



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - UFMA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA - CCET

CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

LEONEL SILVA RABELO

**PREPARAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO AMIDO DE
MESOCARPO DE BABAÇU MODIFICADO**

São Luís – MA

2019

LEONEL SILVA RABELO

**PREPARAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO AMIDO DE
MESOCARPO DE BABAÇU MODIFICADO**

Monografia apresentada ao Curso de Química
Bacharelado da Universidade Federal do
Maranhão, como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Química.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Gilza Maria Piedade
Prazeres.

São Luís – MA

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Rabelo, Leonel Silva.

Preparação de filme biodegradável a partir do amido de mesocarpo de babaçu modificado / Leonel Silva Rabelo. - 2019.

61 p.

Orientador(a): Gilza Maria Piedade Prazeres.

Monografia (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

1. Amido. 2. Babaçu. 3. Filme biodegradável. 4. Plástico biodegradável. 5. Poliacrilamida. I. Prazeres, Gilza Maria Piedade. II. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

PREPARAÇÃO DE FILME BIODEGRADÁVEL A PARTIR DO AMIDO DE MESOCARPO DE BABAÇU MODIFICADO

Monografia apresentada ao Curso de Química Bacharelado da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Química.

Aprovado em: _____ de _____ 2019

LEONEL SILVA RABELO

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Gilza Maria Piedade Prazeres
Departamento de Química – UFMA

Prof.^a Dra. Jaciene de Jesus Cardoso Rocha
Departamento de Química – UFMA

Prof. Dr. Cícero Wellington Brito Bezerra
Departamento de Química – UFMA

São Luís – MA

2019

“A vida é combate”.

(Gonçalves Dias)

*“Combati o bom combate, completei a
carreira, guardei a fé”.*

(Paulo, apóstolo - 2 Timóteo 4:7)

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo, agradeço a Deus! Por me conceder a vida, a saúde e a fé para me conduzir e vencer esta etapa de minha vida. E acima de tudo por iluminar os meus caminhos com boas oportunidades e pessoas especiais que permitiram que eu chegasse até aqui... e também pelos obstáculos que me fizeram crescer.

À minha família, em especial a minha mãe Maria da Conceição Silva Rabelo, por durante todo esse tempo ter segurado barra em casa, pela paciência, pelo carinho, pelo amor incondicional, demonstrado das mais diversas formas, por tudo, imensamente grato.

À minha “mãe científica”, orientadora, Profa. Dra. Gilza Prazeres, que de fato foi uma mãe pra mim durante essa pesquisa, obrigado pela dedicação na orientação do meu trabalho e por me aceitar como orientando.

Aos Professores Iranaldo Santos da Silva e Cicero Bezerra pela paciência, apoio e disponibilidade em me ajudar com o software Origin.

À professora Cáritas de Jesus e ao professor Adeilton Maciel do NCCA, agradeço pela enorme ajuda, essencial para a realização deste trabalho.

Aos membros da banca, Profa. Dra. Jaciene de Jesus e o Prof. Dr. Cicero Wellington, pela paciência e por dedicarem seu tempo na leitura e análise da minha monografia, contribuindo para que este trabalho se torne realmente relevante no mundo científico.

Ao professor Denilson Moreira Santo pela disponibilidade e disposição em me ajudar na análise mecânica.

Às minhas “amiquimicas” Liane Miranda, Chirlene Botelho, Dona Lis Conde, Mayara Leite e Talita Carvalho, pela amizade sincera e por sempre torcerem pela minha felicidade, imensamente grato pela ajuda de vocês.

Ao meu amigo fotografo Emerson Ricardo, por ter cedido a câmera fotográfica para as fotos deste trabalho.

À Aliança Bíblica Universitária (ABU-SLZ e ABU UFMA) que me fez fortalecer ainda mais a minha fé durante essa caminhada na universidade, obrigado amigos ABUenses (“Marcharemos na coragem do Senhor”).

Aos colegas de laboratório do NCCA (os NCCAnos) pela amizade e boa convivência todos os dias.

Ao CeMAT, Central de Materiais da Odontologia e Central Analítica que ajudaram na obtenção dos resultados desta monografia.

A todos os professores do curso de Química, que foram tão importantes na minha vida acadêmica. Vocês são guerreiros.

Ao Igor da coordenação de química (o verdadeiro coordenador), que com muita paciência sempre disposto a me ajudar e a desenrolar muita coisa.

Ao meu amigo/irmão Willame Junior, você foi uma peça fundamental na realização deste trabalho, você me ajudou muito. Muito obrigado!

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, principalmente àqueles que sempre perguntavam quando eu iria me formar, saibam que essa pergunta foi uma motivação pra mim, enfim, esse dia chegou. **MUITO OBRIGADO!**

Soli Deo Gloria

RESUMO

O mesocarpo do coco de babaçu é constituído principalmente por amido que é uma matéria prima importante para a produção de filmes biodegradáveis. Este trabalho teve como objetivo obter filmes a partir do amido de mesocarpo de babaçu modificado. A farinha de mesocarpo de babaçu foi caracterizada por avaliação da composição físico-química, o amido extraído, amido oxidado e farinha de mesocarpo foram caracterizados por Microscopia Eletrônica de Varredura, Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier e por Difração de raios-X. A modificação química do amido contido no mesocarpo do babaçu foi feita por meio de oxidação, a fim de inserir na cadeia do amido grupos carboxílicos. O amido foi oxidado com peróxido de hidrogênio em meio básico. Foram produzidos filmes por *casting* a partir de uma suspensão utilizando glicerol como plastificante e poliacrilamida catiônica como reticulante. Os resultados revelaram a natureza amilácea do mesocarpo do coco babaçu, que apresentou perfil de difração típico de amidos do tipo-C e grânulos de amido com formas predominantemente ovais. As micrografias mostraram que os tratamentos promoveram a remoção gradual de hemicelulose e lignina da superfície das fibras, expondo sua estrutura interfibrilar. O filme com o amido oxidado apresentou brilho plástico, transparência e foi mais resistente que o filme obtido com amido extraído e glicerol.

PALAVRAS-CHAVE: plástico biodegradável, amido, mesocarpo de babaçu, filme biodegradável.

ABSTRACT

The babassu coconut mesocarp is mainly composed of starch which is an important raw material for the production of biodegradable films. This work aimed to obtain films from modified babassu mesocarp starch. Babassu mesocarp flour was characterized by evaluation of physicochemical composition, extracted starch, oxidized starch and mesocarp flour were characterized by Scanning Electron Microscopy, Fourier Transform Infrared Absorption Spectroscopy and Ray Diffraction. -X. The chemical modification of the starch contained in the babassu mesocarp was made by oxidation in order to insert carboxylic groups into the starch chain. Starch was oxidized with hydrogen peroxide in basic medium. Casting films were produced from a suspension using glycerol as plasticizer and cationic polyacrylamide as crosslinker. The results revealed the amylaceous nature of the babaçu coconut mesocarp, which presented a typical diffraction profile of C-type starches and predominantly oval starch granules. The micrographs showed that the treatments promoted the gradual removal of hemicellulose and lignin from the fibers surface, exposing their interfibrillary structure. The film with oxidized starch showed plastic gloss, transparency and was more resistant than the film obtained with extracted starch and glycerol.

KEYWORDS: biodegradable plastic, starch, babassu mesocarp, biodegradable film.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura da amilose e da amilopectina.	21
Figura 2 - Estrutura da poliacrilamida não-iônica (a), aniônica (b) e catiônica (c).....	27
Figura 3 - Palmeira de babaçu (A) e cacho de cocos babaçu (B).....	29
Figura 4 - O coco babaçu e suas partes constituintes.	30
Figura 5 - Produtos e subprodutos do coco babaçu.	31
Figura 6 - Mesocarpo de babaçu.....	32
Figura 7 – Farinha do mesocarpo de babaçu (A), amido extraído (B) e amido oxidado (C).....	40
Figura 8 - Difractogramas de raios-X da farinha de mesocarpo de babaçu, amido extraído e amido oxidado.	41
Figura 9 - Micrografias obtidas por MEV do mesocarpo do coco babaçu com aumento de 1500x (A), amido extraído (B) e amido oxidado (C) com aumento de 2000x.	42
Figura 10 - Espectros no infravermelho da FMC, AmEx e AmOx.....	43
Figura 11 - Aspecto visual do FILME 1 (A), FILME 2 (B) e FILME 3 (C).....	45
Figura 12 - Espectros no infravermelho dos FILMES 1, 2 e 3.....	46
Figura 13 - Tensão máxima vs deformação máxima na ruptura.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição centesimal da farinha do mesocarpo do babaçu utilizada.....	39
Tabela 2 - Atribuições das bandas características das matérias primas.....	44
Tabela 3 - Atribuições das bandas características dos FILMES.....	46
Tabela 4 - Espessura, tensão e deformação na ruptura dos filmes.....	47

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AmEx – Amido Extraído

AmOx – Amido Oxidado

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FMC – Farinha de Mesocarpo de Babaçu

FB – Filme de babaçu

FTIR – Fourier Transform Infrared Spectroscopy (Espectroscopia na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier)

IUPAC - União Internacional da Química Pura e Aplicada

MEV - Microscopia eletrônica de varredura

PAMc – Poliacrilamida catiônica

PAM – Poliacrilamida

pH - Potencial hidrogeniônico

UFMA - Universidade Federal do Maranhão

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	37
Equação 2	37
Equação 3	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Geral	16
2.2 Específicos.....	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Plástico biodegradável.....	17
3.2 Matérias primas para a produção de filmes biodegradáveis.....	20
3.2.1 Base polimérica.....	20
3.2.1.1 Amido	20
3.2.2 Plastificante.....	23
3.2.3 Reticulante	25
3.3 Palmeira de Babaçu	27
3.4 Mesocarpo de Babaçu.....	31
4 PARTE EXPERIMENTAL	33
4.1 Materiais e equipamentos	33
4.2 Metodologia.....	33
4.2.1 Caracterização da farinha de mesocarpo de babaçu	33
4.2.2 Extração do amido do mesocarpo de babaçu.....	33

4.2.3	Oxidação do amido	34
4.2.4	Caracterização do amido	34
4.2.4.1	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	34
4.2.4.2	Análise de difração de raios-X (DRX)	34
4.2.4.3	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	35
4.2.5	Preparo de filmes de amido de babaçu	35
4.2.6	Caracterização morfológica dos filmes	36
4.2.6.1	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR - ATR)	36
4.2.7	Propriedades Mecânica	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5.1	Caracterização da farinha de mesocarpo de babaçu	39
5.1.1	Análise centesimal	39
5.2	Extração do mesocarpo de babaçu	39
5.3	Oxidação do amido de mesocarpo de babaçu	40
5.4	Caracterização morfológica das matérias primas	40
5.4.1	Difração de raios - X (DRX)	40
5.4.2	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	42
5.4.3	Espectroscopia no Infravermelho com Transformação de Fourier (FTIR)	43
5.5	Filme Biodegradável	45

5.5.1	Aspecto visual.....	45
5.5.2	Espectroscopia no Infravermelho com Transformação de Fourier (FTIR - ATR).....	46
5.5.3	Propriedades mecânicas	47
6	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	50
6.1	Conclusões.....	50
6.2	Perspectivas	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	52
	ANEXO 1.....	61

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da população, tem surgido cada vez mais a necessidade de novos materiais para conservação de alimentos principalmente dos que são consumidos *in natura*, como as frutas. Isso ocorre devido ao reduzido tempo de prateleira que muitos destes alimentos apresentam. Desta forma, a utilização de embalagens plásticas é uma das alternativas para promover um aumento neste tempo, no entanto, a maioria dos plásticos utilizados hoje causa danos ao meio ambiente e, conseqüentemente, à saúde humana (VICENTINO; FLORIANO; DRAGUNSKI, 2011).

Estima-se que 8,9 bilhões de toneladas de plásticos primários (ou virgens) e secundários (produzidos de material reciclável) já foram fabricados desde meados do século passado, quando os plásticos começaram a ser produzidos em escala industrial. Cerca de dois terços desse total, ou 6,3 bilhões de toneladas, foram descartados como lixo, enquanto 2,6 bilhões de toneladas ainda estão em uso (PESQUISA FAPESP, 2019).

Em 2014, cerca de 311 milhões de toneladas de plásticos foram produzidos no mundo (4% a mais do consumido em 2013) e destes plásticos menos de 5% foram reciclados, levando a um rápido acúmulo de resíduos plásticos e conseqüente poluição ambiental (MANIGLIA, 2017).

Em 2016, a produção atingiu 396 milhões de toneladas. A fabricação de plástico virgem no século XXI equivale ao volume produzido nos 50 anos anteriores (PESQUISA FAPESP, 2019). De acordo com a organização não governamental, a WWF (Fundo Mundial para a Natureza), o Brasil foi o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo em 2016, com 11,3 milhões de toneladas, superados apenas por Estados Unidos, China e Índia.

Uma alternativa para a substituição parcial destes materiais plásticos, seria polímeros biodegradáveis a partir de fontes renováveis, podendo reduzir o impacto da embalagem sobre o meio ambiente. O uso de biopolímeros agrícolas para o desenvolvimento de filmes comestíveis e/ou biodegradáveis pode ser uma alternativa para aumentar as suas aplicações e criar novos mercados, bem como a substituição de plásticos sintéticos (PAGNO et al., 2014).

Os filmes biodegradáveis podem ser produzidos a partir de polissacarídeos (celulose e derivados, carboidratos e derivados, goma, etc.) e proteínas (gelatina, zeína, glúten, etc.) capazes de gerar matrizes contínuas. No entanto, estas matérias-primas renováveis têm que ser vantajosas em relação aos plásticos sintéticos em termos de custo e funcionalidade. Neste contexto, os resíduos agroindustriais com altos teores de biopolímeros formadores de filmes, como polissacarídeos e proteínas, representam alternativa interessante nesta área (MANIGLIA, 2017).

Esses materiais com barreiras de camada fina, podem controlar a transferência de componentes de umidade, gás e sabor. Dentre os recursos naturais e renováveis utilizados na confecção de bioplásticos, o amido é um dos ingredientes mais importantes dos filmes, devido ao seu baixo custo, disponibilidade, biodegradabilidade e formação de filmes biodegradáveis inodoro, incolor, não tóxico e sua propriedade termoplástica (NOURADDINI; ESMAILI; MOHTARAMI, 2018). Devido a essas propriedades o amido tem sido largamente utilizado na indústria alimentícia, farmacêutica, biomédica e de polímeros (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016).

O uso do amido na produção de filmes baseia-se nas propriedades físicas, químicas e funcionais da amilose para formar géis e no seu desempenho para formar filmes. A amilose tem excelente capacidade de formação de filme, formando materiais fortes, isotrópicos, inodoros, insípidos e incolores (MANIGLIA, 2017).

Dentre as fontes alternativas de amidos, encontra-se o babaçu, uma palmeira abundante no Maranhão e Piauí com elevado potencial de exploração sustentável. O mesocarpo, parte integrante do fruto, possui alto teor de amido (SOUSA Jr et al., 2017). Segundo EMBRAPA (1984), o mesocarpo contém cerca de 64 a 71% de amido em sua composição o que o torna uma matéria prima atrativa para a obtenção de um material modificado capaz de formar filmes biodegradáveis resistentes.

Neste trabalho propomos a produção de um filme biodegradável que tem como base polimérica o amido de mesocarpo de babaçu modificado e a poliacrilamida catiônica.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Obter filmes de amido de mesocarpo de babaçu com poliacrilamida catiônica.

2.2 Específicos

- Caracterizar o amido nativo extraído;
- Modificar o amido de mesocarpo de babaçu por oxidação com Peróxido de Hidrogênio;
- Obter filmes de amido nativo e do amido modificado;
- Caracterizar os filmes obtidos quanto às propriedades mecânicas e ao aspecto visual.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Plástico biodegradável

A maior parte dos materiais utilizados nas embalagens é produzida a partir de combustíveis fósseis e fontes não renováveis. A não-biodegradabilidade da maior parte de polímeros sintéticos tem causado problemas ambientais associados com sua disposição final e o uso de recursos finitos. É crescente a conscientização de que esses produtos não são ambientalmente amigáveis, sendo, portanto, necessária a procura por alternativas que possam substituir estes materiais em médio prazo (NOURADDINI; ESMAILI; MOHTARAMI, 2018; MARIANO, 2013; DO AMARAL, BORSCHIVER, MORGADO, 2019)

Segundo PESQUISA FAPESP (2019) os plásticos passaram a ser valorizados e associados a um novo estilo de vida, de uma sociedade direcionada ao consumo. Nas últimas décadas do século passado, a procura pelo material acelerou ainda mais graças à explosão de plásticos de uso único, embalagens descartáveis e sacolas plásticas. Esses produtos acabaram substituindo principalmente bens de uso pessoal e doméstico, feitos de outros materiais, como vidro, madeira, papel e metal. Foi o que aconteceu, por exemplo, com as garrafas de PET, que, pouco a pouco, desbancaram as retornáveis de vidro.

E as projeções indicam que, se o ritmo de crescimento não for contido, o mundo terá que acomodar cerca de 550 milhões de toneladas do material em 2030. (PESQUISA FAPESP, 2019)

De acordo com PESQUISA FAPESP (2019), o Brasil foi o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo em 2016, com 11,3 milhões de toneladas, superados apenas por Estados Unidos, China e Índia.

Uma estratégia para combater os problemas oriundos da poluição gerada pela produção excessiva e o descarte inadequado de plásticos é criar materiais alternativos aos polímeros de origem fóssil, como os bioplásticos. Com isto a pesquisa sobre filmes totalmente biodegradáveis, que possam ser obtidos de fontes agrícolas e renováveis e que apresentem características adequadas para que possam substituir completamente os materiais derivados do petróleo, ganham força. Uma característica frequente entre os bioplásticos é a biodegradabilidade, o que significa que são passíveis de degradação por agentes biológicos

vivos, como fungos e bactérias, em um prazo de até seis meses. Uma vantagem do biofilme é utilizar resíduos agroindustriais como matéria-prima (PESQUISA FAPESP, 2019; MARIANO, 2013).

Os filmes biodegradáveis surgiram como uma estratégia ambientalmente amigável para diminuir a poluição proveniente do acúmulo de resíduos plásticos sintéticos. No entanto, a aplicação desses materiais só será viável se eles forem competitivos em termos de custo e funcionalidade em comparação com os plásticos sintéticos. Isso pode ser possível se forem usadas matérias-primas mais baratas, como subprodutos agroindustriais. Esse tipo de matéria-prima pode conter biopolímeros, como proteínas, fibras e amido, para que possa ser empregado na produção de filmes (MANIGLIA et al., 2017; TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2005).

Para um material ser chamado de biodegradável, ele deve ser degradado completamente por microrganismos vivos e/ou enzimas, gerando compostos naturais como CO₂, água, metano, hidrogênio e biomassa. Esta degradação pode acontecer em cerca de 20 dias, enquanto o produto tradicional demora até 500 anos para desaparecer na natureza (MARTINS, 2010; MANIGLIA, 2017).

Os filmes biodegradáveis surgiram como uma estratégia ambientalmente amigável para diminuir a poluição proveniente do acúmulo de resíduos plásticos sintéticos. No entanto, a aplicação desses materiais só será viável se eles forem competitivos em termos de custo e funcionalidade em comparação com os plásticos sintéticos. Isso pode ser possível se forem usadas matérias-primas mais baratas, como subprodutos agroindustriais. Esse tipo de matéria-prima pode conter biopolímeros, como proteínas, fibras e amido, para que possa ser empregado na produção de filmes (MANIGLIA et al., 2017; TAPIA-BLÁCIDO; SOBRAL; MENEGALLI, 2005).

Filmes biodegradáveis podem ser obtidos de diferentes fontes, como: carboidratos e proteínas, as quais apresentam baixo custo. Dentre os carboidratos, o uso de amido no preparo filmes é indicado como extremamente promissor, bem como o uso de farinha, que apresenta uma combinação de polissacarídeos, proteínas, lipídios tendo como vantagem que cada componente pode atribuir ao filme características específicas, melhorando suas propriedades mecânicas ou de barreira (DIAS, 2010).

Os filmes biodegradáveis compõem parte importante do cenário de pesquisa nacional e internacional, com trabalhos importantes quanto à caracterização, formulação e aplicação destes materiais. Existem grandes possibilidades de utilização para os sistemas de embalagens biodegradáveis à base de amido, em especial na área de alimentos, devido ao seu baixo custo e abundância (FARIA; VERCELHEZE; MALI, 2012).

A pesquisa sobre filmes biodegradáveis de biofilmes é uma importante área de estudo para as indústrias alimentícia, química e farmacêutica. O método de fundição, comumente usado para preparar biofilmes, é um processo simples em que uma solução filmogênica é preparada e subsequentemente secada em uma superfície apropriada, permitindo o uso de uma ampla gama de materiais de origem vegetal, como amidos, entre outros. Para elaborar esses filmes, as interações entre os componentes estruturais e plastificantes devem ser estudadas para avaliar as propriedades coesivas e funcionais. Entre os diferentes processos utilizados na preparação de biofilmes, a secagem é uma das mais importantes, pois é considerada o processo que mais limita as características finais dos biofilmes. (DA SILVA et al., 2019).

De acordo com Amaral, Borschiver, Morgado (2019 apud IFB, 2018) a produção de bioplásticos no continente europeu vem crescendo, em 2016 a capacidade da produção chegou a cerca de 2,05 milhões de toneladas. As previsões do IFB apontam para as capacidades de produção se multiplicarem até 2022, para mais de 6 milhões de toneladas.

Conforme Fakhouri (2009) filmes biodegradáveis vêm sendo estudados como uma das alternativas promissoras para substituir materiais sintéticos de origem petroquímica e não biodegradáveis, na elaboração de embalagens à base de polímeros de fontes renováveis.

O maior desafio na substituição de plásticos convencionais por polímeros biodegradáveis e reproduzi-los com desempenho e preço comparáveis aos plásticos. A dificuldade em reproduzir polímeros com propriedades satisfatórias pelo tempo mínimo de armazenamento e uso, porém de modo que sejam suscetíveis a degradação microbiana e ambiental após o descarte e sem qualquer impacto ambiental adverso é real e deve ser levada em consideração nas pesquisas e estudos (CAMPOS, 2017).

3.2 Matérias primas para a produção de filmes biodegradáveis

3.2.1 Base polimérica

3.2.1.1 Amido

O amido é um polímero natural produzido pelos vegetais superiores dos quais é principal substância de reserva. Por ser um carboidrato de reserva, o amido encontra-se amplamente distribuído em várias espécies de vegetais. Entretanto, algumas espécies tais como mandioca, milho, batata, ervilha, arroz, aveia, trigo apresentam grandes depósitos de amido que podem constituir de 50% a 65% do peso das sementes de cereais secos, e até 80% da substância seca de tubérculos (LEONEL; CEREDA, 2002; GUERREIRO, 2002; TAPARELLI, 2005). A estrutura granular do amido apresenta-se em forma de grânulos insolúveis em água fria, cujo tamanho e forma são característicos da planta de origem (TAPARELLI, 2005).

Segundo Walter; Da Silva; Emanuelli (2005) por meio de difração de raios-x, podem-se distinguir três tipos de grânulos que, dependendo de sua forma e estrutura cristalina, denominam-se A, B e C. As cadeias externas relativamente curtas das moléculas de amilopectina de cereais (menos de 20 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos cristalinos tipo A. Já as cadeias externas maiores das moléculas de amilopectina de tubérculos (mais de 22 unidades de glicose) favorecem a formação de polimorfos tipo B, encontrados também na banana, em amidos retrogradados e em amidos ricos em amilose. Embora com estrutura helicoidal essencialmente idêntica, o polimorfo tipo A apresenta empacotamento mais compacto do que o tipo B, o qual apresenta estrutura mais aberta e centro hidratado. Por sua vez, o polimorfo tipo C é considerado um intermediário entre os tipos A e B, sendo característico de amido de legumes e sementes (THARANATHAN, 2002; TESTER et al., 2004; FOOD INGREDIENTS BRASIL, 2015).

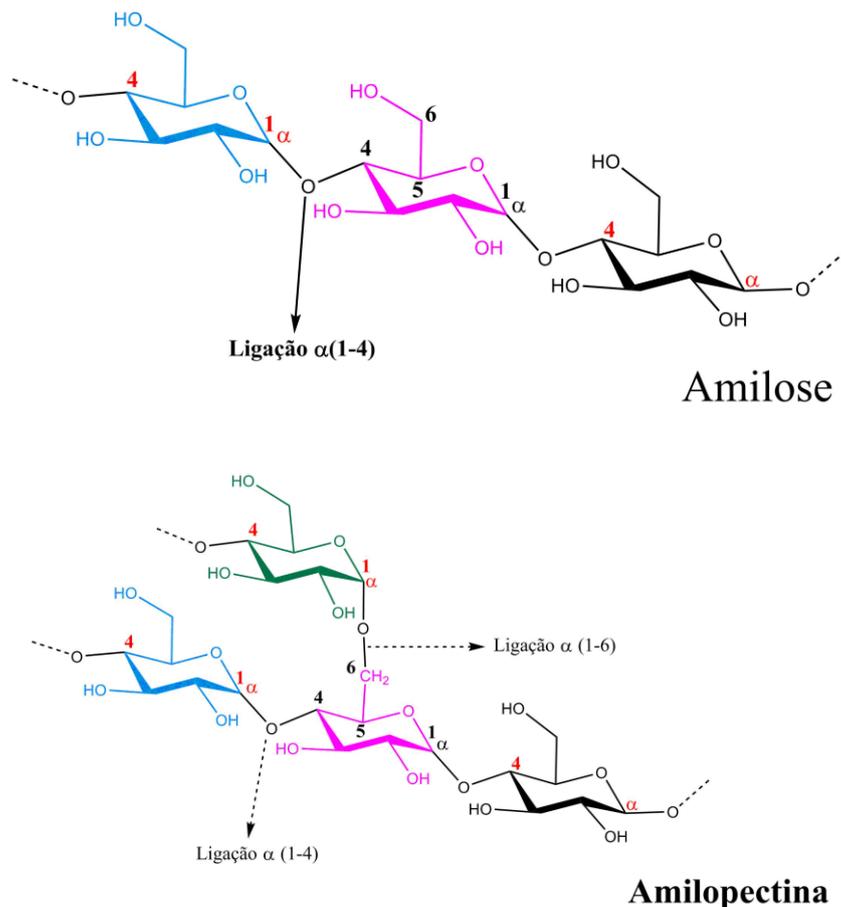
Quimicamente o amido formado pela polimerização de monômeros de glicose. No amido estão presentes dois tipos de cadeias de polissacarídeos: amilose e amilopectina.

A amilose é uma molécula linear, composta por 250 a 300 unidades de D-glicose ligadas uniformemente por pontes glicosídicas α -(1-4), que conferem forma helicoidal à molécula. Na hélice da amilose os átomos de hidrogênio localizam-se no interior da hélice e os grupos hidroxilas na parte externa. Dependendo da fonte do amido, o grau de polimerização pode variar de 500 até mais de 5.000 unidades de glicose. A amilose apresenta peso molecular de 10^5 - 10^6

Daltons. O teor de amilose nos grânulos de amido varia de acordo com a origem botânica, mas geralmente encontra-se em intervalos de 20 - 30% (CONTO, 2009; DOMINGUES, 2002; DEL BEM, 2016).

A amilopectina por sua vez, é constituída por mil unidades de D-glicose ou mais, também unidas por ligações glicosídicas α -(1-4). No entanto, há pontos de ramificação, onde existem ligações glicosídicas α -(1-6), constituindo cerca de 4% das ligações totais; ou seja, uma em cada 20 a 25 unidades de glicose, aproximadamente. A molécula de amilopectina, muito maior que a de amilose, segundo (CAMPOS, 2017) o grau de polimerização chega a 2 milhões de unidades de glicose, fazendo com que ela seja uma das maiores moléculas encontradas na natureza e sua massa molar varia de 10^7 a 10^9 Daltons. A molécula da amilopectina é mais compacta que a molécula de amilose e apresenta configuração do tipo dupla hélice. A estrutura da amilose e da amilopectina é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura da amilose e da amilopectina.



Fonte: próprio autor.

A proporção de amilose e amilopectina é de 1:3 para a maioria dos amidos, podendo variar de acordo com a fonte botânica, variedade de uma mesma espécie e de acordo com o grau de maturação (TAPARELLI, 2005).

Embora linear, a amilose é menos organizada (amorfa). A conformação de hélices simples da amilose dificulta sua associação regular com outras cadeias e sua densidade permite a penetração da água entre suas camadas (SOUSA, 2016).

A amilopectina é uma molécula altamente ramificada e é a fração mais organizada (cristalina) dos grânulos. Possui segmentos lineares arranjados como estruturas helicoidais duplas. Por ser mais densa, é mais resistente à penetração da água e à ação enzimática; ambas ligadas entre si por pontes de hidrogênio e envoltas por uma matriz proteica. Assim, a cristalinidade do amido é atribuída principalmente à amilopectina (VIÉGAS, 2016 apud EZEQUIEL, 2002; SOUSA, 2016).

O amido de diversas fontes pode ser caracterizado pelo tamanho e forma dos grânulos que são próprios da planta de origem. O tamanho e forma do grânulo podem influenciar no rendimento industrial e nas aplicações tecnológicas. Esses grânulos são armazenados pelas plantas em suas sementes, raízes ou em seus vasos condutores. Estes grânulos variam de forma (esféricas, ovais ou poliédricas), tamanho (1 a 100 μm de diâmetro), associação (grânulos individuais ou aglomerados) e composição química (glicosídeos, água, proteínas, lipídeos e minerais) de acordo com a origem botânica (DEL BEM, 2016).

Os grânulos de amido também contêm umidade, lipídios, proteínas e minerais (KEARSLEY; DZIEDZIC, 1995). As proteínas e cinzas aparecem em pequena quantidade em amidos de tubérculos e não chegam a alterar as propriedades funcionais (DEL BEM, 2016).

A extração do amido de forma comercial é feita por moagem ou ralação, separação da fibra e suspensão de amido em água, centrifugação, purificação, desidratação e secagem. No entanto, alguns tipos de amidos exigem novas etapas no processo de extração. Dessa forma, existem inúmeros métodos disponíveis para o isolamento do amido, sendo necessário investigar para cada material o melhor procedimento a se utilizar (MANIGLIA, 2017).

O interesse em novos produtos de amido com valor agregado para a indústria resultou em muitos estudos sobre as propriedades morfológicas, reológicas, térmicas e de textura dos

amidos. A identificação de fontes nativas de amido é necessária para determinar sua funcionalidade desejada e propriedades exclusivas. As possibilidades de fomentar a utilização destes amidos em polímeros biodegradáveis dependem principalmente do conhecimento dos seus principais componentes químicos e as propriedades físicas, estruturais e funcionais (YULIANA, 2012; NETO, 2016).

O amido nativo pode ser modificado por tratamentos químicos, genéticos, enzimáticos e físicos para aprimorar suas propriedades específicas e desejadas, e estes podem ser usados para melhorar as propriedades de formação de comprimidos de algum amido nativo.

O amido oxidado é preparado por reação do amido com uma quantidade especificada de oxidante (por exemplo, hipoclorito de sódio); o grupo hidroxila nas moléculas de amido é oxidado primeiro nos grupos carbonila e depois nos grupos carboxila. O amido oxidado geralmente possui cor mais clara, estabilidade aprimorada, baixa viscosidade, propriedades de formação de filme e de ligação. O amido oxidado teve amplas aplicações nas indústrias alimentícias (AFOLABI et al., 2012).

3.2.2 Plastificante

Plastificantes são normalmente moléculas de baixa massa molar, alto ponto de fusão e baixa volatilidade, que podem ser adicionados a sistemas poliméricos de alto peso molecular para diminuir as interações intra e intermoleculares (ligações de hidrogênio) entre as cadeias poliméricas, promovendo uma maior flexibilidade. Os plastificantes podem também atuar como lubrificantes da cadeia polimérica. Este comportamento ocorre porque o plastificante ao enfraquecer as forças intermoleculares entre as cadeias aumenta o volume livre do sistema (MARTINS, 2010; PORTO, 2007).

De acordo com Sousa (2012) os plastificantes são, em geral, adicionados na proporção de 10 a 60 g/100 g de matéria seca, dependendo do grau de rigidez do material. Porém, dependendo da concentração em que são empregados, podem causar um efeito chamado antiplastificante, isto é, ao invés de aumentar a flexibilidade e hidrofiliabilidade, podem causar um efeito contrário. Geralmente, isto ocorre quando são empregadas pequenas concentrações de plastificante (abaixo 20 g/100 g), então o plastificante interage com a matriz polimérica, mas não está em

quantidade suficiente para aumentar a mobilidade molecular, fenômeno também dependente das condições de armazenamento.

O amido natural apresenta ponto de fusão acima de sua temperatura de degradação, sendo necessário adicionar um plastificante para diminuir sua temperatura de fusão para realizar seu processamento (SOUSA, 2012).

Segundo SILVA (2011 apud Liu e Han, 2005), sem plastificantes, a amilose e a amilopectina formariam um filme com uma estrutura bifásica, que teria uma fase rica em amilose e outra fase rica em amilopectina. As interações entre as moléculas de amilose e as da amilopectina podem ser tão fortes, que os filmes de amido tornam-se quebradiços e rígidos. A existência dos plastificantes nos filmes de amido ajuda a interromper a formação de dupla hélice da amilose com fragmentos da amilopectina, reduzindo assim a interação entre a amilose e as moléculas da amilopectina, formando um filme flexível (SILVA, 2011).

Para selecionar um dispersante para determinada aplicação, devem ser consideradas algumas características essenciais, tais como:

- Compatibilidade, que pode ser entendida como atração relativa entre polímero e plastificante;
- Permanência, que depende da volatilidade e suscetibilidade à extração;
- Eficiência, que depende do poder de solvatação (AZEVEDO; ALMEIDA; SANTOS, 2017).

Entre os plastificantes mais comuns empregados em filmes biodegradáveis a base de amido incluem o glicerol e o sorbitol, mas a sacarose, a uréia e o polietilenoglicol também podem ser empregados, materiais estes que interagem com as cadeias de amido, aumentando a mobilidade molecular e, conseqüentemente, a flexibilidade dos seus filmes (SOUSA, 2012; MANIGLIA et al., 2019). Os efeitos provocados pelo glicerol são mais acentuados que os provocados pelo sorbitol. O glicerol interage com as cadeias de amido, aumentando a flexibilidade dos seus filmes. Outro efeito é o aumento da hidroflicidade e permeabilidade ao vapor de água (NETO, 2016).

Abdorreza, Cheng e Karim (2011) concluíram em seu trabalho que plastificantes como glicerol podem penetrar na rede de amido rápida e facilmente para formar um filme mais forte e mais espesso do que o filme não plastificado. Entretanto, na mesma concentração de plastificantes e na mesma umidade relativa e temperatura, os filmes de glicerol tendem a absorver mais umidade que os filmes de sorbitol. A água também desempenha um papel plastificante, de modo que os filmes plastificados com glicerol eram mais flexíveis que os filmes plastificados com sorbitol.

Finalmente existe uma classe de plastificantes não-convencionais, pouco solúveis em água e que está merecendo muita atenção, sobretudo na pesquisa sobre filmes protetores de fármacos. Os citratos estão sendo muito citados como referência de plastificantes (SANTANA, 2010).

3.2.3 Reticulante

O uso de polímeros naturais para obtenção de filmes pode apresentar como desvantagem, a alta solubilidade em água. A afinidade pela água aumenta a velocidade de degradação; contudo, esta sensibilidade à umidade pode limitar a sua aplicação. Uma das maneiras de contornar este problema é realizar ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas, tornando o polímero insolúvel em meio aquoso. Estas ligações podem ser formadas através de um processo de reticulação, através do qual, propriedades como estabilidade térmica e mecânica, e taxa de degradação, inerentes ao material, podem ser alteradas (PORTO, 2007; BANEGAS, 2008).

O método de reticulação envolve a formação de ligações químicas entre diferentes cadeias moleculares para gerar uma rede tridimensional mais forte. Existem várias classificações para os agentes de reticulação empregados. Eles podem ser classificados com base no tipo de ligação ocorrida, levando a reticulação covalente bem estabilizada, formação de ligações iônicas e reticulação física criada pelas ligações de hidrogênio e Van der Waals.

A possibilidade de introduzir agentes de reticulação na estrutura dos biopolímeros depende extremamente do arranjo químico, presença de grupos ativos e peso molecular dos biopolímeros, bem como compatibilidade do reticulador e polímero para formar interações apropriadas.

As características funcionais de um filme biodegradável resultam de um equilíbrio entre o grau de reticulação e a ação de plastificantes. Os biofilmes preparados a partir de polissacarídeos têm sido submetidos a processos de reticulação visando diminuir a solubilidade em água (BANEGAS, 2008).

A reação entre o agente reticulante e a matriz polimérica é um processo que ocorre quando cadeias lineares ou ramificadas são interligadas por ligações covalentes, um processo conhecido como ligação cruzada, ou seja, ligações entre moléculas lineares produzindo polímeros tridimensionais com alta massa molar. Com o aumento da reticulação, a estrutura se torna mais rígida (ABREU JÚNIOR, 2017; GARAVAND et al., 2017).

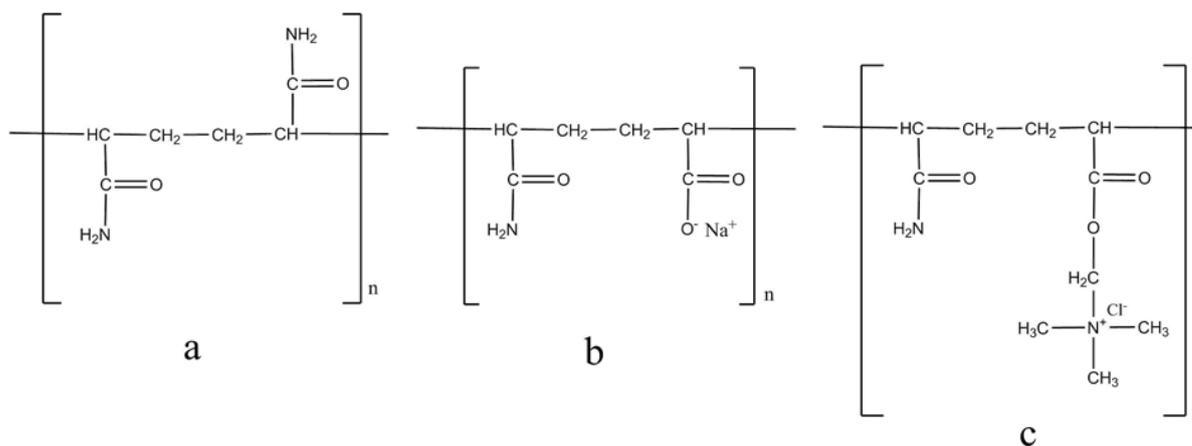
Neste experimento utilizou-se a poliacrilamida catiônica (PAMc) como agente reticulante.

A poliacrilamida (PAM) foi desenvolvida em 1950 por uma empresa americana, que a patenteou com uma capacidade de absorver água deionizada 20 vezes a sua massa. Com a expiração da patente nos anos 70, uma empresa britânica melhorou a propriedade de retenção de água do polímero elevando sua capacidade de retenção para 40 vezes e em 1982 para 400 vezes (ALCÂNTARA et al., 2010).

Poliacrilamida, é um polímero orgânico sintético derivado da acrilamida, bastante solúvel em água, de alta massa molar e amorfo. Pode ser sintetizado como polímero neutro, aniônico ou catiônico onde a quantidade de carga pode ser variada por hidrólise (SEYBOLD, 1994). Os mais importantes polímeros sintéticos para a indústria mineral são as poliacrilamidas. A aparência da poliacrilamida, quando seca, é granular, quebradiça e branca, porém torna-se macia e elástica quando hidratada. As poliacrilamidas são substâncias insolúveis em água, mas possuem capacidade de absorver até mais de cem vezes a sua própria massa em água (AZEVEDO et al., 2002).

A síntese da poliacrilamida pode resultar tanto em homopolímeros como em copolímeros classificados em: aniônicos, catiônicos e não iônicos como mostra na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura da poliacrilamida não-iônica (a), aniônica (b) e catiônica (c).



Fonte: próprio autor.

A poliacrilamida catiônica ou aniônica (polieletrólitos) é produzida pela copolimerização de acrilamidas com monômeros catiônicos ou aniônicos adequados ou por uma das variedades de sequência de reações de pós-polimerização, iniciando com a poliacrilamida homopolímero (FREITAS, 2016).

A poliacrilamida tem muitas aplicações devido à sua solubilidade em água e às propriedades químicas e físicas versáteis. É usado como floculante em águas residuais e água potável, para fortalecer papel e cartão, como agentes de adesão e inundação para recuperação de petróleo, como agentes estabilizadores de solo, em fluidos de corte, em eletroforese em gel, em sabões, como agente espessante e em aplicações têxteis. O tratamento de águas residuais é o maior e a indústria de papel e celulose é o segundo maior usuário de PAM (SEYBOLD, 1994).

A poliacrilamida não é tóxica para o homem, animais, peixes e plantas. Já o monômero acrilamida, utilizado na síntese do polímero, sim. No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) estabelece como limite para descarte de acrilamida em águas doces a concentração de 0,5 ppb (LIMA, 2008).

3.3 Palmeira de Babaçu

Na vegetação das regiões Norte e Nordeste do Brasil proliferam diversos tipos de palmeiras, árvores da família *Arecaceae*. Especificamente na zona de transição entre as florestas úmidas da bacia amazônica e as áreas secas do nordeste brasileiro, existe uma vegetação

conhecida como Mata de Cocais, na qual predominam a palmeira babaçu e carnaúba (CARDOSO, 2017).

A Mata dos Cocais ocupa cerca de 18 milhões de hectares, distribuídos nos estados do Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, Amazonas e Pará. O Maranhão concentra mais da metade dessa área (cerca de 10 milhões de hectares) e, junto com o Piauí, apresenta zonas de alta densidade, com populações superiores a 200 palmeiras por hectare (MANIGLIA, 2017; LEAL, 2017; SOUSA, 2016).

O babaçu merece destaque por contribuir com a renda de famílias de rurais dos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins, nos quais seu extrativismo é forte e proporciona ocupação para milhares de famílias. O fruto do babaçu é responsável por quase 30% da produção brasileira de extrativos vegetais, empregando mais de dois milhões de pessoas. (ALMEIDA Jr et al, 2016, p. 54-65 apud BARBOSA, 2008; PRAZERES, SANTOS, CARDOSO, 2016, p. 107; ALMEIDA, COSTA, MACIEL, 2016, p. 391).

A palmeira babaçu, cujo nome científico é *Attalea speciosa Mart. ex Spreng* (Figura 3) é uma planta solitária que pode atingir entre 10 a 20 metros de altura com folhas (chamadas de palha) que podem chegar até 8 metros de comprimento. Os frutos do babaçu, denominados cocos babaçu, ocorrem em cachos (SOUSA, 2016).

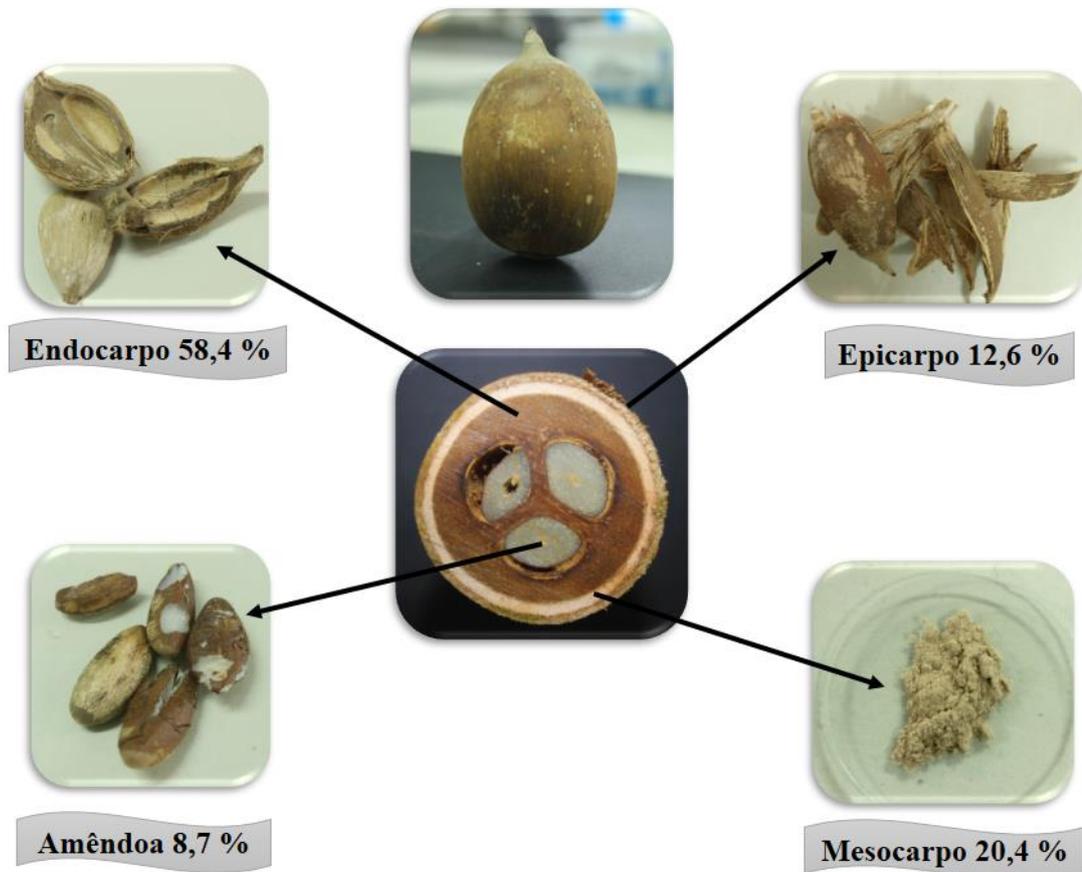
Figura 3 - Palmeira de babaçu (A) e cacho de cocos babaçu (B)



Fonte: próprio autor.

A maior concentração de palmeiras babaçu é no Maranhão onde um quarto do território maranhense é coberto por babaçuais. A frutificação da palmeira babaçu se inicia aos oito anos e atinge sua produção plena aos 15 anos. O fruto cresce em cachos (200 a 300 por cachos), pesando de 90 a 280 gramas. Uma palmeira pode ter uma produção média anual de até 2.000 frutos. O fruto é constituído por três camadas. A camada filamentos externa é denominada epicarpo; a camada amilácea intermediária forma o mesocarpo; e uma camada lenhosa interna constitui o endocarpo. No interior do endocarpo encontram-se as amêndoas (Figura 4). O epicarpo corresponde a 12,6%, o mesocarpo 20,4%, o endocarpo a 58,4% e as amêndoas a 8,7% do peso do fruto (TÔRRES, 2014).

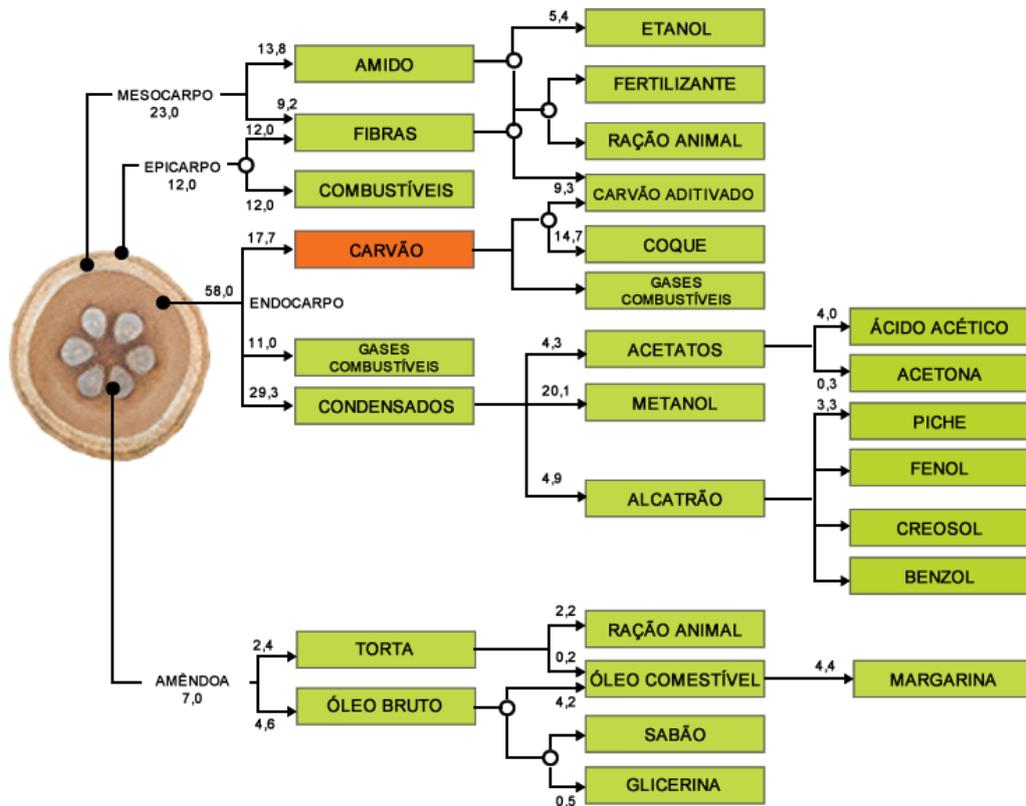
Figura 4 - O coco babaçu e suas partes constituintes.



Fonte: próprio autor.

Todas as partes do coco babaçu podem ser processadas para dar origem a diversos produtos e subprodutos. A Figura 5 mostra um resumo dos produtos e subprodutos que podem ser gerados a partir das partes do babaçu.

Figura 5 - Produtos e subprodutos do coco babaçu.



Fonte: <http://florestasbrasileiras.com/index.php?cont=aplicacao> (trad. Anderson, 1983).

A parte do coco de maior valor comercial é a amêndoa da qual se extrai o óleo que é matéria-prima de diversos produtos de alto valor agregado como: óleo comestível, sabões e tensoativos. As outras partes do coco são geralmente deixados no campo ou transformados em carvão para uso domiciliar. Outra parte do coco que tem uso popular é o mesocarpo com o qual se produz a farinha do mesocarpo de babaçu. A farinha de mesocarpo é largamente utilizada na medicina popular com indicações no tratamento de diversas doenças, além do uso como suplemento alimentar (LEAL, 2017).

3.4 Mesocarpo de Babaçu

O mesocarpo é a camada marrom-clara que se localiza abaixo do epicarpo, mede de 0,5 a 1,0 cm de espessura e representa de 17 a 22 % do peso do fruto. À medida que o fruto envelhece o mesocarpo vai adquirindo rigidez lenhosa e cor castanho-avermelhada.

O mesocarpo, quando fresco produz uma farinha (Figura 6) que tem a cor castanho claro devido aos taninos.

Figura 6 - Mesocarpo de babaçu.



Fonte: próprio autor.

De acordo com Maniglia (2017 apud EMBRAPA, 1984), o mesocarpo é composto por 64 a 71% de amido; 1,54 % de proteínas; 0,27 % de lipídeos; 1,25 % de glicídios solúveis; 2,51 % de fibras; 14,90 % de umidade e 11,23 % de outras substâncias orgânicas como aminoácidos, hemicelulose e pentosanas. A farinha de mesocarpo de babaçu tem um teor proteico acima de 2% em peso e pode ser utilizada para alimentação humana e animal.

Através deste mesocarpo se produz a farinha do babaçu que pode ser usada como alimento ou ração, em função do conteúdo orgânico e mineral, possuindo constituintes 18 essenciais ao organismo e contribuindo desta forma na nutrição humana. Estudos sobre a incorporação da farinha do mesocarpo de babaçu nas dietas regionais brasileiras têm-se referido a esta, como fonte de nutrientes para a complementação proteica e de energia (amido) e ainda de fração fibra alimentar (CAVALCANTE NETO, 2012). Devido à composição rica em amido deste resíduo, este material se apresenta como um material promissor na produção de filmes biodegradáveis.

4 PARTE EXPERIMENTAL

Nesta seção serão descritos os procedimentos, bem como os materiais, reagentes e equipamentos utilizados na execução deste trabalho.

4.1 Materiais e equipamentos

A farinha de mesocarpo de babaçu foi concedida pela empresa Florestas Brasileiras S.A., localizada na Rod. BR 222, Km 216, Itapecuru Mirim – Maranhão. O glicerol P.A. foi adquirido da Synth, o hidróxido de sódio P.A. e peróxido de hidrogênio 30% P.A. foram adquiridos da Isofar, a poliacrilamida catiônica foi adquirida da Sigma-Aldrich. Os reagentes foram utilizados sem prévia purificação. Em todo o experimentos utilizou-se água deionizada purificada em sistema Milli-Q Academic (Millipore S.A).

Além das vidrarias comuns de laboratório, utilizou-se os seguintes equipamentos para o experimento: agitador magnético com aquecimento (modelo 752A, Fisaton, Brasil); manta aquecedora com agitação magnética (modelo 52M, Fisaton, Brasil); balança analítica (modelo AUW 220D, Shimadzu e BK2000, GEHAK); bomba de vácuo (modelo Q955P2, QUIMIS); kit de peneiras para análise granulométrica redondas de inox (A bronzinox, Brasil); banho ultason ultraclean (modelo USC-1600A, UNIQUE); paquímetro digital Stainless Hardened com resolução 0,01 mm e exatidão 0,02 mm.

4.2 Metodologia

4.2.1 Caracterização da farinha de mesocarpo de babaçu

A farinha de mesocarpo de babaçu foi submetida a análises físico-químicas para determinação teor de umidade, proteínas, lipídios, carboidratos totais, amido e cinzas. As análises foram feitas no Laboratório de Físico-Química de Alimentos do Programa de Controle de Qualidade de Alimentos e Água da UFMA, seguindo a metodologia de análises físico-químicas de alimentos do Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008).

4.2.2 Extração do amido do mesocarpo de babaçu

A extração do amido foi feita de acordo com a metodologia de Gomes (2017) com modificações. Inicialmente, uma amostra da farinha de mesocarpo de babaçu foi macerada e

em seguida, foi passada por uma série de peneiras de 60, 80, 100, 140 e 200 mesh (250, 180, 150, 106 e 75 μm , respectivamente). Em seguida, 20 g da farinha peneirada (utilizou-se a farinha com granulometria menor que 75 μm) foram misturados com água deionizada. A suspensão foi filtrada a vácuo. Seguiu-se uma lavagem com água e depois outra lavagem com solução de NaOH 0,05 M.

4.2.3 Oxidação do amido

Após a extração, 10 g do amido foram dispersos em 72 mL de água e postos levou-se para aquecer com agitação a temperatura de $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}$. Em seguida, adicionou-se 1,78 mL de peróxido de hidrogênio 30 % em intervalos regulares de 10 minutos até o tempo final de 1 hora. Passado esse tempo, a suspensão foi filtrada a vácuo em funil de Buchner e lavada com água. Após a filtração, o sólido retido no papel de filtro foi posto para secar em temperatura ambiente durante 4 dias.

4.2.4 Caracterização do amido

A farinha de mesocarpo de babaçu, o amido extraído do mesocarpo de babaçu, o amido oxidado foram caracterizados utilizando Difração de Raio X, Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier e Microscopia Eletrônica de Varredura.

4.2.4.1 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As amostras da farinha de mesocarpo, do amido extraído e do amido oxidado foram analisadas utilizando o equipamento IR Prestige-21 FTIR (Shimadzu) com transformada de Fourier, com intensidade de modos vibracionais expressos em Transmitância. A técnica utilizada foi de pastilha de brometo de potássio seco, pulverizado e prensado para formar discos transparentes. As análises foram realizadas nas seguintes condições: região de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} , com 60 varreduras.

4.2.4.2 Análise de difração de raios-X (DRX)

A estrutura cristalina das amostras da farinha de mesocarpo de babaçu, do amido extraído e do amido oxidado foram investigadas através da difração raios-X em pó usando-se

um difratômetro D8 Advance da Bruker equipado tubo de radiação Cu-K α (40 kV, 40 mA) com ângulo 2 θ variando de 4° a 60° (2 θ) (0,03°/passo com 0,5 s/passos).

4.2.4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A morfologia da farinha de mesocarpo de babaçu, do amido extraído e do amido oxidado foi investigada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). As análises foram realizadas em alto vácuo, tensão de aceleração de elétrons de 15 k. Antes de serem levadas ao microscópio, as amostras foram depositadas sobre fita adesiva de carbono dupla face. Não houve metalização. O equipamento utilizado foi modelo TM3030 Plus Tabletop Microscope, marca HITACHI.

4.2.5 Preparo de filmes de amido de babaçu

O preparo dos filmes de amido de mesocarpo de babaçu seguiu a metodologia descrita por Maniglia (2017) e Abreu (2017) com modificações. Tendo a base polimérica o amido de mesocarpo de babaçu, o glicerol como plastificante e a poli(acrilamida) catiônica como reticulante.

Foram preparados os seguintes filmes:

FILME 1: amido extraído com plastificante

FILME 2: amido extraído com plastificante e reticulante

FILME 3: amido oxidado com plastificante e reticulante

No preparo do FILME 1 foram utilizados 4,0 g do amido extraído que foram suspensos em 100,0 g de água. A suspensão foi agitada a 500 rpm por 30 minutos em uma manta aquecedora com agitação magnética em temperatura ambiente. Após este período, adicionou-se 1,0 g do plastificante glicerol, mantendo a solução filmogênica a 84 °C \pm 2 por 30 minutos sob agitação magnética de 500 rpm. Em seguida, realizou-se a remoção de bolhas e do ar dissolvido, mantendo a suspensão filmogênica em um banho ultrassônico por 15 minutos. Posteriormente, a suspensão foi vertida sobre placas de Petri (diâmetro 15 e 10 cm) e deixou-se secar em temperatura ambiente por 4 dias. Finalmente, os filmes foram removidos das placas e armazenados em dessecadores contendo sílica em gel.

No procedimento de preparação dos filmes de amido com poliacrilamida uma porção do amido extraído de mesocarpo (FILME 2) ou amido de mesocarpo oxidado (FILME 3), 4 g do respectivo amido foi suspenso em 100,0 g de água junto com 0,2 g de poliacrilamida catiônica (PAMc), a suspensão foi mantida em agitação constante a 500 rpm por 30 minutos em uma manta aquecedora com agitação magnética em temperatura ambiente. Em seguida, adicionou-se 1,0 g do glicerol, mantendo a solução filmogênica a $84\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ por 45 minutos sob agitação magnética de 500 rpm.

Realizou-se a remoção de bolhas de ar dissolvido, mantendo a suspensão filmogênica em um banho ultrassônico por 15 minutos. Posteriormente, a suspensão foi vertida sobre placas de Petri (diâmetro 15 e 10 cm) e deixou-se secar em temperatura ambiente por 4 dias. Finalmente, os filmes foram removidos das placas e armazenadas em dessecadores contendo sílica em gel.

4.2.6 Caracterização morfológica dos filmes

Os filmes obtidos foram caracterizados utilizando Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier modo de reflectância total atenuada (FTIR- ATR) e análise de propriedades mecânicas.

4.2.6.1 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR - ATR)

Para as análises dos filmes utilizou-se o modo de reflectância total atenuada (ATR). As análises foram realizadas nas seguintes condições: região de 3900 a 750 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} com 150 varreduras.

4.2.7 Propriedades Mecânica

As propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas pelo ensaio de tração utilizando-se uma máquina universal de ensaios Biopdi de 100 KN. Amostras de 80 mm de comprimento x 20 mm de largura foram fixadas nas garras do equipamento (separação inicial das garras de 38,45 mm, em média), com velocidade fixada em 12,5 mm/min. A deformação ou alongamento na ruptura (ϵ), a tensão na ruptura – TR (σ) e o módulo de Young (E) foram determinados de acordo com a norma ASTM D882-9. Foram realizadas três repetições para obter as médias e desvios-padrão para cada ensaio. No ANEXO 1 estão apresentados os resultados dos ensaios.

A tensão de ruptura - TR (σ) é calculada utilizando-se a Equação 1, na qual a força máxima de rompimento do filme é dividida pela área da seção transversal inicial da amostra de filme.

$$TR = \frac{Fm}{A} \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

TR é a tensão na ruptura (MPa);

Fm é a força máxima no momento da ruptura (N);

A é a área da seção transversal do filme (mm^2).

A deformação elástica longitudinal, ε , é definida como o efeito da tensão em um material, relacionando-se à alteração nas dimensões originais do material e é expressa como variação do comprimento inicial (CARAM, 2000). Foi determinado pela Equação 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

ε é a deformação elástica longitudinal (%);

Δl é a distância final de separação da garra (mm);

l_0 é a distância inicial de separação (mm).

O ensaio de tração revela duas fases distintas: a elástica e a plástica. Na fase elástica um dos principais parâmetros que o ensaio de tração permite revelar é o módulo de elasticidade do material (CARAM, 2000).

O módulo de elasticidade ou módulo de Young (E) é uma grandeza que é proporcional à rigidez de um material quando este é submetido a uma tensão externa de tração ou compressão. Basicamente, é a razão entre a tensão aplicada e a deformação sofrida pelo corpo,

quando o comportamento é linear (ABREU Jr., 2017). A equação 3 mostra como determinar o módulo de Young.

$$E = \frac{TR}{\varepsilon} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde: E é o módulo de elasticidade ou módulo de Young (MPa);

TR é a tensão na ruptura (MPa);

ε é a deformação elástica longitudinal (%).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da farinha de mesocarpo de babaçu

5.1.1 Análise centesimal

Os teores de umidade, proteínas, lipídios, carboidratos e cinzas obtidos na análise centesimal do mesocarpo do coco babaçu estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição centesimal da farinha do mesocarpo do babaçu utilizada.

Componentes	Amostra pura (g/100g)
Umidade	10,6
Proteínas	3,51
Lipídeos	0,52
Cinzas	0,47
Amido	59,43
Carboidratos	75,06
Valor calórico (kcal)	310,28

Fonte: próprio autor

O mesocarpo de babaçu usado neste trabalho apresentou teor de amido, umidade e lipídeos maiores e teor de proteína e cinzas menores quando comparado com outras caracterizações publicadas na literatura (SOUSA Jr et al., 2017; SOUSA, 2016; MANIGLIA, 2017). Entretanto, todas as caracterizações indicam que o mesocarpo de babaçu é um material rico em carboidratos, dos quais o amido é o principal.

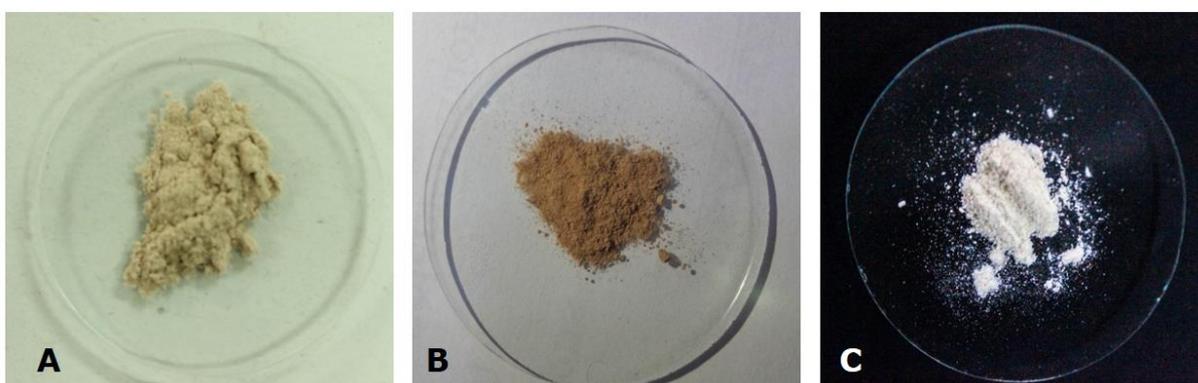
5.2 Extração do mesocarpo de babaçu

O processo de extração do mesocarpo de babaçu produziu um material na forma de pó, mais escuro que a farinha de mesocarpo original (Figura 7 A e B). As micrografias obtidas por MEV mostraram que o material é constituído principalmente por grânulos de formato ovoide.

5.3 Oxidação do amido de mesocarpo de babaçu

A oxidação do amido extraído do mesocarpo de babaçu foi realizada com peróxido de hidrogênio. Durante a reação observou-se uma intensa formação de espuma, devido à aceleração da decomposição do H_2O_2 . Visualmente é perceptível que o processo de oxidação tornou o amido mais branco em comparação com amido extraído e com a farinha de mesocarpo (Figura 7).

Figura 7 – Farinha do mesocarpo de babaçu (A), amido extraído (B) e amido oxidado (C).



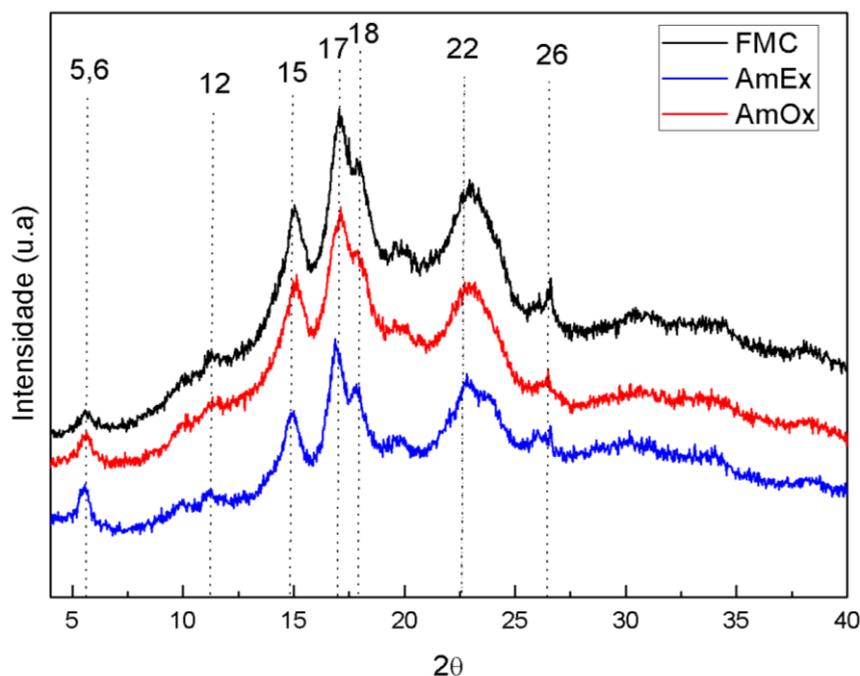
Fonte: próprio autor.

5.4 Caracterização morfológica das matérias primas

5.4.1 Difração de raios - X (DRX)

A Figura 8 apresenta os difratogramas de raios-X da farinha de mesocarpo de babaçu (FMC), do amido extraído (AmEx) e do amido oxidado (AmOx). Os três materiais exibiram os mesmos 7 picos, mas com diferentes intensidades em: 5,6, 12, 15, 17, 18, 22 e 26° (2θ).

Figura 8 - Difratomogramas de raios-X da farinha de mesocarpo de babaçu, amido extraído e amido oxidado.



Fonte: próprio autor.

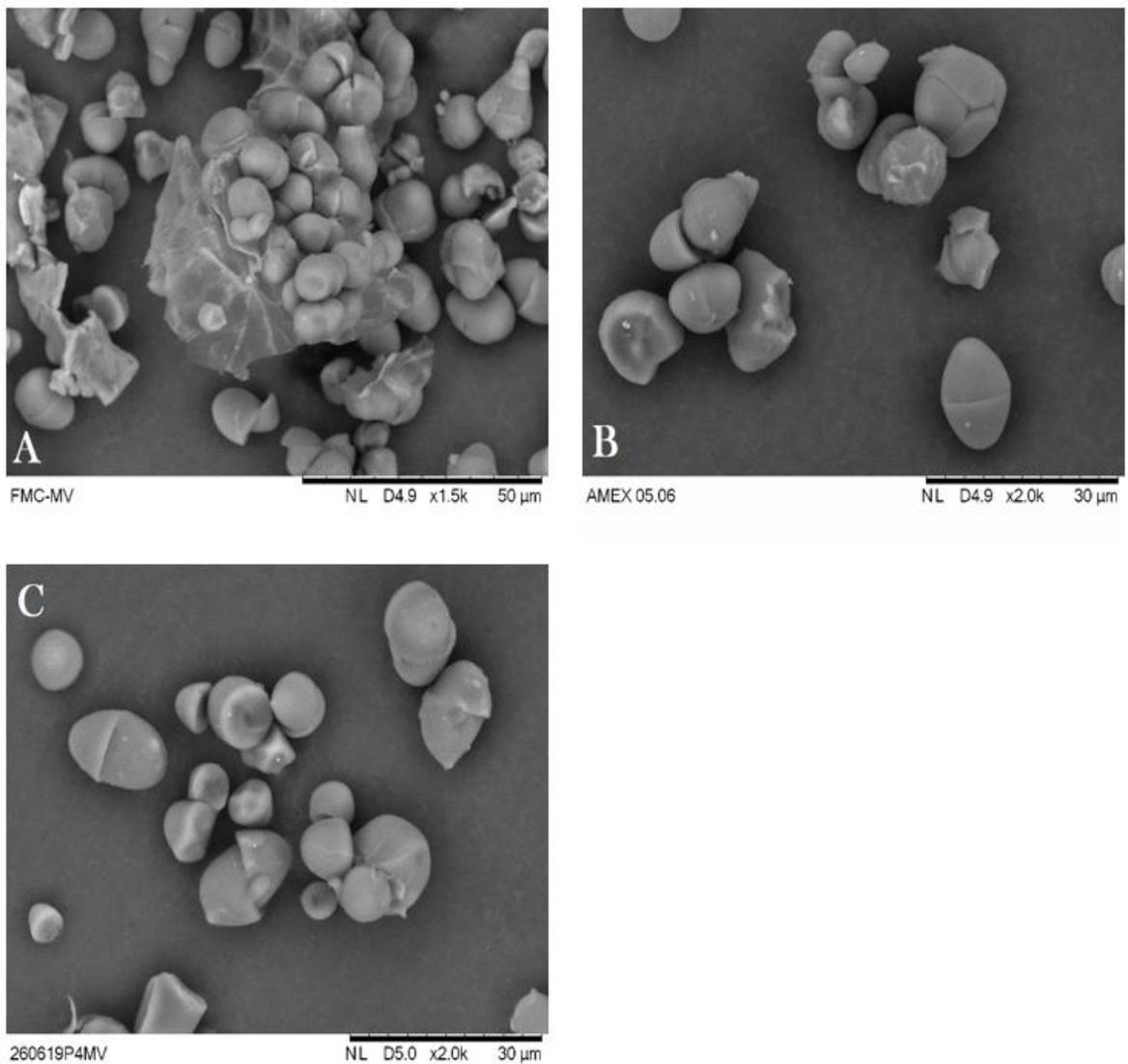
Os picos próximos a 5° , 17° , 18° , 22° e 26° (2θ) são característicos de amido tipo A. Porém também são observados picos próximos a 12° e 15° que são característicos de amido tipo B. Portanto, estes materiais apresentam característica de uma mistura de amido tipo A e B, chamado amido tipo C (LEAL, 2017; CORRADINI et al., 2005; MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016). Amido tipo C é normalmente encontrado em amidos de raízes e legumes, mas também foi encontrado em amidos de frutas (PELLISSARI et al., 2012) e de castanhas (CORREIA; BEIRÃO-DA-COSTA, 2012). Leal (2017) diz que esses polímeros não são estritamente amorfos, mas as regiões cristalinas presentes em polímeros semicristalinos, muitas vezes não exibem intensidades de dispersão de raios-X suficientemente detectáveis.

Os difratogramas de raios-X dos amidos e da farinha apresentaram comportamento semelhante, com característica de material semi-cristalino (presença de zonas amorfas e cristalinas). A oxidação não afetou significativamente a estrutura cristalina do grânulo que conservou o padrão tipo C do amido não modificado, porém observou-se um aumento na intensidade dos picos.

5.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As micrografias da farinha do mesocarpo do coco babaçu (FMC), amido extraído (AmEx) e amido oxidado (AmOx) obtidas por MEV são mostradas na Figura 9. A morfologia dos grânulos foram analisadas no MEV buscando identificar as alterações provocadas pelas modificações, em sua estrutura quanto à forma, tamanho e integridade.

Figura 9 - Micrografias obtidas por MEV do mesocarpo do coco babaçu com aumento de 1500x (A), amido extraído (B) e amido oxidado (C) com aumento de 2000x.



Fonte: próprio autor.

A Figura 9 (A) mostra que o mesocarpo de babaçu apresenta grânulos de amido aprisionados entre fibras. Maniglia (2017) relatou que no mesocarpo nativo que esses aglomerados se formam com proteínas, lipídeos e fibras.

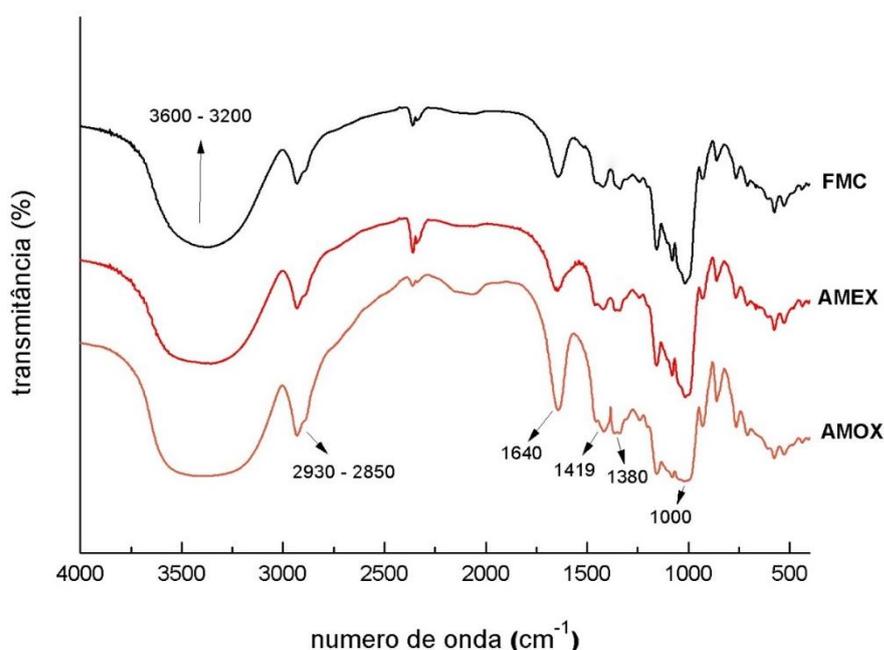
O processo de extração do amido em pH alcalino foi eficiente para romper a estrutura fibrosa e para liberar os grânulos de amido dos compostos que o aprisionavam (Figura 9 B). A Figura 9 (B e C) mostra grânulos sem presença visível de outros compostos e com superfícies lisas, indicando que os processo de extração e oxidação promoveram a retirada dos constituintes relacionados à formação de aglomerados (LEAL, 2017). De modo geral, os grânulos de amido, apresentaram formato oval e não exibiram quaisquer ranhuras.

Ferrari e Soler (2015) atribuíram forma angular aos grânulos do amido do mesocarpo de babaçu natural, e relacionaram similaridade com a forma do grânulo do amido de milho.

5.4.3 Espectroscopia no Infravermelho com Transformação de Fourier (FTIR)

A Figura 10 apresenta os espectros de infravermelho da farinha de mesocarpo (FMC), do amido extraído (AmEx) e amido oxidado (AmOx).

Figura 10 - Espectros no infravermelho da FMC, AmEx e AmOx.



Fonte: próprio autor.

De modo geral os espectros apresentam o aspecto característico de cadeias de polímeros nas quais a elevada massa molar frequentemente origina sobreposição de frequências de vibração. A Tabela 2 apresenta as absorções das bandas características das matérias prima.

Tabela 2 - Atribuições das bandas características das matérias primas

Número de onda (cm⁻¹)	Atribuição a FMC	Atribuição a AmEx	Atribuição a AmOx
3600 – 3200	OH	OH	OH
2930, 2850	CH ₂ e CH ₃	CH ₂ e CH ₃	CH ₂ e CH ₃
1640	OH da agua	OH da agua	OH da agua
1419,1380			CO
1047, 1022		CO	

Fonte: próprio autor.

Uma característica presente nas três amostras é a banda larga em torno de 3600-3200 cm⁻¹ que pode ser atribuída às vibrações de estiramento das ligações OH, pela presença de interações intra e intermoleculares das ligações de hidrogênio (SILVERSTEIN, WEBSTER e KIEMLE, 2007). Em 2930 cm⁻¹ observa-se uma banda bem definida devido a vibrações de alongamento das ligações C-H (MANIGLIA, 2017). De acordo com Carvalho (2017) essas bandas são características das deformações axiais simétricas e assimétricas dos grupos CH₂ e CH₃ provenientes de cadeias de aminas. Segundo Maniglia (2017) a intensidade das bandas entre 2900 e 2800 cm⁻¹ pode estar relacionada também às variações na quantidade de amilose e amilopectina presentes nos amidos, pois um menor teor de amilose resulta numa maior intensidade dessas bandas. É comum observar em espectros de amido, diversas bandas entre 950 e 1200 cm⁻¹, devido a estiramentos da ligação CO, com ênfase para as bandas a 1047 e 1022 cm⁻¹, que são sensíveis a alterações na cristalinidade do polímero (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016).

Nos modos vibracionais do amido oxidado são observados dois picos de baixa intensidade (em 1419 e 1380 cm⁻¹) devido ao estiramento da ligação CO. Estes modos vibracionais não estão presentes no amido extraído e confirmam a presença de grupos

carboxílicos e a modificação na estrutura química do material oxidado quando comparado com a estrutura amido extraído.

As bandas de absorção dos espectros de FTIR da farinha de mesocarpo de babaçu e dos amidos foram similares aos relatados na literatura (MANIGLIA; TAPIA-BLÁCIDO, 2016).

5.5 Filme Biodegradável

5.5.1 Aspecto visual

Foram obtidos três filmes com diferentes composições. O FILME 1 é constituído por amido extraído e glicerol (Figura 11A). Esse filme apresentou-se maleável, uniforme, sem presença de ranhuras ou falhas e sua coloração é escura e sua transparência é reduzida. Após o processo de secagem foi facilmente retirado da placa. O FILME 2 foi preparado com o amido extraído e poliacrilamida catiônica e glicerol. A adição da poliacrilamida não provocou modificações visuais perceptíveis a olho nu (Figura 11B). O FILME 3, produzido a partir de amido oxidado com poliacrilamida catiônica e glicerol, apresentou transparência acentuada quando comparado com FILME 1 e FILME 2. Não foram perceptíveis fraturas, bolhas ou irregularidade ou pontos de aglomeração no filme. Ao contrário, o FILME 3 apresentou a aparência bastante homogênea (Figura 11).

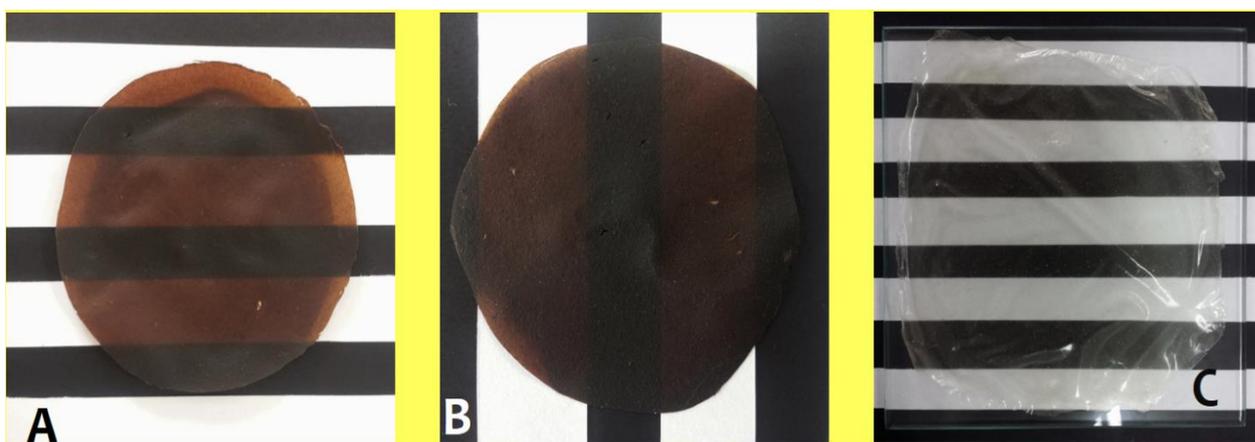


Figura 11 - Aspecto visual do FILME 1 (A), FILME 2 (B) e FILME 3 (C).

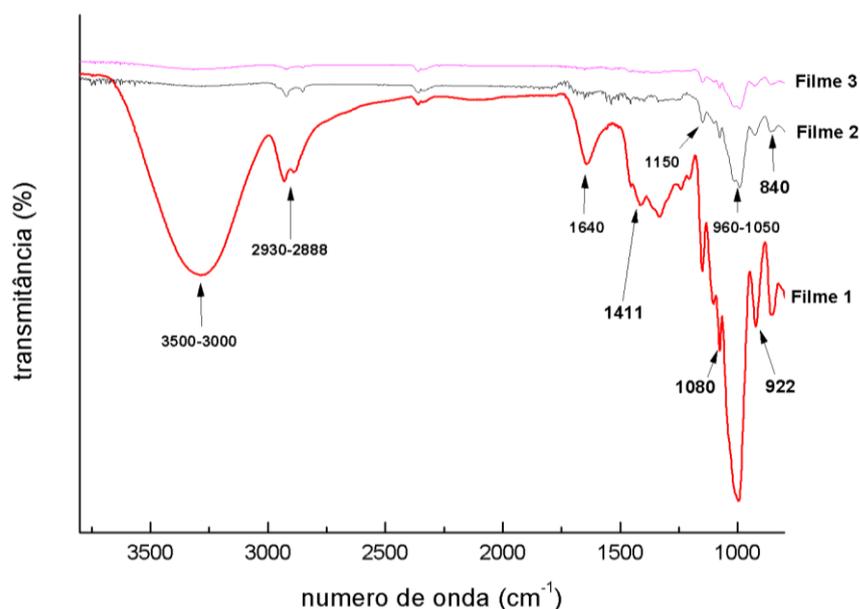
Fonte: próprio autor.

As características de transparência, opacidade e cor dos filmes e dos revestimentos são de grande importância, uma vez que podem influenciar a valorização do produto final.

5.5.2 Espectroscopia no Infravermelho com Transformação de Fourier (FTIR - ATR)

Os FILMES 1, 2 e 3 foram analisados por FTIR – ATR. Os modos vibracionais de cada filme são mostrados na Figura 12.

Figura 12 - Espectros no infravermelho dos FILMES 1, 2 e 3.



Fonte: próprio autor.

A Tabela 3 apresenta as absorções das bandas características dos filmes.

Tabela 3 - Atribuições das bandas características dos FILMES.

Número de onda (cm ⁻¹)	FILME 1	FILME 2	FILME 3
3500 - 3000	OH		OH
2930,2888	CH	CH	CH
1640	OH da água		
1150		C-O-C	
1080	CO		CO
1411, 840	CH		CH
922	OH		
912	C-OH, CH		C-OH, CH

Fonte: próprio autor.

O FILME 1 apresenta as absorções características do amido e absorções características do glicerol. Os modos vibracionais indicam uma banda larga na região de 3500-3000 cm^{-1} e representa a vibração de alongamento O-H; a banda entre 2930 e 2888 cm^{-1} é atribuída à vibração de estiramento CH; a banda observada em 1640 cm^{-1} pode ser associada às vibrações da deformação das moléculas de H_2O visto que os grupos hidroxila em moléculas de amido e do glicerol levam à absorção de água (MANIGLIA, 2017).

As bandas em 1150 cm^{-1} correspondem ao estiramento simétrico da ligação C-O-C e a banda intensa em 1080 cm^{-1} é associada a vibração da ligação C-O, que reduziram bastante de intensidade (LEOPOLDINO, 2017). Segundo Maniglia (2017) a banda em 1080 cm^{-1} e pequena em 912 cm^{-1} é típica dos carboidratos e está relacionada às deformações C-OH e CH_2 das moléculas de amidos. No FILME 1 nota-se a presença de deformação fora do plano C-H em 840 e 1411 cm^{-1} , banda de estiramento do grupo OH do glicerol em 922 cm^{-1} .

Nos filmes nos quais a poliacrilamida catiônica foi acrescentada (FILME 2 e 3) a modificação mais perceptível é a redução acentuada na banda de absorção na região de 3500-3000 cm^{-1} indicando uma alteração química provocada por interações da poliacrilamida com as hidroxilas do amido e do glicerol (NAKASON et al., 2010).

5.5.3 Propriedades mecânicas

Os três filmes sintetizados apresentaram espessura em torno de 0,11 mm. Esse valor corresponde à média de dez medidas realizadas com paquímetro em posições aleatórias no filme (Tabela 2). As propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas medindo-se a tensão de ruptura, a deformação e o Módulo de Young de cada filme. A Tabela 4 apresenta os valores obtidos.

Tabela 4 - Espessura, tensão e deformação na ruptura dos filmes.

Filmes	Espessuras (mm)	Tensão de ruptura (σ)(MPa)	Deformação (ϵ) (%)	Módulo de Young - <i>E</i> (MPa)
FILME 1	0,12±0,02	8,86±1,24	14,81±0,75	0,59±0,18
FILME 2	0,12±0,02	21,91±1,12	1,32±0,31	16,28±3,18
FILME 3	0,10±0,01	23,61±1,69	1,86±0,12	12,41±3,13

Nota: Média ± desvio-padrão. Fonte: próprio autor.

De acordo com a Tabela 2 o FILME 1 têm-se menores TR e E , em relação aos FILMES 2 e 3. A TR dos FILMES 2 e 3 variou de 21,91 para 23,61 Mpa. Essa mudança na tensão de ruptura parece ser devido somente a modificação estrutural do amido provocado pelo processo de oxidação. Estudando filmes à base de amido plastificados com glicerol, xilitol e manitol, encontraram valores de tensão e alongamento na ruptura na faixa de 9,7 - 15,3 MPa, ou seja, valores próximos aos deste trabalho em relação ao FILME 1 (ABREU Jr., 2017; MANIGLIA, 2017; SOUSA, 2016).

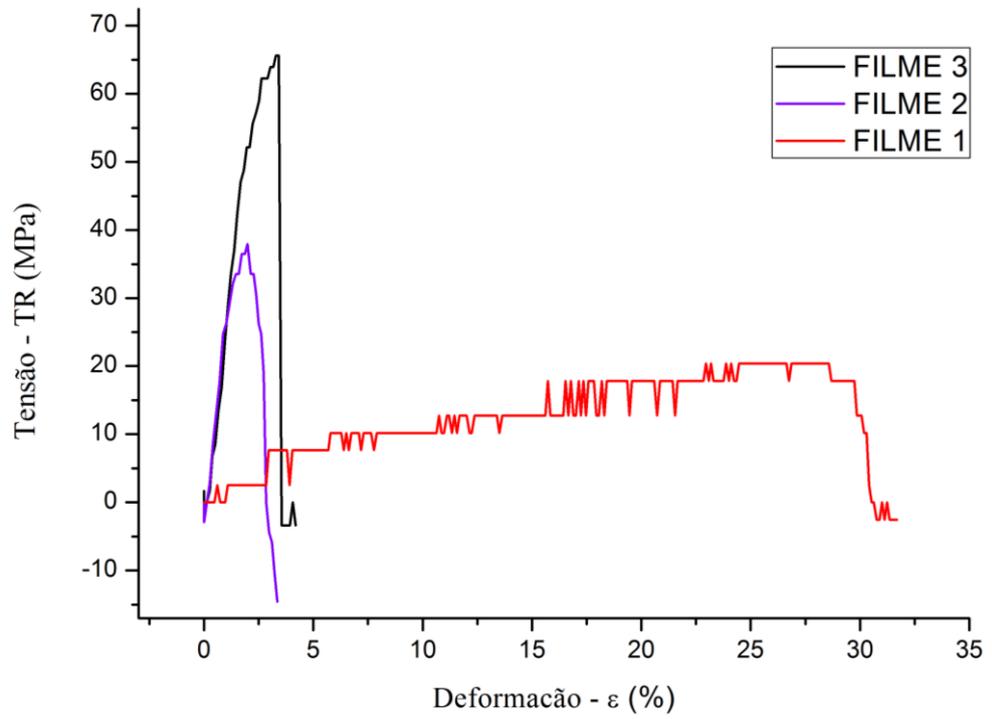
Houve diferenças significativas em termos de resistência (tensão), flexibilidade (deformação) e rigidez (módulo de Young) em função do tipo de matriz filmogênica.

Os FILMES 2 e 3 foram mais resistentes mecanicamente e menos flexíveis do que o FILME 1. Segundo Maniglia (2017) a amilose é importante para a formação do gel e a subsequente formação de filmes devido apresentar estrutura mais linear que a amilopectina e permitir que as moléculas se orientem paralelamente, aproximando-se de modo que favoreça a formação de ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila dos polímeros adjacentes, formando cristalitos. O FILME 1 apresentou maior flexibilidade.

Segundo Lenhani (2019) as propriedades desejadas de um filme variam conforme a sua aplicação. A espessura do filme é uma característica física importante, pois ao utilizá-lo como embalagem deve-se considerar a massa, tipo e volume do alimento a ser armazenado.

A Figura 13 mostra o gráfico dos valores máximos de TR e ϵ dos filmes. O FILME 1 apresentou maior deformação e o FILME 3 maior tensão à ruptura demonstrando que a PAMc teve grande influência quanto a TR e o glicerol quanto à deformação.

Figura 13 - Tensão máxima vs deformação máxima na ruptura.



Fonte: próprio autor.

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

6.1 Conclusões

Foi possível obter um filme de amido modificado de mesocarpo de babaçu e do amido nativo com poliacrilamida catiônica, que se trata de uma matéria-prima oriunda de fonte renovável e biodegradável.

O amido de mesocarpo de babaçu pode ser quimicamente modificado. Algumas de suas hidroxilas podem sofrer modificações químicas.

O filme 3 apresentou transparência, brilho plástico, flexibilidade, aspectos homogêneos na textura e fácil de manusear.

A adição da PAMc influenciou nas propriedades mecânicas dos filmes. Filmes com PAMc promoveu maior tensão à ruptura e módulo de Young, enquanto que filme só com glicerol observou-se maior valor de deformação. O filme de amido oxidado com poliacrilamida catiônica apresentou maior resistência à ruptura e rigidez.

O mesocarpo do coco babaçu mostrou-se uma fonte atraente de amido para a obtenção de plástico biodegradável. Apresenta grânulos de amido com forma predominantemente oval e estrutura cristalina típica de amidos do tipo C com características mais próximas de amidos do tipo A.

O amido de mesocarpo de babaçu mostrou-se um excelente material para formulação de filmes biodegradáveis, pois é uma matéria-prima de fonte renovável e de baixo custo

Os resultados obtidos neste trabalho sugerem que o amido de mesocarpo de babaçu é um material promissor com forte potencial no desenvolvimento de películas e revestimentos e biodegradáveis como embalagem de produtos alimentícios.

6.2 Perspectivas

Estudar o efeito da concentração do reticulante e/ou plastificante para as propriedades do filme.

Avaliar a toxidez do filme produzido com amido modificado e poliacrilamida.

Obter outras caracterizações do filme de amido modificado com poliacrilamida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDORREZA, Mohammadi Nafchi; CHENG, L. H.; KARIM, A. A. Effects of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 1, p. 56-60, 2011.

ABREU JÚNIOR, Aquiles Ferreira de. **Síntese e caracterização de biofilmes à base alginato de sódio reticulado com poliacrilamida catiônica**. 2017. 67 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

AFOLABI, T. A. et al. Functional and tableting properties of acetylated and oxidised finger millet (*Eleusine coracana*) starch. **Starch-Stärke**, v. 64, n. 4, p. 326–337, 2012.

ALCANTARA, MTS et al. Estudo da reticulação induzida por radiação gama de misturas de poliacrilamida aniônica e água. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais – CBECiMat, 21 a 25 de novembro de 2010, Campos do Jordão, SP, Brasil.

ALMEIDA Jr., E. B; AMORIM, I. F. F; MACHADO, M. A; CORRERIA, B. E. F; LACERDA, D. M. A; SANTOS-FILHOS, F. S. A economia do babaçu: das quebradeiras de coco às aplicações biotecnológicas. In: MACIEL, A. P. (Org). **Biocombustíveis de babaçu: Ensaio Técnico sobre oportunidades de produção de biocombustíveis a partir do coco de babaçu**. São Luís: EDUFMA, 2016. cap.2, p.65.

ALMEIDA Jr., E. B; da SIVA, A. N. F. LIMA; G. P, AMORIM, G. S; GUTERRES, A. V. F; SANTOS-FILHOS, F. S. Coco babaçu: descrição botânica da palmeira, importância ecológica e abundância regional. In: MACIEL, A. P. (Org). **Biocombustíveis de babaçu: Ensaio Técnico sobre oportunidades de produção de biocombustíveis a partir do coco de babaçu**. São Luís: EDUFMA, 2016. cap.1, p.47-54.

ASTM STANDARD D882-09. Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. In: **Annual book of ASTM Standards**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2002.

AZEVEDO, T. L. de F.; et al. Níveis de polímero superabsorvente, frequência de irrigação e crescimento de mudas de café *Acta Scientiarum*. v.24, n.5, p.1239-1243, 2002.

BANEGAS, S.R. **Filmes formados por Goma Aguar: Efeito do plastificante e agente reticulante nas propriedades térmicas, mecânicas e absorção de água.** 2008. 25f. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso. Bacharelado em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de ciências físicas e matemática departamento de química. Florianópolis. SC. 2008.

BARUQUE FILHO, E. A.; MARIA DA GRACA, A. B.; SANT'ANNA, G. L. Babassu coconut starch liquefaction: an industrial scale approach to improve conversion yield. **Bioresource technology**, v. 75, n. 1, p. 49–55, 2000.

BEM, Del; SBRAGIA, Marília. **Modificação química de amido de mandioca e aplicação em emulsão.** 2016. 117 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016.

C. H. PAGNO, B. ALEXANDRE, L. SCARTAZZINI, A. R MONTEIRO, A. O. RIOS, S. H. FLÔRES. Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis de farinha de amaranto (*Amaranthus caudatus*), **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Blucher Chemical Engineering Proceedings**, Volume 1, 2015, Pages 4155-4160, ISSN 2359-1757.

CAMPOS, Natália di Loreto. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis ativos de amido de semente de jaca.** 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2017.

CARAM JR., Rubens. Estrutura e propriedades dos materiais. Apostilha de aula. Campinas: Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2000.

CARDOSO, Ziel dos Santos. **Avaliação das características químicas e eletroquímicas do etanol obtido do mesocarpo do coco babaçu para uso em célula a combustível.** 2017. 66 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

CARVALHO, Liane Miranda. **Modificação química de argilas e sua aplicação na purificação a seco de biodiesel**. 2017. 65 f. Monografia (Graduação) - Curso de Química, Universidade Federal do Maranhão, Universidade Federal do Maranhão, 2017.

CAVALCANTE NETO, Adeval Alexandre. **Desenvolvimento de massa alimentícia mista de farinhas de trigo e mesocarpo de babaçu (*Orbignya sp.*)**. 2012. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

CONTO, Leilane Costa de. **Extração, caracterização e modificação química por oxidação de amido de pinhão (*Araucaria angustifolia*)**. 2009. 108 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

CORRADINI, Elisângela et al. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, São Carlos, v. 15, n. 4, p. 268-273, Nov. 2005.

DA SILVA, D. C; LOPES, I.A; DA SILVA, L.J.S; LIMA, M.F; BARROS FILHO, A.K.D; VILLA VÉLEZ, H.A; SANTANA, A.A. Physical properties of films based on pectin and babassu coconut mesocarp, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 130, p. 419-428, jun. 2019.

DIAS, A. B. et al. Biodegradable films based on rice starch and rice flour. **Journal of Cereal Science**, v. 51, n. 2, p. 213-219, Mar 2010.

DO AMARAL, Murilo Alves; BORSCHIVER, Suzana; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz. Análise do segmento de bioplásticos: prospecção tecnológica em “plásticos verdes”, PHA e PLA. **Engevista**, v. 21, n. 2, p. 228-241.

DOMINGUES, Maria Antonia Calori. **Efeito da interação genotipo x ambiente no Estado de São Paulo sobre parâmetros de qualidade do trigo e nas características físico-químicas e funcionais do amido**. 2002. 140p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

FAKHOURI, Farayde Matta. **Bioplásticos flexíveis e biodegradáveis a base de amido e gelatina**. 2009. 249 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP.

FARIA, F.; VERCELHEZE DE OLIVEIRA, A. E. S.; MALI, S. Propriedades físicas de filmes biodegradáveis a base de amido de mandioca, álcool polivinílico e montmorilonita. **Química Nova**, v. 35, n. 3, p. 487–492, 2012.

FERRARI, Roseli Aparecida; SOLER, Marcia Paisano. Obtention and characterization of coconut babassu derivatives. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba, v. 72, n. 4, p. 291-296, Aug. 2015.

FREITAS, J. S. **Fotodegradação de hidrogel de poliacrilamida na presença de íons para o uso na agricultura**. 2016. 78 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Amidos**. Disponível em: <https://revista-fi.com.br/upload_arquivos/201606/2016060822241001464873731.pdf>. Acesso em: 27 de Dezembro de 2019.

GARAVAND, Farhad et al. Improving the integrity of natural biopolymer films used in food packaging by crosslinking approach: A review. **International journal of biological macromolecules**, v. 104, p. 687-707, 2017.

GOMES, D. C. A. **Oxidação do amido de mesocarpo de babaçu com peróxido de hidrogênio**. 2017. 53 f. Monografia (Graduação em Engenharia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

GUERREIRO, Lizielle Maria Ricardo. **Avaliação de amidos nativos em condições de estresse adaptados ao processamento de alimentos**. 2002. xv, 181 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2002.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p. Primeira edição digital.

KEARSLEY, M.W.; DZIEDZIC, S.Z. Physical and chemical properties of glucose syrups. In: _____. **Handbook of Starch Hydrolysis Products and Their Derivatives**. 1st ed. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1995. p. 129-154.

LEAL, A.S. **Obtenção e caracterização de filmes a base de mesocarpo de babaçu e carboximetilcelulose para fins biotecnológicos**. 2017. 133 f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Piauí, 2017.

LENHANI, Gabriela Caroline. Obtenção e aplicação de celulose de resíduos agroindustriais em filmes compósitos. 2019. 80 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul Campinas, PR.

LEONEL, Magali; CEREDA, Marney Pascoli. Caracterização físico-química de algumas amiláceas tuberosas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 65-69, 2002.

LEOPOLDINO, Kleison José Medeiros. **Extração e caracterização de amido nativo e modificado da palma forrageira (*Opuntia ficus indica*)**. 2017. 243 f. Tese (Doutorado em Química) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

LIMA, A. P. D. **Síntese e caracterização de hidrogéis compósitos superabsorventes a base de poliacrilamida e vermiculita**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

M. R. A. SOUSA, A. T. da SILVA, A. A. SANTANA, W. F. de LA SALLES, A. P. da COSTA, Modificação química do mesocarpo do coco babaçu com o polímero tetrametil-2,6-bromoioneno para adsorção do pesticida paration metílico, Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, Volume 1, 2017, Pages 1133-1138.

M. R. A. SOUSA, A. T. da SILVA, A. A. SANTANA, W. F. de LA SALLES, A. P. da COSTA FILHO. Extração e oxidação do amido do mesocarpo de babaçu com peróxido de hidrogênio, **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, 2017, p.1156-1161.

MARIANO, Marcos. **Obtenção, caracterização e aplicação de nanocristais de celulose obtidos a partir do sisal**. 2013. 116 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Programa de Pós-Graduação em Química, Florianópolis, 2013.

MARTINS, Anna Paula Carminatti. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis para aplicação em embalagens de alimentos**. 2010. 32 p. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Curso de Química. 2010.

MANIGLIA, B.C. **Aproveitamento de resíduos agroindustriais para elaboração de filmes biodegradáveis**. 2017. Tese (Doutorado em Química) - Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2017.

MANIGLIA, Bianca C. et al. Bioactive films based on babassu mesocarp flour and starch. **Food hydrocolloids**, v. 70, p. 383-391, 2017.

MANIGLIA, Bianca C. et al. Which plasticizer is suitable for films based on babassu starch isolated by different methods?. **Food hydrocolloids**, v. 89, p. 143-152, 2019.

MANIGLIA, B. C.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 47–55, 2016.

MELO NETO, Biano Alves de. **Amido do fruto da pupunheira (*Bactris gaspae* Kunth.): isolamento, caracterização do grânulo e aplicação em termoplástico biodegradável**. 2016. 150 f. Tese (Doutorado- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, 2016.

NAKASON, Charoen et al. Preparation of cassava starch-graft-polyacrylamide superabsorbents and associated composites by reactive blending. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 2, p. 348-357, 2010.

NOURADDINI, M; ESMAILI, M; MOHTARAMI, F. Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch, **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, Part B, p. 1639-1645, 2018.

PELISSARI, F. M. et al. Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Starch - Stärke**, v. 64, n. 5, p. 382–391, maio 2012.

PESQUISA FAPESP. São Paulo: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, n. 281, jul. 2019. 31 p.

PORTO, L. C. **Filmes formados por gelatina e poli(acrilamida-coácido acrílico): efeito da composição, do plastificante e agente reticulante nas propriedades térmicas, mecânicas e absorção de água**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

PRAZERES, G. M. P.; SANTOS, A. M. C. M.; CARDOSO, Z. S. Outros constituintes do babaçu. In: MACIEL, A. P. (Org). **Biocombustíveis de babaçu: Ensaio Técnico sobre oportunidades de produção de biocombustíveis a partir do coco de babaçu**. São Luís: EDUFMA, 2016. cap.4, p.107.

SANTANA, Audirene Amorim. **Influência de características físicas e químicas de plastificantes na confecção e no comportamento estrutural e higroscópico de filmes de alginato de cálcio**. 2010. 154 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP.

Silva, E. M. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão**. 2011. Trabalho de diplomação em engenharia Química, Departamento de Engenharia Química, Escola de engenharia da Universidade federal do Rio Grande do Sul.

SILVERSTEIN, Robert M.; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. **Identificação Espectrométrica de compostos orgânicos**. Rio de Janeiro, RJ. LTC: 2007.

SEYBOLD, C. A. Polyacrylamide review: Soil conditioning and environmental fate. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 25, n. 11-12, p. 2171-2185, 1994.

SOUSA, D.C. **Compósitos com matriz de amido do mesocarpo do coco babaçu reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu**. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

SOUSA, Gardênia Martins. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis ativos e aplicação na conservação de massa alimentícia fresca**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

TAPARELLI, Jesus Roberto. **Modificação química do amido de mandioca e estudo de sua aplicação em revestimento couché**. 2005. 101p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP.

TAPIA-BLÁCIDO, Delia; SOBRAL, Paulo J.; MENEGALLI, Florencia C. Development and characterization of biofilms based on Amaranth flour (*Amaranthus caudatus*). **Journal of Food Engineering**, v. 67, n. 1-2, p. 215-223, 2005.

TESTER, R. F. et al. Starch – composition, fine structure and architecture. **J Cereal Sci**, v.39, p.151-165, 2004.

THARANATHAN, R. N. Food-derived carbohydrates – Structural complexity and functional diversity. **Crit Rev Biotechnol**, v.22, p.65-84, 2002.

TÔRRES, Yury Jansen Soares Siqueira. **Estudo da hidrólise enzimática do amido do mesocarpo de babaçu**. 2014. 69 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2014.

VICENTINO, S. L. et al. Filmes de amidos de mandioca modificados para recobrimento e conservação de uvas. **Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1309–1314, 2011.

VIÉGAS, L. P. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 2016. 74 f. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciência e Tecnologia, Rio de Janeiro. 2016.

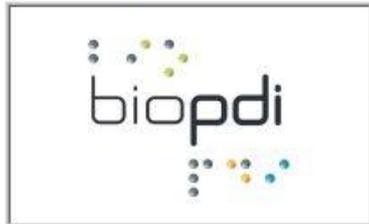
WALTER, Melissa; DA SILVA, Leila Picolli; EMANUELLI, Tatiana. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência rural**, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

YULIANA, M.; HUYNH, L. H.; HO, Q. P.; TRUONG, C. T.; JU, Y. H. Defatted cashew nut shell starch as renewable polymeric material: **Isolation and characterization.** **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 4, p. 2576-2581, 2012.

ANEXO 1

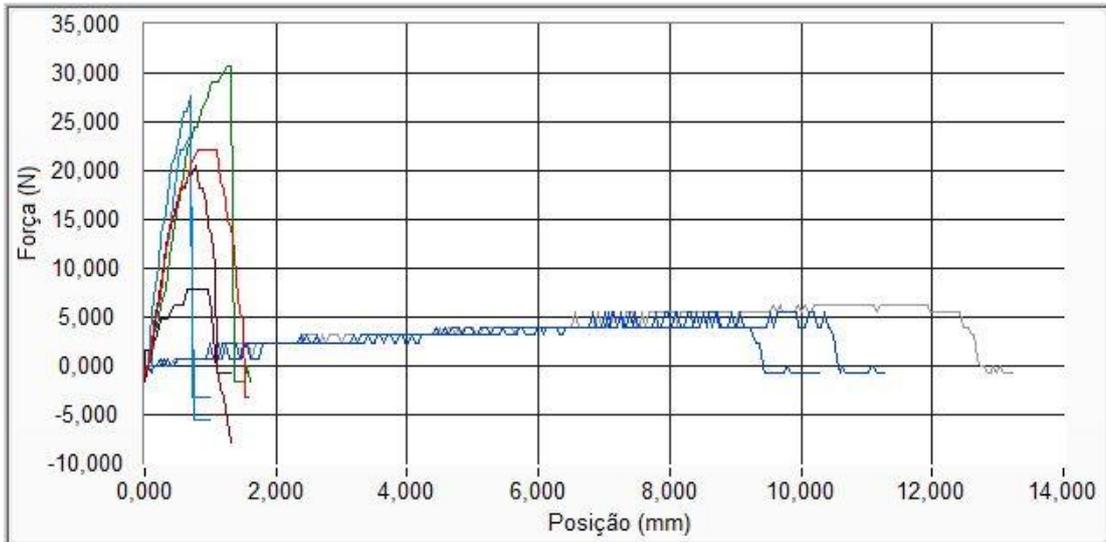


Máquina Universal de Ensaios



Nome Empresarial: BIOPDI - Indústria, Comércio, Importação e Exportação de equipamentos Médicos e Odontológicos LTDA
 Nome Fantasia: BIOPDI
 CNPJ: 13.027.001/0001-71
 IE: 637.154.638.116
 email: notafiscal@biopdi.com.br

Ensaio:	Leonel	Data:	
Norma:		Hora:	
Identificação:		Ensaio Realizado:	
Célula de Carga		Pré Carga:	
Vel. Deslocamento:	12,5	Umidade Relativa:	
Temperatura:		Máquina Utilizada:	



AMOSTRAS Nº	FORÇA MÁXIMA N	POSIÇÃO MÁXIMA mm	TENSÃO MÁXIMA MPa	TENSÃO ESCOAMENTO MPa	ALONGAMENTO %	Red.ÁREA %	M. YOUNG MPa
Ensaio 1	22,0852	1,5919	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 2	20,5077	1,3058	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 3	7,8876	1,3094	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 4	30,7615	1,6125	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 5	23,6627	0,9956	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 6	27,6065	0,9847	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,000000
Ensaio 7	5,5213	10,2853	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 8	5,5213	11,2622	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 9	6,3101	13,2336	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Ensaio 10							
Valor Mínimo	5,5213	0,9847	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Máximo	30,7615	13,2336	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Valor Médio	16,6515	4,7312	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Desvio Padrão	10,2724	5,2058	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000