASIL, 2005). Além das características intrínsecas e variações durante o cultivo, tipo de solo, condições climáticas, o método de extração e os tipos de reagentes utilizados também podem interferir para uma variação na quantificação do teor de amido.

A proporção de amilose e amilopectina exerce grande influência nas propriedades tecnológicas do amido, interferindo na viscosidade e gelatinização. Quando solubilizada em água a amilose confere alto valor de viscosidade devido a sua conformação linear e com poucas ramificações. As proporções de amilose aparente e amilopectina neste estudo foram de 30,26% e 52,92% respectivamente. O elevado teor de amilose aparente observado foi o que tornou o amido obtido neste estudo adequado para a produção do bioplástico. A amilose quando em solução tende a formar ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes, deste modo a afinidade do polímero pela água é reduzido. A quantidade de amilose é um importante componente para a produção de bioplásticos, pois está relacionado as propriedades químicas, físicas e funcionais do amido para a formação de géis, pastas opacas e filmes resistentes (SHIMAZU et al., 2007).

## 5.2. Caracterização dos bioplásticos de amido da semente de jaca

Os bioplásticos produzidos com amido de semente de jaca e óleo de palma, apresentaram características distintas em resposta a variações nas concentrações de óleo, plastificante e emulsificante utilizados para sua produção. Após a secagem, foram obtidos bioplásticos uniformes e sem rachaduras visualmente.

### 5.3. Solubilidade

Após o período de 24 horas sob agitação, os bioplásticos mantiveram-se inteiros e íntegros. O mesmo foi observado em trabalhos realizados por MATA JUNIOR et al. (2011) avaliando a solubilidade de biopolímero a base de amido de ervilha e goma xantana, e PETRIKOSKI (2011) na avaliação da solubilidade de biofilmes de fécula de mandioca.

A solubilidade dos bioplásticos pode ser correlacionada a estrutura, interações e características de hidrofiliicidade e hidrofobicidade entre os componentes. A determinação da solubilidade dos bioplásticos é importante para direcionar para qual tipo de alimento o material pode ser utilizado como embalagem. O ideal é que a interação entre a água do produto e o meio externo seja a menor possível (CARPINÉ, 2015).

Por meio da análise de regressão verificou-se que a quantidade de plastificante, óleo e emulsificante exerceram influência na solubilidade dos materiais. A Equação (5) foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais. A solubilidade dos bioplásticos está ilustrada nas Figuras 9 e 10.

(5)

$$\text{Solubilidade: } -2,14334 + 8,58635X_1 - 0,09578X_1 * X_2 - 4,94000X_1 * X_3 + 0,84888X_2 * X_3$$

$$R^2 = 0,65$$

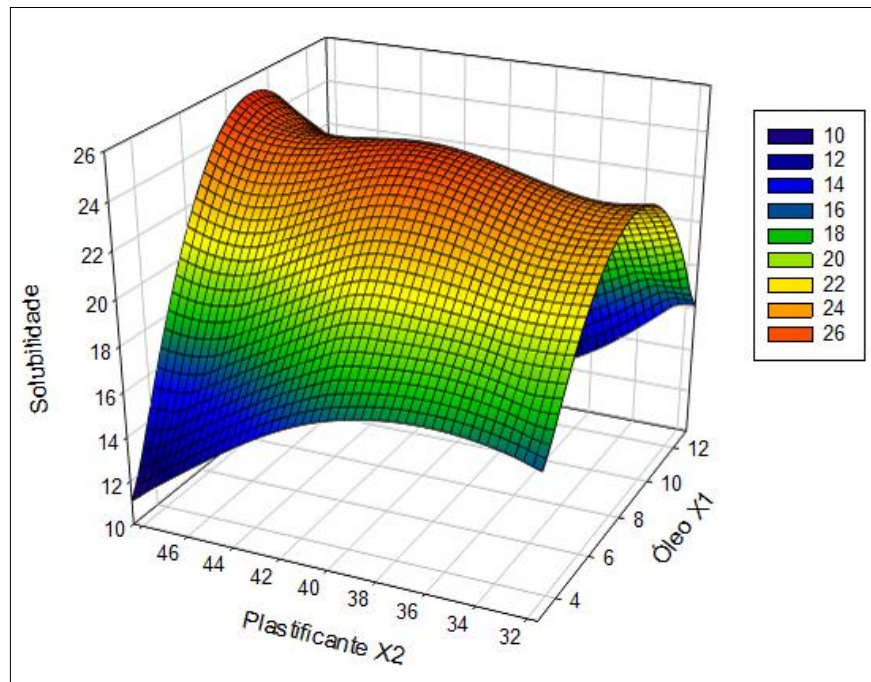
Onde:

$X_1$  = Óleo de palma

$X_2$  = Plastificante

$X_3$  = Emulsificante

**Figura 9:** Solubilidade dos bioplásticos em função da concentração de plastificante e óleo de palma

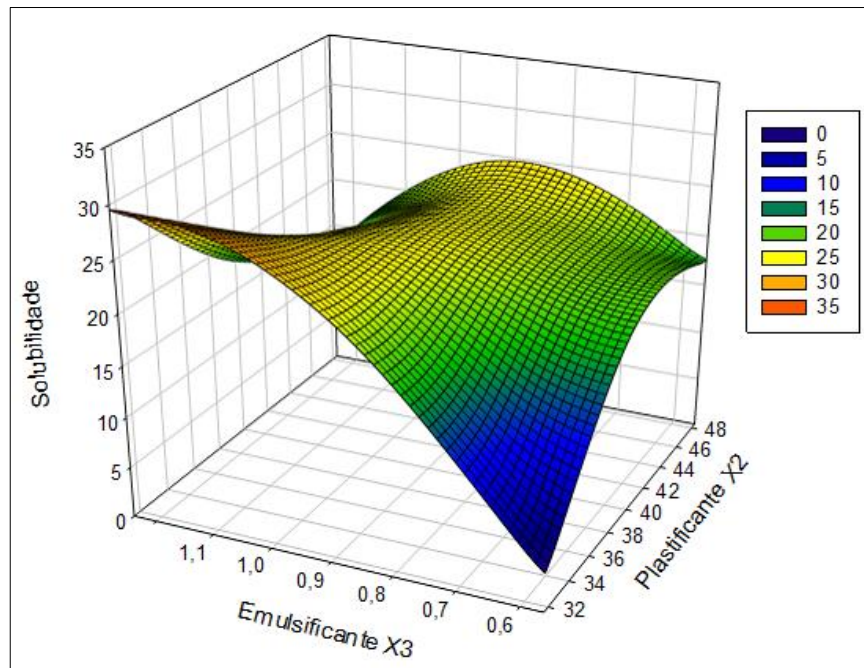


A solubilidade em água dos bioplástico, dentre as formulações estudadas encontrou-se entre os valores de 11,89 a 29,44%. Observou-se que, a maior quantidade de óleo (13,04%) e 40% de plastificante, conferiu redução na solubilidade do bioplástico.

A incorporação de lipídeos a solução filmogênica tende a diminuir a interação amilose/amilose que são fundamentais a formação das zonas de junção e consequentemente a formação do bioplástico. Descontinuidade das interações amilose/amilose indicam maior presença de hidroxilas livres para interagir com a água o que pode resultar em um maior valor para solubilidade. Por outro lado, a adição de lipídeo a matriz introduz uma componente que não é favorável a interação com a água devido aos efeitos hidrofóbicos. Assim, a introdução de lipídeos introduz dois efeitos antagônicos com relação a interação com a água e consequentemente com a solubilidade. Neste estudo, até 8% de óleo de palma adicionado à solução filmogênica, não é o suficiente para compensar a abertura da matriz polimérica resultando em maior valor de solubilidade, e para valores acima de 8% a abertura da matriz polimérica é compensando pelo efeito hidrofóbico do óleo.

Para bioplásticos produzidos a base de carboidratos, a literatura relata que os valores para solubilidade podem variar de 3,9% até 73%, estes valores variam de acordo com a quantidade de amido e agente plastificante utilizados (LÓPEZ e GARCÍA, 2012; TONGDEESOONTORN et al., 2011).

**Figura 10:** Solubilidade dos bioplásticos em função da concentração de emulsificante e plastificante



A incorporação de lipídeos na matriz polimérica pode aumentar a hidrofobicidade do bioplástico (CARPINÉ, 2015). O esperado para os bioplásticos incorporados com óleo de palma é que a sua solubilidade seja reduzida devido à natureza hidrofóbica do lipídeo (ZAHEDI et al., 2010; BAHRAM et al., 2014). CHIUMARELLI e HUBINGER (2014) em seu experimento utilizando amido de mandioca, e os componentes hidrofóbicos ácido esteárico e cera de carnaúba teve como resultado a diminuição da solubilidade dos filmes biodegradáveis.

Neste estudo foi observado, que a quantidade de emulsificante influenciou em maiores valores de solubilidade, efeito observado em baixas concentrações de plastificante. Nos compostos emulsionantes anfifílicos, não iônico, característica do Tween 80 utilizado neste estudo, os grupos polares não carregados estão presente em maior quantidade do que a parte apolar. Durante o processo de gelatinização do amido, a amilose que possui uma estrutura helicoidal tende a interagir com a cadeia lipofílica do emulsificante formando um complexo amilose-emulsificante. Esta parte não apresenta capacidade de formar zonas de junção o que resulta em uma maior abertura da matriz polimérica, propiciando maior interação com a água, e como consequência tem-se um maior valor para solubilidade.

Outro fator que pode resultar em maiores valores para a solubilidade, é a redução da tensão superficial da solução, devido uma maior quantidade de agente emulsionante. É provável a formação de micelas, que são moléculas anfipáticas que possuem porções hidrofílicas



posicionadas para a parte externa da molécula, resulte em uma maior interação com água (DE GUSMÃO et al., 2010; RUFINO et al., 2011).

#### 5.4. Espessura

Os valores para espessura dos bioplásticos observados foi de 0,051 a 0,113 mm. Para a elaboração, o volume da solução filmogênica foi fixado em 200 ml, dispersa em placa de vidro para manter a uniformidade. Porém, os bioplásticos produzidos apresentaram variações nas espessuras, dentre as formulações testadas.

Observou-se um modelo quadrático para a espessura, e a quantidade de emulsificante e óleo de palma foram os componentes que influenciaram para este parâmetro. O aumento do valor da espessura foi observado para as concentrações de 0,9% de emulsificante e 11% de óleo de palma. A Figura 11 ilustra o comportamento da espessura, e a equação 6 apresenta o modelo estatístico para as formulações testadas.

(6)

$$\text{Espessura: } -0,00593 + 0,00057718X_1 + 0,00928X_3 - 0,00003594X_1^2 - 0,00490X_3^2$$

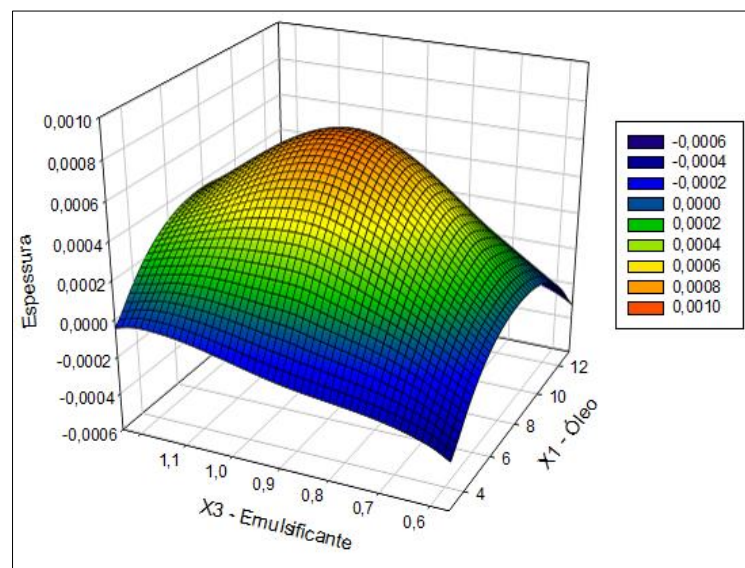
$$R^2 = 0,77$$

Onde:

$X_1$  = Óleo de palma

$X_3$  = Emulsificante

**Figura 11:** Espessura dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma



O aumento da espessura, foi o mesmo observado por OLIVEIRA et al. (2012), na elaboração de biofilmes de gelatina, com adição de emulsificante Tween 20 e ácidos graxos de óleo de coco. Neste estudo as concentrações de glicerol utilizada não teve influência na espessura dos bioplásticos. Além de ser uma molécula pequena, o fato do glicerol não interferir para os valores de espessura, pode indicar que o plastificante foi distribuído uniformemente por todo material (ARFAT et al., 2014).

De acordo com GARCIA et al. (2009), a espessura é dependente da composição do material, deste modo o emulsificante Tween 80, e o óleo de palma utilizados podem ter atribuído valores maiores para espessura, devido a sua estrutura molecular, distribuição não uniforme no material ou pouca interação com as cadeias de amido.

A espessura de bioplásticos deve ser mais homogênea possível, a utilização do material dependerá da sua finalidade, deve ser estabelecida de acordo com a finalidade de utilização do material, para alimentos dependerá do tipo de produto que será embalado (JIMÉNEZ et al., 2012).

## 5.5. Propriedades mecânicas

Ao analisar os resultados obtidos para a propriedade mecânica, observou-se que o emulsificante e o óleo de palma foram os componentes que influenciaram na força de ruptura, deformação, modulo de Young dos bioplásticos. O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais é importante para definir a aplicação, para atender os requisitos necessários. Em relação as propriedades mecânicas dos bioplásticos, o ideal é que sejam resistentes a ruptura e flexível para se adaptar as deformações que possam ser submetidos.

### 5.5.1. Força de ruptura

O modelo estatístico para a força de ruptura dos bioplásticos, é representado pela Equação 7 e a Figura 12 ilustra o comportamento para este parâmetro.

(7)

$$\text{Força de ruptura: } 7,5250 \times 10^{12} - 4,7450 \times 10^{11} X_1 - 1,1290 \times 10^{13} X_3 + 2,7755 \times 10^{10} X_1^2 + 5,900094 \times 10^{12} X_3^2$$

$$R^2 = 0,60$$

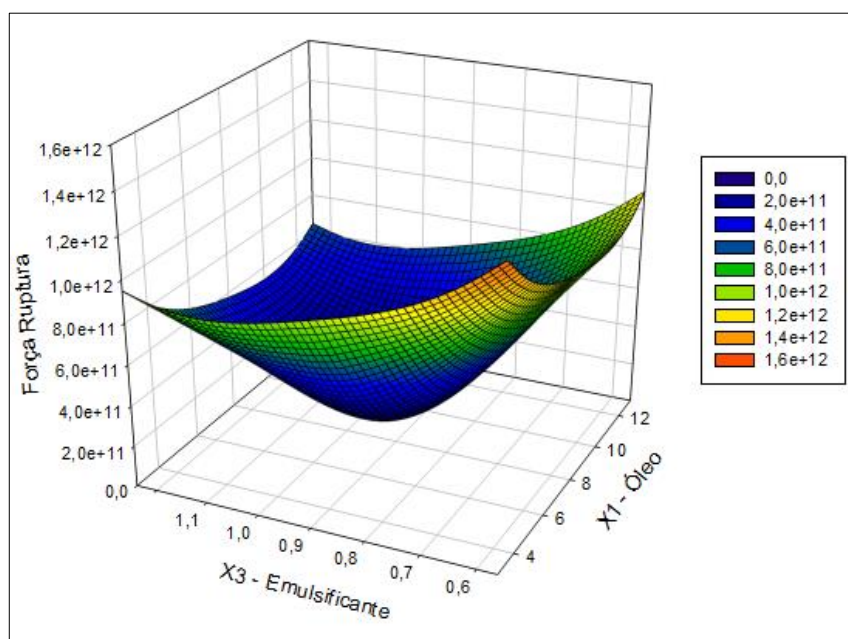
Onde:

$X_1$  = Óleo de palma

$X_3$  = Emulsificante

A força de ruptura dos bioplásticos apresentam diferenças dentre as formulações testadas, sob influência da quantidade de óleo e emulsificante. Os valores variaram de  $4,06 \times 10^9$  a  $1,27 \times 10^{12}$  N. Conforme pode ser observado na Figura 12, nas concentrações de 8% de óleo de palma e 0,9% de emulsificante, foi obtido o menor valor para força de ruptura.

**Figura 12:** Força de ruptura dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma



A adição de compostos hidrofóbicos na elaboração de filmes à base de amido, tem se tornado foco de estudos, as pesquisas se concentram principalmente para melhorar as propriedades de barreira ao vapor de água e solubilidade, uma vez que o ponto negativo destes materiais é o alto valor para estes parâmetros. A utilização de lipídeos, interfere negativamente para as propriedades mecânicas, quando comparado ao bioplásticos sem a adição de compostos de caráter hidrofóbico (YANG e PAULSON, 2000).

Na Figura 12 pode se observar um ponto de mínimo na concentração de 8% de óleo de palma. A redução do óleo de palma adicionado à matriz polimérica gera um aumento da força de ruptura do bioplástico, por restabelecer ligações de hidrogênio entre as moléculas de amilose descontinuadas pela presença de lipídeos. Para percentuais de óleo superior a 8% observa-se um aumento da força de ruptura indicando que as forças de natureza hidrofóbica também contribuem para a propriedade mecânica do bioplástico. Entretanto, em razão das ligações de

hidrogênio serem mais fortes que as hidrofóbicas, valores de baixa concentração de óleo requerem maior força para ruptura do bioplástico do que em altas concentrações de óleo.

MUSCAT et al. (2013) observaram redução do valor de tensão de ruptura, em filmes à base de amido de milho e ceras de carnaúba, candelilla e abelha. Segundo o autor a adição de lipídeos melhorou o caráter hidrofóbico dos materiais. Entretanto a utilização do emulsificante Tween 80 provocou encolhimentos dos filmes e reduziu a tensão de ruptura.

Para este estudo, o maior valor para força de ruptura do material, foi observada nas concentrações de 5% de óleo e 0,7% de emulsificante. De acordo com JIMÉNEZ et al. (2013), a utilização de compostos hidrofóbicos na formulação de filmes à base de amido, pode melhorar as propriedades mecânicas do material. Porém, para se ter bons resultados, não dependerá apenas da adição, pois não é tão simples a incorporação destes compostos na matriz polimérica. Deste modo, as propriedades mecânicas de bioplásticos à base de amido, é o resultado das diversas interações que podem ocorrer entre amido, lipídeo e demais componentes.

### 5.5.2. Módulo de Young

O modelo obtido para determinação do módulo de Young dos bioplásticos está representado pela Equação 8, e a Figura 13 mostra o comportamento dos bioplásticos com base nas concentrações de óleo e emulsificante, que influenciaram nos valores para o modulo de Young dos bioplásticos.

(8)

$$\text{Módulo de Young: } 313,0819 - 18,2880X_1 - 447,4990X_3 + 1,0706X_1^2 + 214,8630X_3^2$$

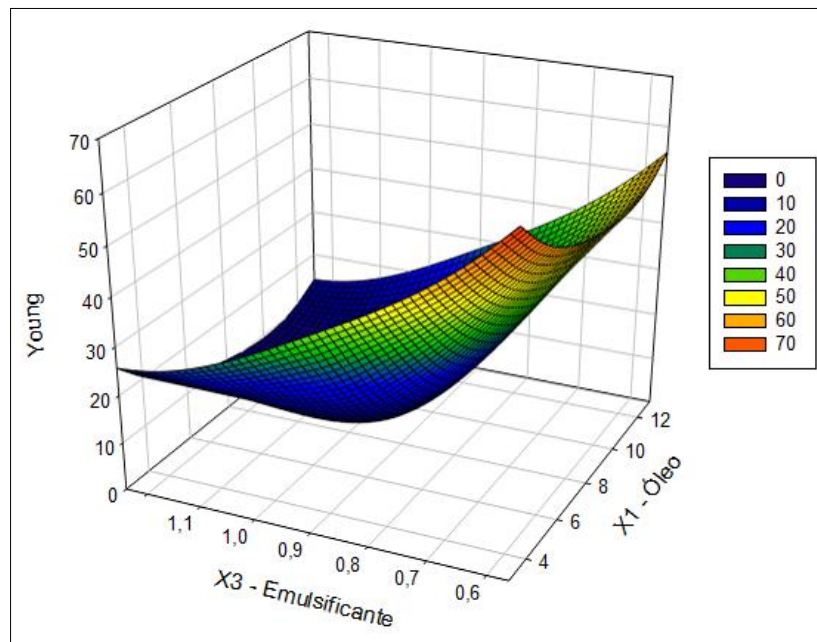
$$R^2 = 0,66$$

Onde:

$$X_1 = \text{Óleo de palma}$$

$$X_3 = \text{Emulsificante}$$

**Figura 13:** Módulo de Young dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma



Quanto maior a concentração de óleo de palma e menor concentração de emulsificante, maior foram os valores de módulo de Young, os valores variaram de 0,82 a 68,56 Mpa. O módulo de Young é um indicador da rigidez do material, para maiores valores, maior será a resistência do material a deformação plástica (SARANTÓPOULOS et al., 2002; SANTOS, 2015).

O módulo de elasticidade ou Young pode ser associado com a mobilidade das cadeias poliméricas e a composição estrutural do polímero. A incorporação de lipídeos a matriz polimérica, pode conferir efeito lubrificante, sugerindo um possível efeito plastificante conferido pelos compostos hidrofóbicos. Além disso, a incompatibilidade termodinâmica entre os componentes de produção do bioplástico, pode causar uma desestabilização da estrutura, interferindo para propriedades mecânicas reduzida, quando comparado a bioplásticos produzidos sem a adição de lipídeos (ARTHAM et al., 2007).

CHENG et al. (2008) estudou o efeito da incorporação de óleo de palma em filmes à base de glucomanani de konjac e Carboximetilcelulose, os autores obtiveram valores de elasticidade foram reduzidos. Segundo os autores, com a adição de óleo de palma, ocorreu efeito plastificante pela utilização de compostos hidrofóbicos em um meio hidrofílico, os glóbulos de gordura podem interromper as ligações intermoleculares de hidrogênio, o que leva a uma redução das propriedades mecânicas.

YANG E PAULSON (2000) estudaram o efeito da incorporação de lipídeos em filmes de gelatina, e a adição de várias concentrações (até 25 %) de cera de abelha ou de ácidos

esteárico: palmítico, os autores observaram que com a adição destes compostos as propriedades dos filmes reduziram significativamente, no entanto a utilização da cera de abelha não teve efeito significativo sobre as propriedades mecânicas. De acordo com os autores, diferentes efeitos nas propriedades mecânicas, dependerá das características dos ácidos graxos, neste caso, devido a diferença de polaridade, a cera de abelha utiliza pelos autores é extremamente hidrofílica, o que justificaria não interferir para menores propriedades reduzidas.

### 5.5.3. Deformação

No presente estudo o óleo de palma e emulsificante tiveram efeito significativo na deformação máxima do material. O modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados obtidos para a deformação dos bioplásticos está demonstrado na Equação 9.

Deformação ou deformação específica, é a definição para a variação da dimensão de um corpo quando submetido a um esforço (CALLISTER JÚNIOR, 2012). A deformação na ruptura está relacionada a deformação que o bioplástico suporta antes do rompimento do material, neste momento a tensão máxima é atingida.

(9)

Deformação na ruptura:  $-16662,57 + 480,21222X_1 + 31,68441X_3 - 29,62805X_1^2 + 0,29353X_3^2$

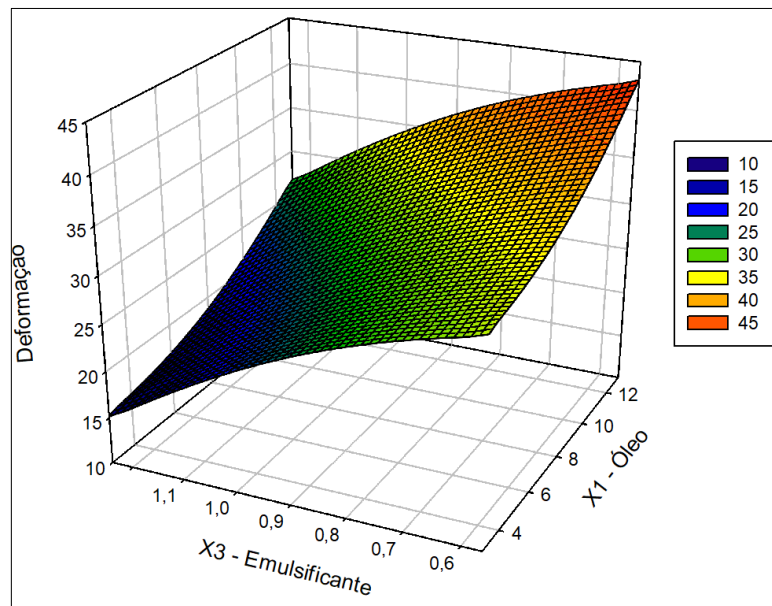
$$R^2 = 0,60$$

Onde:

$X_1$  = Óleo de palma

$X_3$  = Emulsificante

**Figura 14:** Deformação dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma



De acordo com a Figura 14 foi possível observar que a redução do emulsificante e aumento da concentração de óleo gerou aumento na deformação do bioplástico. O aumento da concentração de óleo diminui a rigidez da estrutura do bioplástico até o ponto da ruptura. O aumento da concentração de emulsificante propicia a formação do complexo emulsificante/amilose que apresenta maior rigidez que as ligações entre amilose/amilose, resultando em uma menor taxa de deformação do bioplástico.

A determinação da deformação é um parâmetro importante para embalagens para alimentos. O ideal é que o material seja flexível o suficiente para armazenagem, transporte, sem que ocorra rompimento. A partir da decisão para qual tipo de alimento o material será destinado, é que será definido se o mesmo deve ser mais rígido ou flexível.

## 5.6. Propriedades ópticas

Neste trabalho, a adição de óleo de palma que possui coloração amarela/alaranjada, conferiu ao bioplástico a coloração amarela. Por meio da análise de regressão os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  foram avaliados estatisticamente. A equação 10 representa o modelo estatístico para a cromaticidade  $b^*$ , a Figura 15 ilustra o comportamento desse parâmetro.

(10)

$$\text{Cromaticidade } b^*: -90,1664 + 3,5403X_2 + 47,5555X_3 - 0,03158X_2^2 - 1,1362X_2 \cdot X_3$$

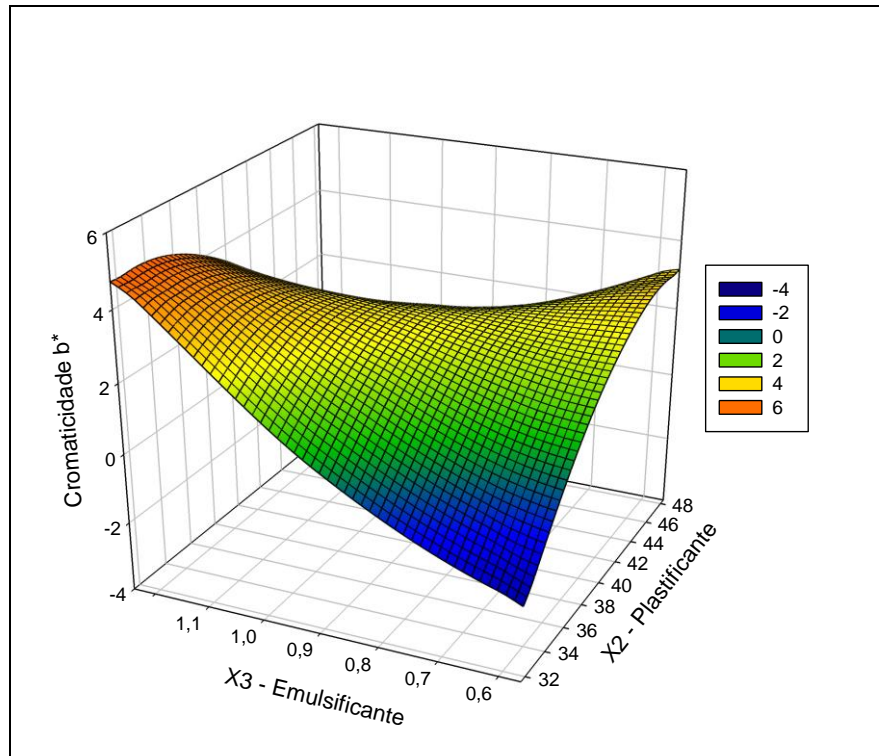
$$R^2 = 0,86$$

Onde:

$X_2$  = Plastificante

$X_3$  = Emulsificante

**Figura 15:** Cromaticidade  $b^*$  dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma



A cor é um parâmetro importante para a caracterização do bioplástico, sendo associada a material prima que é utilizada, também define para qual tipo de alimento poderá ser destinado. De acordo com SÁNCHEZ-GONZÁLEZ et al. (2010), o grau de transparência dos bioplásticos depende da estrutura interna do polímero. Quanto mais cadeias empacotadas a estrutura apresentar, mais opacos o material será, entretanto, uma estrutura mais aberta confere ao bioplásticos maior transparência.

Os valores de  $b^*$  representa as cores do amarelo (+  $b^*$ ) ao azul (-  $b^*$ ). O esperado neste estudo é que a concentração de óleo de palma, fosse responsável pela cor amarela dos bioplásticos, isto, devido a coloração amarela do óleo proveniente da presença de carotenoides. Entretanto, o emulsificante utilizado para incorporar o óleo a matriz polimérica pode ter provocado o encapsulamento e distribuição do óleo de palma. Por meio da análise de regressão e superfície de resposta o emulsificante apresentou efeito significativo sobre o croma  $b^*$  dos bioplásticos. Para maiores concentrações do emulsificante geraram mais valores de croma  $b^*$ .



As características e propriedades de bioplásticos depende, sobre tudo, da sua composição, da técnica utilizada, da afinidade entre os compostos utilizados, da distribuição dos componentes por todo material que pode ser ou não uniforme. RIGO (2006) na caracterização de filmes à base de amidos nativo e modificado com alginato de sódio, obteve valores positivos para o croma b\* (coloração amarela), para todos os filmes produzidos, no estudo o autor observou que a concentração do polissacarídeo e plastificante foram os componentes que influenciaram para a coloração dos filmes.

Os valores de a\* representa as cores do vermelho (+ a\*) ao verde (- a\*), por meio da análise de superfície de resposta, a Figura 16 ilustra o comportamento do croma a\* e a equação 11 representa o modelo estatístico.

(11)

Cromaticidade a\*:  $9,40079 - 0,38667X_2 - 3,54826X_3 + 0,00374 X_2^2 + 0,09209X_2 * X_3$

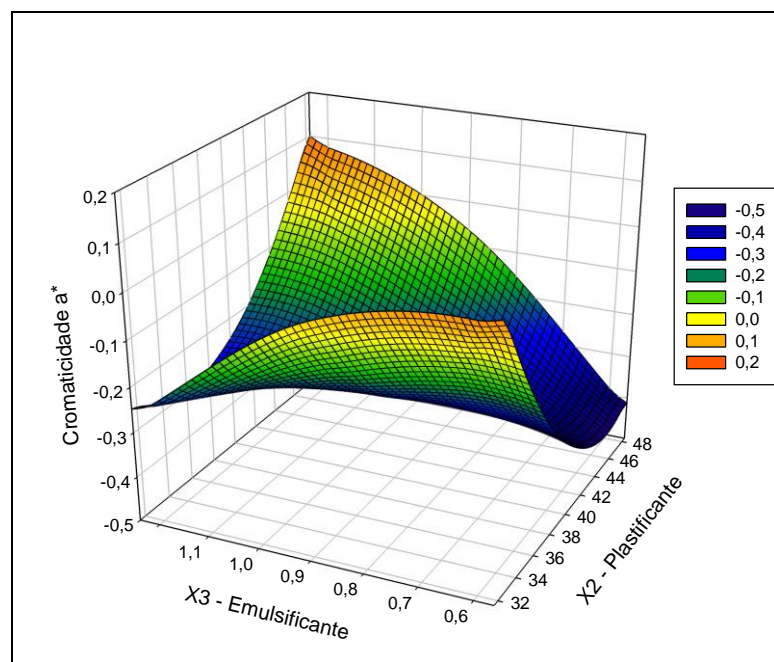
$R^2 = 0,77$

Onde:

$X_2$  = Plastificante

$X_3$  = Emulsificante

**Figura 16:** Cromaticidade a\* dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma

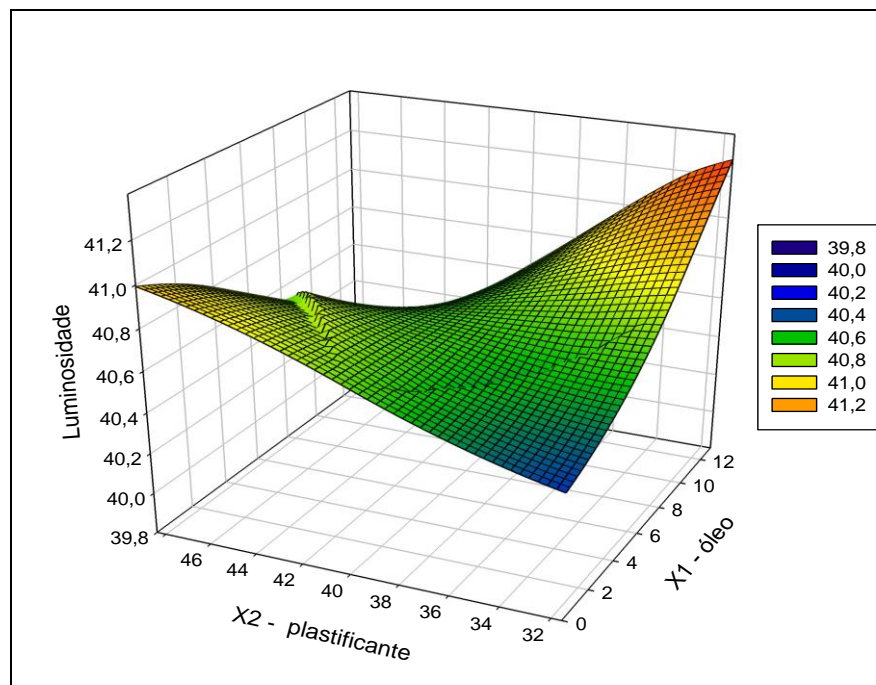


A cor predominante para o croma  $a^*$  dos bioplásticos de amido de semente de jaca, foi a coloração verde. Os valores obtidos foram baixo, próximos a zero. O gráfico ilustra que o croma  $a^*$  foi influenciado pela quantidade de emulsificante e plastificante, sendo que o emulsificante apresentou uma influência mais acentuada. A detecção da coloração verde pode ser atribuída, a pigmentos que podem ter sido gerados durante a secagem do bioplástico, degradação de compostos, resultando em um escurecimento do material.

O parâmetro  $L^*$  pode variar de 0 (branco) a 100 (preto), quanto maior for o valor de  $L^*$  menor será a coloração branca do material. A depender da aplicação, a diminuição da luminosidade é desejável visto que, alguns alimentos necessitam de embalagens com barreira a luz parcial ou total.

Por meio da análise de regressão foi possível observar que as concentrações de óleo de palma e plastificante tiveram efeito significativo ( $p < 0,05$ ) no bioplástico de amido de semente de jaca para a variável  $L^*$ . Os valores para luminosidade obtidos foram próximos, variando entre 40,32 e 41,12. A equação 12 representa o modelo estatístico para o parâmetro  $L^*$  e a Figura 17 o comportamento.

**Figura 17:** Luminosidade dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma



(12)

$$\text{Luminosidade: } 36,95109 + 0,56484X_1 + 0,09366X_2 - 0,01425X_1 * X_2$$

$$R^2 = 0,74$$

Onde:

$X_1$  = Óleo de palma

$X_2$  = Plastificante

A incorporação de lipídeos em bioplásticos à base de amido podem reduzir os valores de luminosidade do material. BOUTOOM e CHINNAN (2009) produziram filmes de amido de arroz e quitosana, obtiveram menores valores para  $L^*$ . Segundo o autor a distribuição das gotículas de lipídeos na matriz polimérica pode influenciar na transmissão de luz.

NAGARAJAN et al. (2013), relatam a redução do parâmetro  $L^*$  em filmes produzido com blendas de amido de mandioca e pectina e incorporados com lipídeos. De acordo com ambos autores, quando lipídeos e carboidratos estão presentes em um mesmo sistema, como resultado são produzidos filmes com maior opacidade e tonalidade amarelas.

### 5.7. Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos bioplástico variou de 0,0464 a 0,0953 (m.g/m<sup>2</sup> dia Pa). Dos componentes utilizados, apenas a quantidade de emulsificante apresentou efeito significativo na PVA ( $p < 0,10$ ) do material. Foi observado comportamento decrescente, a adição de emulsificante reduziu o valor para permeabilidade do bioplástico (Tabela 3). Este parâmetro é fundamental para estabelecer a aplicação da embalagem. Para determinados alimentos a utilização de embalagens com alta permeabilidade ao vapor de água não é ideal, a exemplo de alimentos desidratados. Entretanto, a alta permeabilidade é essencial para armazenar vegetais fresco. (DOBRUCKA, 2014).

Os valores observados para PVA podem ser considerados satisfatórios considerando a alta permeabilidade ao vapor de água de filmes biodegradáveis à base de amido.

**Tabela 3:** Modelo estimado e coeficiente de regressão para permeabilidade ao vapor de água (PVA).

Parâmetro	Modelo estimado	R <sup>2</sup>
PVA	$\hat{Y} = 0,10651 - 0,02759X_3$	0,79

Diversos fatores podem influenciar na permeabilidade ao vapor de água, tais como poros, rachaduras na matriz polimérica, a distribuição não homogênea dos compostos

adicionados para a produção, também pode influenciar na transferência de vapor de água através do bioplástico (CHEN; LAI, 2008).

O aumento da concentração do emulsificante promove uma melhor emulsificação dos lipídeos com uma maior dispersão deste, o que dificulta a formação de espaços vazios após a secagem do bioplástico e conseqüentemente gera a redução da PVA.

### 5.8. Avaliação da atividade antioxidante dos bioplásticos

O comportamento de liberação dos compostos antioxidantes, dos bioplásticos em diferentes simuladores de alimentos estão representados nas Figuras 18, 19 e 20. Os resultados obtidos mostram redução do radical DPPH nos bioplásticos ao longo dos 10 dias de análise, para diferentes concentrações de óleo de palma e simulantes utilizados.

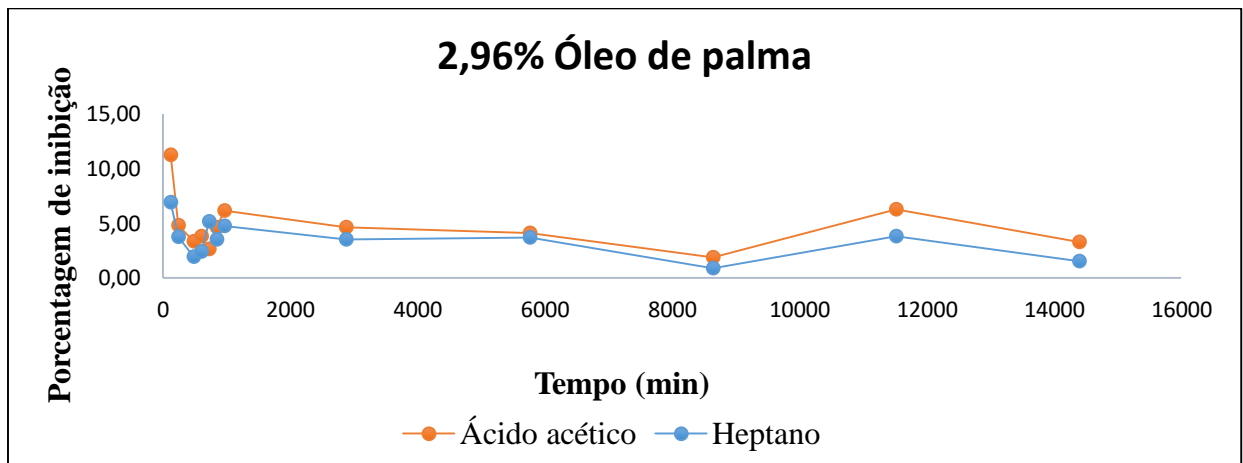
Para os bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma, os resultados mostraram que, a capacidade antioxidante determinada pelo método do radical DPPH não foi proporcional ao teor de óleo utilizado. Como resultado era esperado que a maior quantidade de óleo incorporado ao bioplástico apresentasse maior porcentagem de inibição. MORADI et al. (2012) avaliaram a atividade antioxidante de filmes de quitosana incorporado com óleo essencial de uma planta aromática medicinal asiática, observou que o aumento da concentração de óleo contribui para maior capacidade antioxidantes dos filmes.

Segundo o autor, os compostos fenólicos que fazem parte da composição das substâncias ativas utilizadas, são os responsáveis por conferir a atividade antioxidante, desde modo, quanto maior for a concentração do composto maior será a ação antioxidante. LÓPEZ DE DICASTILLO et al. (2012) incorporaram diferentes tipos de compostos antioxidantes em filme de etileno álcool vinílico (EVOH), após análise em diferentes simulantes para alimentos, obteve resultado satisfatório para à avaliação da atividade antioxidante dos filmes, os compostos utilizados migraram para as soluções.

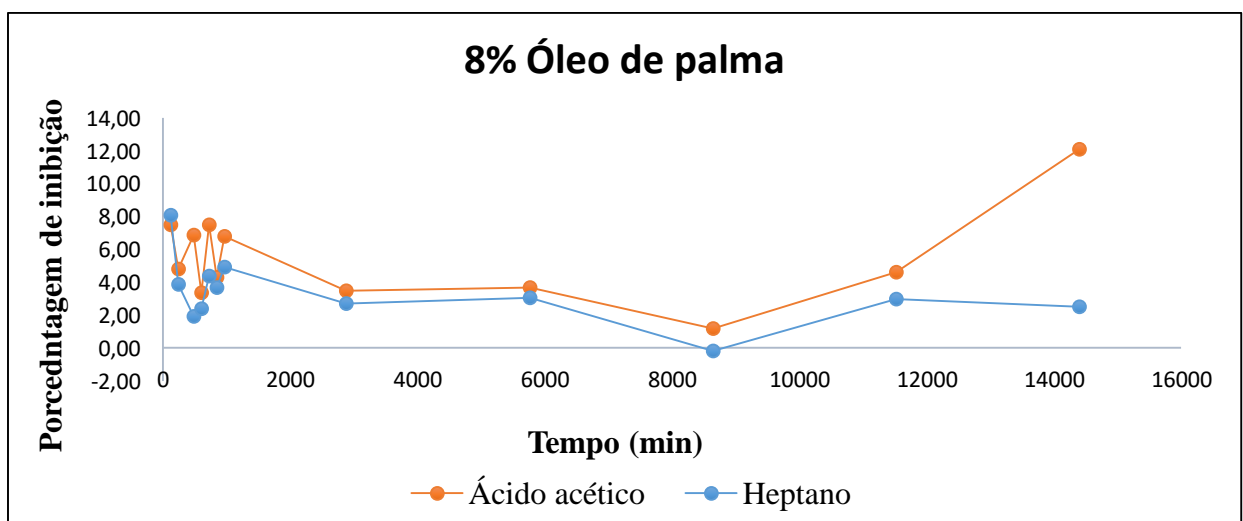
Neste estudo, para a avaliação da atividade antioxidante por meio do teste de migração, foram selecionados os tratamentos com maior e menor quantidade de óleo de palma adicionados, 13,04 e 2,96% respectivamente e 8% de óleo, a escolha deste último foi com base nos valores de solubilidade em água do bioplástico, que apresentou maior valor para este parâmetro. Em razão da maior solubilidade, o esperado é que a capacidade de liberação dos compostos no meio simulante fosse efetivo, devido a maior abertura da matriz polimérica.

Dos simulantes utilizados, o ácido acético apresentou maior porcentagem de inibição. A formulação com 8% de óleo apresentou 12% de inibição do radical DPPH, e a menor inibição foi observada no tratamento com 13,04% de óleo de palma, com 3%. Portanto, pode ser considerado que parte do óleo de palma, adicionado ao bioplástico afim de conferir a atividade antioxidante e que tem como característica a hidrofobicidade, continuou quimicamente ligada a matriz polimérica. Quando se trata de embalagens ativas, o ideal é que os compostos adicionados sejam liberados gradativamente para o alimento embalado. Desde modo, a baixa porcentagem de inibição não pode ser considerado um fator negativo, tendo em vista que durante todo o período de análise houve liberação gradativa do composto que está associado a atividade antioxidante.

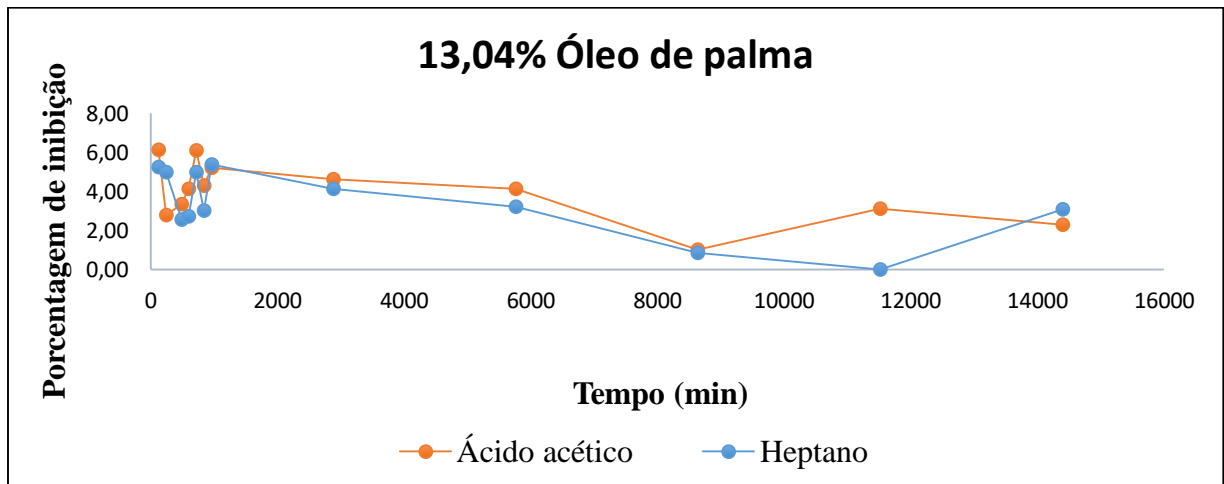
**Figura 18:** Porcentagem de inibição do radical DPPH para 2,96% óleo de palma adicionado no bioplástico



**Figura 19:** Porcentagem de inibição do radical DPPH para 8% óleo de palma adicionado no bioplástico



**Figura 20:** Porcentagem de inibição do radical DPPH para 13,04 % óleo de palma adicionado no bioplástico.



### 5.9. Biodegradabilidade

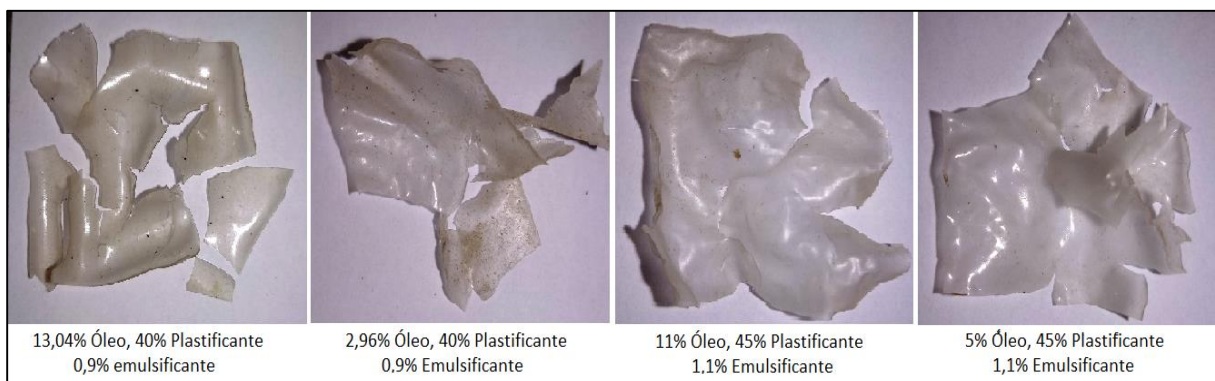
Para o estudo de biodegradabilidade dos bioplásticos, verificou-se que não houve diferença estatística significativa ( $p > 0,1$ ) entre as concentrações de óleo, plastificante e emulsificante utilizado. Por meio da análise de regressão, observou-se que os componentes não influenciaram para a perda de massa, porém a biodegradação não está associada apenas a composição do material, fatores abióticos também podem influenciar para este processo.

Após 90 dias de análise os bioplásticos apresentaram perda de massa entre 20,08% e 47,63%, dentre os tratamentos avaliados. Os bioplásticos à base de amido, são denominados como biodegradáveis, pois os microrganismos presentes no solo, são capazes de utilizar o amido como fonte de energia (MARAN et al., 2014).

Segundo CARISSIMI et al. (2018) a biodegradabilidade está relacionada com a solubilidade em água dos materiais, microrganismos presentes no solo, tais como bactérias, fungos, protozoários, e a composição do material que pode ser ou não de fácil assimilação e biodegradação. Neste estudo no tratamento com 2,96% óleo de palma, 40% de plastificante e 0,9% de emulsificante, foi observado maior perda de massa, este não foi o tratamento que apresentou maior valor para solubilidade, como descrito por CARISSIMI et al. (2018). Entretanto, a biodegradabilidade de materiais plásticos, não se dar apenas por ação da microbiota do meio ou por sua alta solubilidade, diversos outros fatores extrínsecos e intrínsecos podem contribuir para este processo, tais como tamanho da área superficial do material, cristalinidade, pH do meio que o material se encontra depositado, oxigênio, umidade e temperatura (CARISSIMI et al., 2018; SHAH et al., 2008).

Para os materiais plásticos serem considerados como biodegradáveis, os mesmos devem atingir em um período de 180 dias enterrados, perda de 90% da sua massa inicial, sendo fragmentada em água,  $CO_2$  e biomassa, de acordo com a norma europeia EN13432 (2000). Pelo tempo de estudo e porcentagem de perda de massa obtido durante os 90 dias de análise, os bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma, não podem ser considerados como biodegradáveis. Entretanto, a Figura 21 apresenta os resultados visuais da biodegradabilidade, e pode-se observar que ocorreu deterioração macroscópica, os bioplásticos perderam a integridade da sua estrutura inicial, fragmentação esta que levaria muito mais tempo para ocorrer em materiais produzidos a partir de fontes não renováveis. Levando em consideração a sua composição, mediante a fragmentação observada, é possível que o material posteriormente seja biodegradado.

**Figura 21:** Aspecto visual dos bioplásticos após 90 dias enterrados



## 5.10. Difração raio-X

Os difratogramas em raio-X dos bioplásticos são apresentados na Figura 22. Analisando os difratogramas obtidos para os bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma, foi observado picos de aproximadamente  $2\theta = 20^\circ$ , nota-se a presença de picos difusos e largos, característicos para materiais amorfos, pelos quais são produzidas bandas dispersas conferido pelo desordenamento das moléculas.

O amido de semente de jaca utilizado neste estudo para a produção dos bioplásticos, destaca-se entre as fontes não convencionais, pelo seu elevado teor de amilose, que favorece para menor índice de cristalinidade no grânulo. Em excesso de água, sob aquecimento e agitação, as regiões cristalinas provenientes da amilopectina são rompidas. A medida que o gel de amido arrefece, as moléculas tendem a se reorganizar, a amilose antes associada as regiões amorfas, durante esta etapa é responsável pela cristalinidade das moléculas.

Observando os difratogramas obtidos para os bioplásticos, não foi observado pico característico de cristalinidade. Picos de cristalinidade podem ser observados na solução de amido, porém nos bioplásticos à base de amido pode ocorrer a redução da cristalinidade, devido a interações entre a amilose e outros componentes utilizados para a produção. A amilose pode complexar com os componentes adicionados conferindo menor intensidade de picos de cristalinidade.

As propriedades mecânicas de bioplásticos de amido, são influenciadas pelo grau de cristalinidade do material. Materiais com regiões amorfas tendem a ter propriedades mecânicas precárias, o que pode ter contribuído para baixos valores de módulo de elasticidade, força máxima, ruptura e deformação, dos bioplásticos de amido de semente de jaca e óleo de palma (OLIVEIRA, 2015).

A incorporação de ácidos graxos, surfactantes, emulsificantes, podem interferir na cristalização da amilose ou a cocristalização entre amilose e amilopectina durante o resfriamento da solução filmogênica, limitando o crescimento dos cristais em um estado ordenado. A reorganização das moléculas dependerá também da concentração de amilose e amilopectina, do tamanho da molécula, da concentração de íons de hidrogênio, temperatura (JIMÉNEZ et al., 2013; FAMÁ et al., 2005). Como os difratogramas dos bioplásticos apresentaram picos difusos e largos, pode ter ocorrido formação de complexo entre a amilose do amido de semente de jaca, o óleo de palma e emulsificante para este estudo.

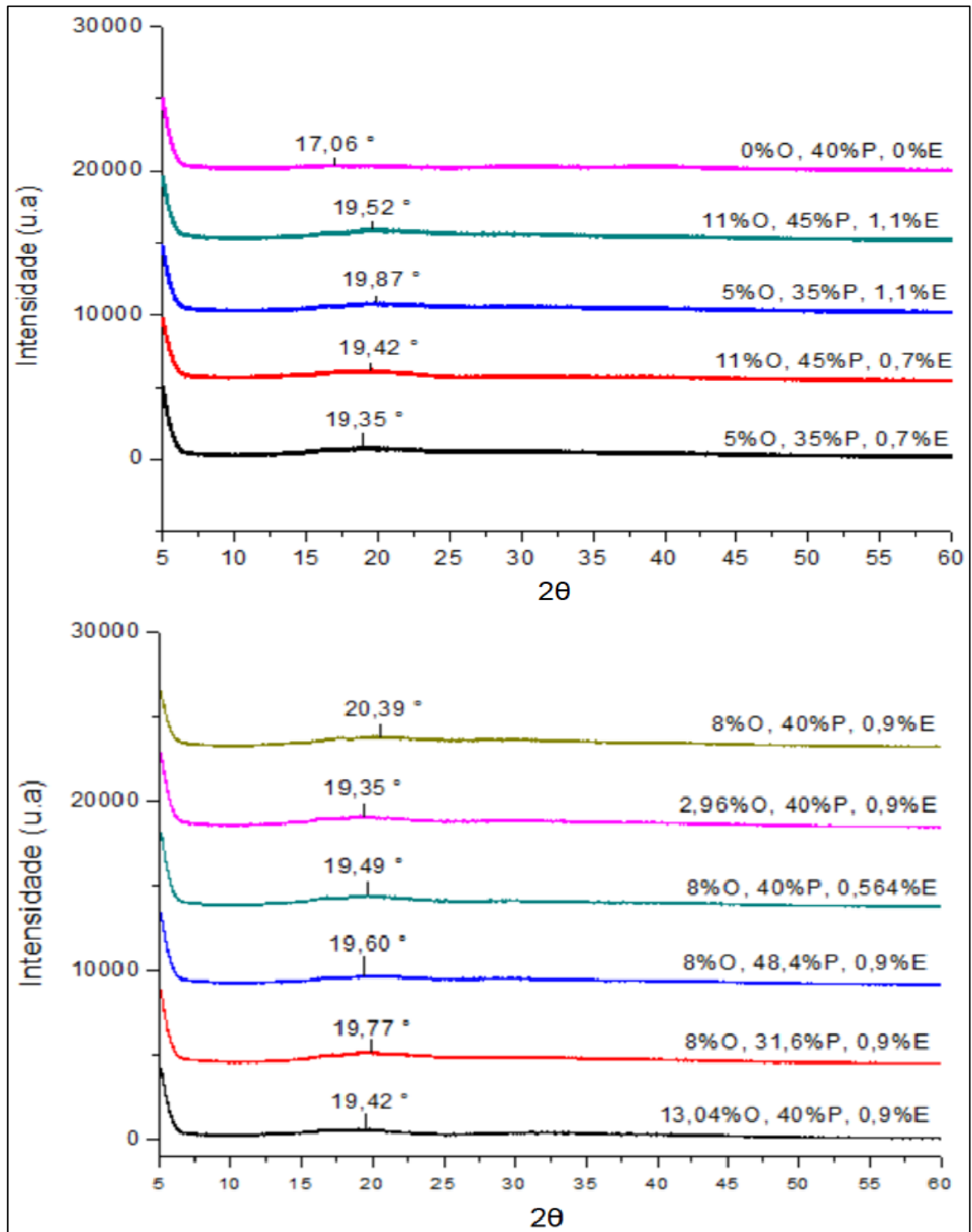
A visualização de picos de cristalinidade, também pode ser influenciado pelo processo utilizado para a produção dos bioplásticos. Bioplásticos produzidos pela técnica de *casting*, apresentam picos de menor intensidade e característico de material amorfo. Nesta técnica após a solução filmogênica ser vertida em placas para secagem, nenhum outro processo será empregado para que possa contribuir para a reorganização das moléculas. Entretanto, utilizando técnicas onde a solução é submetida a alta taxas de cisalhamento, como por exemplo, a extrusão, as moléculas tendem a se reorganizar com facilidade, pois são forçadas a um estado mais ordenado, deste modo é possível a visualização de picos característicos de cristalinidade, em bioplásticos produzidos com a adição de outras substâncias, mesmo que estas estejam complexadas com a amilose FAKHOURI (2009).

FAKHOURI (2009), em seu estudo produziu bioplásticos flexíveis e comestíveis à base de amido de milho lipofílico, gelatina e ácido graxo, por diferentes técnicas de processamento: *casting*, prensagem, prensagem e sopro. O autor observou por meio da difração de raios-X dos bioplásticos diferentes intensidades de picos. Aplicando a técnica de *casting* foi observado um



estado amorfo das moléculas. Entretanto pelas técnicas de prensagem e prensagem e sopro foram obtidos picos de maior intensidade.

**Figura 22:** Difratoograma de raios-X dos bioplásticos



O: Óleo de palma, P: Plastificante, E: Emulsificante

## 6. CONCLUSÃO

Foi possível a elaboração de bioplásticos a base de amido extraído da semente de jaca com incorporação de óleo de palma a matriz polimérica. O amido obtido das sementes de jaca apresentou elevado teor de pureza, amido e amilose, o que justifica a sua utilização para a produção de bioplásticos.

Para a solubilidade dos bioplásticos, menor e maior valor foi observado para o tratamento, com maior quantidade de óleo de palma e emulsificante, respectivamente. A permeabilidade ao vapor de água foi influenciada pelo emulsificante utilizado. O esperado era que o óleo de palma contribuísse para redução deste parâmetro devido ao seu caráter hidrofóbico, entretanto além dos componentes o resultado depende da interação dos compostos e da sua distribuição na matriz. Quando levado em consideração a permeabilidade para matérias sintéticas, o valor encontrado neste estudo ainda é alto. Porém, os valores obtidos podem ser considerados satisfatórios considerando a alta permeabilidade ao vapor de água de filmes biodegradáveis produzidos à base de amido.

Todas as propriedades mecânicas avaliadas foram influenciadas pela quantidade de emulsificante e óleo de palma utilizados. A incompatibilidade termodinâmica entre os componentes de produção do bioplástico podem causar desestabilização da estrutura, interferindo para propriedades mecânicas reduzida. A característica amorfa detectada pela difração de raio-X pode ser outro fator para os resultados obtidos.

Quanto a biodegradabilidade ao término do período de análise os bioplásticos perderam a sua integridade inicial, com redução de massa, o que é uma vantagem das embalagens biodegradáveis. Para a avaliação da atividade antioxidante dos bioplásticos, foi observada inibição do radical DPPH, associando este resultado a detecção de compostos de caráter antioxidante oriundo do óleo de palma. Para embalagens ativas de alimentos, o ideal é que os compostos adicionados afim de prolongar a vida útil do produto, seja liberado gradativamente.

A partir das metodologias utilizadas neste trabalho, foi possível a produção e caracterização de bioplásticos. Os resultados obtidos sugerem o estudo da aplicação como embalagem ativa para alimentos, visando aumentar a vida de prateleira de alimentos susceptíveis a oxidação.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCINELLI, C., SACCÀ, M.L., MENCARELLI, M., VICARI, A. Deterioration of bioplastic carrier bags in the environment and assessment of a new recycling alternative. **Chemosphere**, v. 89, n. 2, p.136–143, 2012.
- ALBUQUERQUE, F. S. M. DE. **Estudo das características estruturais e das propriedades funcionais do amido de sementes de jaca (*Artocarpusshete-rophyllusLam*) variedades “mole” e “dura”**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, 2011.
- ALPTEKIN, E.; CANAKCI, M. Determination of the density and viscosities of biodiesel - diesel fuel blends. **Renewable energy**, v. 33, p. 2623-263, 2008.
- AMALINI, A. N.; NORZIAH, M. H.; HAAFIZ, M. K.M. Exploring the properties of modified fish gelatin films incorporated with different fatty acid sucrose esters. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 15, p. 105 – 112, 2018.
- AMERICAN ASSOCIATION CEREAL CHEMISTS - AACC. **Approved methods**. 8 ed. Saint Paul, 1995.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for water vapor transmission of material – **ASTM E96-95**, Annual book of ASTM, Philadelphia, PA: American Society for Testing and Materials. 1995.
- ANDREUCCETTI, C. et al. Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-based edible films. **Journal of Food Engineering**, v. 103, n. 2, p. 129-136, 2011.
- ANSTEY, A. et al. Processability and biodegradability evaluation of composites from poly (butylene succinate) (PBS) bioplastic and biofuel co-products from Ontario. **Journal of Polymers and the Environment**, v.22, n. 2, p. 209–218, 2014.
- AOAC INTERNATIONAL, Association of Official Analytical Chemists: “Official Methods of Analysis”, Gaithersberg, USA, 1997.
- ARFAT, Y. A. et al. Development and characterisation of blend films based on fish protein isolate and fish skin gelatin. **Food Hydrocolloids**. v. 39, p. 58-67, 2014.
- ATADASHI, I. et al. Production of biodiesel using high free fatty acid feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, p. 3275- 3285, 2012.
- BAHRAM, S. et al. Whey protein concentrate edible film activated with cinnamon essential oil. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 38, n. 3, p. 1251-1258, 2014.

- BARBOSA, M. C. et al. Composição Química do Amido da Semente de Jaca (*Artocarpus Integrifolia* L.) **Revista Magistra**, v. 25, 2013.
- BARBOSA-PEREIRA, L. et al. Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish. **Food Control**, v. 31, p. 236 – 243, 2013.
- BILO, F. et al. A sustainable bioplastic obtained from rice straw. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 357 – 368, 2018
- BONOMO, R.C.F. et al. Effect of the Incorporation of Lysozyme on the Properties of Jackfruit Starch Films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 2, p. 508–517, 2018.
- BORDES, P.; POLLET, E.; AVEROUS, L. Nano-biocomposites: Biodegradable polyester/nanoclay systems. **Progress in Polymer Science**, v. 34, p. 125–155, 2009.
- BOURTOOM, T.; CHINNAN, M. S. Improvement of Water Barrier Property of rice starch-chitosan composite film incorporated with lipids. **Food Science and Technology International**, v.15, n. 2, p. 149-158, 2009.
- BRASIL. Resolução RDC no 263, de 22 de setembro de 2005 - Aprova o “regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos”. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária, **Diário Oficial da União**, 2005.
- BRAVIN, B.; PERESSINI, D.; SENSIDONI, A. Influence of emulsifier type and content on functional properties of polysaccharide lipid-based edible films. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 6448-6455, 2004.
- CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Editora LTC, 8ª edição, 2012.
- CANO, A. et al. Effect of amylose:amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p. 543-555, 2014.
- CARISSIMI, M.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. **Algal Research**, v. 32, p. 201-209 , 2018.
- CARPINÉ, D. **Desenvolvimento e caracterização de filme emulsionado biodegradável produzido a partir de proteína isolada de soja, óleo de coco e surfactantes naturais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, 2015.

- CARRIZO, D. et al. Extension of shelf life of two fatty foods using a new antioxidant multilayer packaging containing green tea extract. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.33, p. 534 – 541, 2016.
- CHANDRA R.; RUSTGI R. Biodegradation of maleated linear low-density polyethylene and starch blends, **Polymer Degradation and Stability**, v. 56, 185-202, 1997.
- CHEN, C. H.; LAI, L. S. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsoo leaf gum films in the presence of plasticizer. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 8, p. 1584-1595, 2008.
- CHENG, L. H.; ABD KARIM, A.; SEOW, C. C. Characterisation of composite films made of konjac glucomannan (KGM), carboxymethyl cellulose (CMC) and lipid. **Food Chemistry**, v. 107, n. 1, p. 411–418, 2008.
- CHENG, W. et al. Impact of ultrasonic treatment on properties of starch film-forming dispersion and the resulting films. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 3, p. 707-711, 2010.
- CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. **Food Hydrocolloids**, v. 28, n. 01, p. 59-67, jul. 2012.
- CODEX STAN 210 Amendement. Codes Standard for Named Vegetable Oils. Codex Alimentarius Commission, v. 8, p. 11 - 24, 2011.
- DE GUSMAO C. A. B.; RUFINO, R. D.; SARUBBO, L. A. Laboratory production and characterization of a new biosurfactant from *Candida glabrata* UCP 1002 cultivated in vegetable fat waste applied to the removal of hydrophobic contaminant. **World J. Microbiology Biotechnology**, v. 26, p. 1683 – 1692, 2010.
- DOBRUCKA, R; CIERPISZEWSKI, R. Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development – A Review. Pol. **Journal Food Nutrition Science**, V. 64, p. 7-15, 2014.
- DOPICO-GARCIA, M. S. et al. Natural extracts as potential source of antioxidants to stabilize polyolefins. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 119, 3553 - 3559, 2011.
- during extrusion (a review) – **Biotechnology. Progress**, vol. 7, p. 251-266, 1991.
- EN13432. Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging. 2000.
- FAKHOURI, F. M. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis à base de amido e gelatina**. Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, 271f, 2009.

- FAMÁ, L. et al. Mechanical properties of tapioca-starch edible films containing sorbates. **LWT e Food Science and Technology**, v. 38, n. 6, p. 631 – 639, 2005.
- FATTORE, E. et al. Palm oil and blood lipid-related markers of cardiovascular disease: a systematic review and meta-analysis of dietary intervention trials. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 99, p.1331–50, 2014.
- FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. *Química de Alimentos de Fennema* – 4<sup>a</sup> ed. - Editora Artmed, 2010.
- GARCÍA, M. A. et al. Characterization of starch and composite edible films and coatings. In: EMBUSCADO, M. E.; HUBER, K. C. (Eds.). **Edible films coatings for food applications**, p. 169-210, 2009.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, v.57, n.1, p.190-199, 1992.
- HE, G.; LIU, Q.; THOMPSON, M. Characterization of structure and properties os themoplastic potato starch film surface cross-linked by UV irradiation. **Starch-Stärke**, v. 65, p. 304 – 311, 2013.
- HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, p. 231-240, 2008. in **Food Packaging. Elsevier**, p. 325-350, 2008.
- HOOVER, R. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuberand root starches: a Review. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 45, n. 3, p. 253- 267, 2001.
- JIMÉNEZ, A. et al. Edible and biodegradable starch films: A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2058-2076, 2012.
- JIMÉNEZ, A. et al. Phase transitions in starch based films containing fatty acids. Effect on water sorption and mechanical behaviour. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 1, p. 408 – 418, 2013.
- KAITH, B. S. et al. Environment benevolent biodegradable polymers: synthesis, biodegradability and applications. **Cellulose fibers: bio-and-nano-polymer composites**. Cap. 16, p. 425-451, 2011.
- KALE, G. et al. Bidegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. *Polymer Testing*, v. 26, n. 8, p.1049– 1061, 2007

- KITTIPONGPATANA, O. S.; KITTIPONGPATANA, N. Preparation and physicochemical properties of modified jackfruit starches. **LWT- Food Science and Technology**, v.44, p. 1766-1773, 2011.
- KOWALCZYK, D.; BARANIAK, B. Effect of candelilla wax on functional properties of biopolymer emulsion films – A comparative study. **Food Hydrocolloids**, v. 41, p. 195-209, 2014.
- KUMARAVEL, S., HEMA, R., LAKSHMI, R. Production of polyhydroxybutyrate (bioplastic) and its biodegradation by *Pseudomonas lemoignei* and *Aspergillus niger*. **E-Journal of Chemistry**, v.7, p.536–542, 2010.
- LAI, L.S.; KOKINI, J. L. Physicochemical changes and rheological properties of starch
- LAI, L.S.; KOKINI, J. L. Physicochemical changes and rheological properties of starch. **Biotechnology progress**, v. 7, n. 3, p. 251-266, 1991.
- LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 648p. 2006.
- LANDIM, A. P. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v.26, p.82-92, 2016.
- LANE, J. H.; EYNON, L. Determination of reducing sugars by Fehling's solution with methylene blue indicator. **Norman Rodge**, London, 8p., 1934.
- LEOPOLDINO, K. J. M. **Extração e caracterização de amido nativo e modificado da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*)**. Tese (doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 242f, 2017.
- LIMPISOPHON, K.; TANAKA, M.; OSAKO, K. Characterisation of gelatine fatty acid emulsion films based on blue shark (*Prionace glauca*) skin gelatin. **Food Chemistry**. v.122, n 4, p.1095-1101, 2010.
- LIU, Z.Q.; YI, X.S.; FENG, Y. Effects of glycerynin and glycerol monostearate on performance of thermoplastic starch. **Journal of Material Science**, s.I., v. 36, n. 7, 2001.
- LOBO, A. R.; SILVA, G. M. L. Amido resistente e suas propriedades físicoquímicas. **Revista Nutrição.**, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.
- LÓPEZ DE DICASTILLO, C. et al. Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. **Food Chemistry**, v.131, p. 1376-1384, 2012.

LÓPEZ, O. V.; GARCÍA, M. A. Starch films from a novel (*Pachyrhizus ahipa*) and conventional sources: Development and characterization. **Materials Science and Engineering**, v. 32, n. 07, p. 1931-1940, 2012.

LUBIS, M. et al. Utilization starch of jackfruit seed (*Artocarpus heterophyllus*) as raw material for bioplastics manufacturing using sorbitol as plasticizer and chitosan as filler. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 801, n. 1, 2017.

LUCAS, N. et al. Polymer biodegradation: mechanisms and estimation techniques – a review. **Chemosphere**, v. 73, n. 4, p. 429–442, 2008.

LUCHESE, C. L.; SPADA, J. C.; TESSARO, I. C. Starch content affects physicochemical properties of corn and cassava starch-based films. **Industrial Crops and Products**, v. 15, p. 619 – 626, 2017.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. R.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: Produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MARTINEZ, C.; CUEVAS, F. **Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz: guía de estudio para ser usada como complemento de la unidad auditutorial sobre el mismo tema**. 3. ed. Cali, Centro Internacional de Agricultura Tropical. 73p, 1989.

MARTINS, J. T., CERQUEIRA, M. A., VICENTE, A. A. Influence of  $\alpha$ -tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, v. 27, p. 220- 227, 2012.

MATTA JR, M. et al. Propriedades de barreira e solubilidade de filmes de amido de ervilha associado com goma xantana e glicerol. **Polímeros**, v. 21, n. 1, p. 67-72, 2011.

MATTA JÚNIOR, M. D. DA. **Características estruturais, físico-químicas e funcionais dos amidos de mandioca e de milho com diferentes teores de amilose oxidados por ozônio**. Tese (doutorado), Universidade de São Paulo. 122p. 2015.

MEKONNEN, T. et al. Progress in bio-based plastics and plasticizing modifications. **Journal of Materials Chemistry A**, v.1, p. 13379–13398, 2013.

MORADI, M. et al. Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and grape seed extract, **Lwt-Food Science and Technology**, v. 46, n.2, p. 477-484., 2012.



MUSCAT, D. et al. The physicochemical characteristics and hydrophobicity of high amylose starch-glycerol films in the presence of three natural waxes. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 2, p. 205-219, 2013

NAGARAJAN, M. et al. Film forming ability of gelatins from splendid squid (*Loligo formosana*) skin bleached with hydrogen peroxide. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p.1101-8, 2013.

OLIVEIRA T. Z. et al. Biofilmes de gelatina: Efeito da adição de surfactante e ácidos graxos de óleo de coco na permeabilidade ao vapor de água. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. 2012.

OLIVEIRA, C. F. P. **Obtenção e caracterização de amido termoplástico e de suas misturas com polipropileno**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 197f. 2015.

PATHAK, S.; SNEHA, C.L.R.; MATHEW, B.B. Bioplastics: its timeline based scenario & challenges. **Journal of Polymer and Biopolymer Physics Chemistry**, v. 2, n. 4, p. 84–90, 2014.

PÉREZ-GAGO, M. B.; RHIM, J. W. Edible coating and film materials. In: **Innovations in Food Packaging**. Elsevier, p. 325-350, 2014.

PETRIKOSKI, A. P. **Elaboração de biofilmes de fécula de mandioca e avaliação do seu uso na imobilização de caulinita intercalada com ureia**. (Dissertação – Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

QURAT-UL-AIN. et al. Lipid functionalized biopolymers: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 93, p. 1057-1068, 2016.

RENGSUTTHI, K.; CHAROENREIN, S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus food heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chilli sauce. **LWT – Food Science and Technology**, v. 44, p. 1309-1313, 2011.

RETNOWATI, D. S.; RATNAWATI, R.; PURBASARI, A. A biodegradable film from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) and durian (*Durio zibethinus*) seed flours. **Scientific Study & Research – Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry**, v.16, n.4, p.395-404, 2014.

REVISTA FOOD INGREDIENTS BRASIL: Amidos, n. 35 – Revista-fi, 2015. Disponível em: <<http://www.revista-fi.com/materias/499.pdf>>. Acesso em: 23/12/2015.

- RIGO, L. N. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestíveis**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Rio Grande do Sul, Erechim, 2006.
- RUFINO, M. S. M. et al. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. Embrapa Agroindústria Tropical, 1 a edição on line: julho de 2007.
- RUFINO, R. D. et al. Antimicrobial and anti-adhesive potential of a biosurfactant Rufisan produced by *Candida lipolytica* UCP 0988. **Colloids and Surfactantes B: Biointerfaces**, v. 84, p. 1-5, 2011.
- SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, L. et al. Physical properties of edible chitosan films containing bergamot essential oil and their inhibitory action on *Penicillium italicum*. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 2, 277-283 p. 2010.
- SANTACRUZ, S.; RIVADENEIRA, C.; CASTRO, M. Edible films based on starch and chitosan. Effect of starch source and concentration, plasticizer, surfactant's hydrophobic tail and mechanical treatment. **Food Hydrocolloids**, v. 49, p. 89-94, 2015.
- SANTANA, R.F. et al. Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. **Journal Food Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 278–286, 2017.
- SANTOS, L. S. et al. Gelatinization temperature and acid resistance of jackfruit seed starch. **CyTA-Journal of Food**, v. 7, p. 1-5, 2009.
- SANTOS, T. A. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos a base de amido de jaca com incorporação de lisozima**. 2015. 64f. (Dissertação - Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2015.
- SARANTÓPOULOS, C. I. G. L. et al. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. 267p. 2002.
- SCHEIBE, A. S. **Produção e caracterização de embalagem biodegradável de amido de mandioca e fibras usando a técnica de tape-casting**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- SCHOCH, TJ; MAYWALD. Preparation and properties of various legume starches. **Cereal Chemistry**, v.45, n.6, p. 564-573, 1968.

- SHAH, A. A. et al. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 3, p. 246–265, 2008.
- SHAK, U. et al. A review of the recent advances in starch as active and nanocomposite packaging films. **Cogent Food & Agriculture**, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2015.
- SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeito plastificante e antiplastificante do glicerol e sorbitol em filmes biodegradáveis de mandioca. **Ciências Agrárias**, v. 28, p. 79 – 88, 2007.
- SHIRAI, M. A. et al. Development of biodegradable flexible films of starch and poly (lactic acid) plasticized with adipate or citrate esters. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 1, p. 19-22, 2013.
- SILVA, J. H. V. et al. Efeitos da inclusão do farelo de sementes de jaqueira *Artocarpus heterophyllus Lam.*) na ração sobre a produção, pigmentação da gema e umidade fecal em codornas. **Revista Ciência e Agrotecnologia.**, v.31, n. 2, 2007.
- SOUZA, A. C. et al. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **LWT- Food Science and Technology**, v. 52, n.2, p. 346-352, 2013.
- SWAMI, S. B. S. et al. Jackfruit and Its many functional components as related to human health: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 11, p. 565-576, 2012.
- TONGDEESOONTORN, W. et al. Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. **Chemistry Central Journal**, v. 05, n. 01, p. 01-08, 2011.
- TONGNUANCHANM, P. et al. Emulsion film based on fish skin gelatin and palm oil: Physical, structural and thermal properties. **Food Hydrocolloids**, v. 48, p. 248-259, 2015.
- VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis a base de fécula de mandioca para uso em pós colheita**. 2003, Tese (doutorado). Faculdade de Ciências agrônômicas da UNESP, São Paulo, 2003.
- VIDAL, R. S. **Extração de óleo de dendê e produção de biodiesel em processo integrado a alta pressão: Estudo do efeito das variáveis de processo**. (Dissertação – Mestrado) - Universidade Tiradentes, 2016.

WANG, K. Bio-Plastic Potential of Spirulina Microalgae. 2014. 96 f. (Tese - Doutorado), The University of Georgia, Atenas, 2014.

YAMANI, B. V. **Caracterização físico-química e funcional e amido tuberosas originárias da América do Sul: oca (*Oxalis tuberosa Molina*), olluco (*Ullucus tuberosas Caldas*) e mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz e Pavón*)**. 2010. 120 f. (Tese - Mestrado) – Universidade de São Paulo – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, São Paulo, 2010.

YANG, L.; PAULSON, A. Effects of lipids on mechanical and moisture barrier properties of edible gellan film. **Food Research International**, v. 33, n. 7, p. 571–578, 2000.

YANG, L.; PAULSON, A. Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. **Food Research International**, v. 33, p. 563–570, 2000.

ZAHEDI, Y.; GHANBARZADEH, B.; SEDAGHAT, N. Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. **Journal of Food Engineering**. v. 100, n. 1, p. 102-108, 2010.

ZAIDUL, I.S.M. et al. DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches. **Journal of Food Engineering**, v. 86, p. 68-73, 2006.