



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MONIKE PEGORARO DE MORAES

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS
DE AMIDO CONTENDO POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis*
Martius) LIOFILIZADA**



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos
Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS
DE AMIDO CONTENDO POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis*
Martius) LIOFILIZADA**

MONIKE PEGORARO DE MORAES

Londrina
2021

MONIKE PEGORARO DE MORAES

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS
DE AMIDO CONTENDO POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis*
Martius) LIOFILIZADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito final à obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Yamashita.

Londrina
2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M827 Moraes, Monike Pegoraro de .
Desenvolvimento de materiais biodegradáveis de amido contendo polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius) liofilizada / Monike Pegoraro de Moraes. - Londrina, 2021.
84 f.

Orientador: Fabio Yamashita.
Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Biopolímeros - Tese. 2. Atividade antioxidante - Tese. 3. Embalagem ativa - Tese. 4. Extrusão e injeção termoplástica - Tese. I. Yamashita, Fabio . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos. III. Título.

CDU 641.1

MONIKE PEGORARO DE MORAES

**DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS
DE AMIDO CONTENDO POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis*
Martius) LIOFILIZADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, nível Mestrado, da Universidade Estadual de Londrina, como requisito final à obtenção do título de mestre.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Fabio Yamashita
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Dra. Maira Casagrande
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Profa. Dra. Karla Bigetti Guergoletto
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 16 de setembro de 2021.

Dedico este trabalho aos meus pais, Jaime e Mônica, e ao meu avô Luiz (*in memoriam*) por sempre incentivarem os meus estudos e me apoiarem nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me amparado em mais esta jornada e por ter me mantido firme até aqui.

Aos meus pais, Jaime e Mônica, que nunca mediram esforços para ofertar-me um ensino de qualidade, por me auxiliarem nos momentos de dificuldade e por acreditarem na realização deste trabalho.

Aos meus irmãos Marlon e Marcelly pela amizade e por todos os bons momentos compartilhados.

Ao meu avô Luiz (*in memoriam*) pelo incentivo e toda a sua alegria por eu ter conquistado mais esta etapa na vida acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fabio Yamashita por aceitar me orientar, pelos ensinamentos transmitidos, por todo o apoio nas horas de dificuldade.

A minha professora e amiga Elisa Hirooka pelo incentivo, pela força, pelas palavras amigas e por sempre ter acreditado em mim.

Aos meus professores que durante a realização do mestrado foram fundamentais e que com carinho transmitiram seus conhecimentos.

Aos meus amigos André Ribeiro e Luma Sarai pela amizade, pelas boas conversas, pelos jantares e pelas risadas, vocês foram excepcionais nesta caminhada.

Aos meus colegas de laboratório, Bruno Simões, Beatriz Kempe e Samuel Camilo, pelo auxílio no laboratório.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao CNPq pelo apoio financeiro.

MORAES, Monike Pegoraro. **Desenvolvimento de materiais biodegradáveis de amido contendo polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius) liofilizada**. 2021. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

A utilização de polímeros biodegradáveis visa à redução do impacto ambiental causado pelos polímeros convencionais. Dentre eles, o amido tem se destacado por ser abundante e de baixo custo, além de apresentar possibilidades de modificação química, física ou genética e originar filmes resistentes e biodegradáveis. Filmes de amido, além de homogêneos e de baixo custo, possibilitam a adição de compostos antioxidantes, nutrientes e pigmentos naturais, o que pode auxiliar na preservação das características nutricionais e sensoriais do alimento. A palmeira-juçara é de grande importância para a Mata Atlântica brasileira, sendo seu uso sustentável uma estratégia de conservação desse bioma. A utilização dos frutos da juçara para o processamento de novos produtos caracteriza-se como uma atividade que busca diminuir a exploração da espécie. Estudos sobre atividade antioxidante mostram que os frutos da palmeira-juçara possuem propriedades benéficas à saúde, associadas à presença de compostos bioativos. O trabalho teve como objetivo desenvolver filmes biodegradáveis de amido de milho contendo polpa de juçara liofilizada para serem utilizados como embalagem ativa com atividade antioxidante. Foram testadas formulações de blendas poliméricas de amido, poli(adipato co- tereftalato de butileno), glicerol e juçara liofilizada, através da técnica de extrusão para a obtenção dos pellets e posterior injeção. Os materiais injetados foram caracterizados quanto à sua capacidade antioxidante, densidade, retração, perda de massa em água, atividade de água (A_w), propriedades óticas e mecânicas. A atividade antioxidante da polpa de juçara liofilizada manteve-se em quantidades satisfatórias após os processos de extrusão e injeção termoplástica e estáveis durante no mínimo 60 dias, mostrando-se um bom agente antioxidante para a aplicação em formulações de materiais biodegradáveis. A adição de polpa de juçara liofilizada tornou o material mais rígido em relação ao controle e apresentou-se uniforme do ponto de vista morfológico.

Palavras-chave: Biopolímeros, atividade antioxidante, embalagem ativa, extrusão, injeção termoplástica.

MORAES, Monike Pegoraro. **Development of biodegradable starch materials containing lyophilized juçara pulp (*Euterpe edulis Martius*)**. 2021. 84 p. Dissertation (Master in Food Science) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

The use of biodegradable polymers aims to reduce the environmental impact caused by conventional ones. Among them, starch has stood out for being abundant and inexpensive, in addition to presenting possibilities for chemical, physical, or genetic modification and producing resistant and biodegradable films. In addition to being homogeneous and of low cost, starch films allow the addition of antioxidant compounds, nutrients, and natural pigments, which can help preserve the nutritional and sensory characteristics of food. The juçara palm is of great importance to the Brazilian Atlantic Forest, and its sustainable use is a conservation strategy for this biome. The use of juçara fruits to process new products is characterized as an activity that seeks to reduce the exploitation of the species. Studies on antioxidant activity show that juçara palm fruits have beneficial health properties associated with the presence of bioactive compounds. This work aimed to develop biodegradable corn starch films containing lyophilized juçara pulp as active packaging with antioxidant activity. Formulations of polymeric blends of starch, poly (adipate co-butylene terephthalate), glycerol, and lyophilized juçara were tested using the extrusion technique to obtain pellets and subsequent injection. The injected materials were characterized for their antioxidant capacity, density, shrinkage, mass loss in water, water activity (A_w), and optical and mechanical properties. The antioxidant activity of freeze-dried juçara pulp remained in satisfactory amounts after the extrusion and thermoplastic injection processes and was stable for at least 60 days, proving to be an excellent antioxidant agent for application in formulations of biodegradable materials. The addition of lyophilized juçara pulp made the material more rigid than the control one and was uniform from a morphological point of view.

Keywords: Biopolymers, antioxidant activity, active packaging, extrusion, thermoplastic injection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Classificação de polímeros biodegradáveis.....	05
Figura 2 -	Estruturas químicas da amilose (a) e amilopectina (b)	07
Figura 3 -	Estrutura química do copoliéster Ecoflex®	10
Figura 4 -	Palmeira juçara (A) e seu fruto (B).....	11
Figura 5 -	Esquema geral do mecanismo da oxidação lipídica	14
Figura 6 -	Estrutura geral dos flavonoides	17
Figura 7 -	Estrutura química da Cianidina e da Cianidina-3-glicosídeo	19
Figura 8 -	Estabilização do radical DPPH*.....	21
Figura 9 -	Esquema de uma extrusora monorrosca	23
Figura 10 -	Esquema de uma injetora.....	24
Figura 11 -	Fluxograma do processo de obtenção do extrato fenólico.....	30
Figura 12 -	Desenho esquemático e dimensões do corpo de prova do tipo IV.....	34
Figura 13 -	Micrografias da superfície dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química de polpa de açaí (<i>Euterpe oleracea</i>) e juçara (<i>Euterpe edulis</i>)	12
Tabela 2 - Codificação das amostras segundo as condições de extração da polpa e de descongelamento	28
Tabela 3 - Formulações dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica	34
Tabela 4 - Teor de umidade das matérias-primas utilizadas no desenvolvimento dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica	38
Tabela 5 - Atividade de água do pó de juçara liofilizado	39
Tabela 6 - Parâmetros de cor CIELab* das polpas e polpas liofilizadas de juçara.....	40
Tabela 7 - Análise de compostos bioativos das polpas de juçara	42
Tabela 8 - Perfil antioxidante dos materiais contendo polpa de juçara liofilizados e produzidos por injeção termoplástica	44
Tabela 9 - Perda de massa em água dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica	46
Tabela 10 - Parâmetros do modelo GAB para as isotermas dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica	48
Tabela 11 - Parâmetros de cor CIELab* dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica	49
Tabela 12 - Propriedades mecânicas dos materiais desenvolvidos.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

aC	Antes de Cristo
ABTS	ácido 2,2` - azino-bis (3-etilbenzoliazolina-6-sulfônico)
AH	ação de um antioxidante
ASTM	American Society for Testing and Materials
atm	atmosfera
a _a	atividade de água
BHA	butil hidroxianisol
BHT	butil hidroxitolueno
°C	graus Celsius
CaCl ₂	cloreto de cálcio
CE 50/ CI 50	concentração inibitória
CUPRAC	capacidade antioxidante de redução do ferro cúprico
DCTA/UEL	Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos / Universidade Estadual de Londrina
DMT	ácido adípico dimetil tereftalato
DPPH	radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil
ε	absortividade molar
FD	fator de diluição
FDA	Food and Drug Administration
FRAP	poder antioxidante de redução do ferro
g	grama(s)
GAB	modelo de Guggenheim – Anderson – de Boer
GRAS	Generally Recognized as Safe
h	hora(s)
K	constante de correção
Kg	quilograma(s)
KN	quilonewton
KV	quilovolts
MEV	microscopia eletrônica de varredura
M _f	massa final
mg/L	miligrama por litro
M _i	massa inicial

mL	mililitros
mm	milímetros
MP	matéria-prima
MPa	Mega Pascal
nm	nanômetro
ORAC	Capacidade de Redução de Radicais de Oxigênio
PBAT	poli (adipato co-tereftalato de butileno)
PE	polietileno
PEG	polietilenoglicol
PET	poli (tereftalato de etileno)
PG	propil galato
pH	potencial hidrogeniônico
PLA	ácido polilático
PP	polipropileno
PS	poliestireno
PVA	álcool polivinílico
PVC	poli (cloreto de vinila)
RPM	rotações por minuto
s	segundo
TACO	Tabela Brasileira de Composição de Alimentos
TBHQ	terc-butil-hidroquinona
TEAC	capacidade antioxidante equivalente ao trolox
TRAP	potencial antioxidante reativo total
UV/VIS	ultravioleta/visível
Xm	unidade da monocamada do material adsorvente

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	01
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1	Embalagens	03
2.1.1	Embalagens Biodegradáveis	04
2.2	Matérias-primas utilizadas na produção de materiais biodegradáveis	06
2.2.1	Amido	06
2.2.2	Agentes Plastificantes	08
2.2.3	Poli (adipato co-tereftalato de butileno) - PBAT	09
2.3	Juçara (<i>Euterpe edulis Martius</i>)	10
2.4	Oxidação lipídica	13
2.5	Atividade antioxidante	15
2.5.1	Compostos Fenólicos	17
2.5.2	Antocianinas	18
2.6	Determinação da capacidade antioxidante	19
2.7	Técnicas para a produção de materiais biodegradáveis	22
2.8	Caracterização de materiais biodegradáveis	24
2.8.1	Propriedades mecânicas	25
3.	MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1	Material	27
3.2	Locais de realização	27
3.3	Métodos	27
3.3.1	Obtenção da polpa de juçara	27
3.3.2	Obtenção do pó de juçara liofilizado	28
3.3.3	Caracterização da matéria-prima	29
3.4	Produção do material biodegradável por injeção termoplástica	33
3.5	Caracterização dos materiais obtidos	35
3.5.1	Determinação da capacidade antioxidante	35
3.5.2	Perda de massa em água.....	35

3.5.3	Isotermas de Sorção	36
3.5.4	Análise de cor	36
3.5.5	Caracterização Morfológica - MEV	37
3.5.6	Propriedades mecânicas	37
3.6	Análise Estatística	37
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1	Caracterização da amostra	38
4.1.1	Umidade da matéria – prima.....	38
4.1.2	Atividade de água	39
4.1.3	Análise Colorimétrica.....	40
4.1.4	Capacidade antioxidante	42
4.2	Caracterização dos materiais biodegradáveis	44
4.2.1	Determinação da capacidade antioxidante dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica	44
4.2.2	Perda de massa em água.....	46
4.2.3	Isotermas de sorção	47
4.2.4	Análise colorimétrica.....	49
4.2.5	Microscopia eletrônica de varredura	50
4.2.6	Propriedades mecânicas	51
5.	CONCLUSÃO	54
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

1. INTRODUÇÃO

As embalagens são utilizadas para preservar e proteger o produto embalado, garantindo a manutenção de suas características e facilitando o armazenamento. Desde a antiguidade, verificou-se a necessidade de um envoltório que pudesse transportar os alimentos e prolongar sua duração. Registros arqueológicos datados de 2200 a.C., revelaram a existência de embalagens produzidas a partir de matérias-primas naturais disponíveis na época (NEGRÃO e CAMARGO, 2008).

Tradicionalmente, os materiais utilizados como embalagem para alimentos são o plástico, o vidro, o papel e o metal. O plástico vem sendo amplamente empregado devido ao baixo custo de produção e características funcionais como boas propriedades mecânicas e de barreira aos gases e aos compostos aromáticos. No entanto, apesar das grandes vantagens, seu uso crescente gera problemas de contaminação ambiental decorrentes do descarte, uma vez que não são biodegradáveis e sua reciclagem consome grandes quantidades de energia térmica (THARANATHAN, 2003).

Na tentativa de minimizar este problema, novos materiais obtidos de fontes renováveis como proteínas e polissacarídeos têm sido estudados, com o objetivo de formar filmes biodegradáveis com capacidade de manter a qualidade dos alimentos e prolongar sua validade comercial. Apesar de promissora, a utilização de polímeros biodegradáveis em embalagens tem como ponto crítico a instabilidade durante o processamento e as pobres características mecânicas. No entanto, o emprego de aditivos como os agentes plastificantes melhora as propriedades do filme aumentando sua flexibilidade e maleabilidade (PESSANHA, 2016).

Diferentes compostos também têm sido incorporados aos materiais biodegradáveis, visando conferir-lhes propriedades de barreiras específicas. Um dos principais sistemas é os filmes biodegradáveis com ação antioxidante, que retardam ou diminuem a oxidação do produto embalado e são de grande importância para as indústrias alimentícias e farmacêuticas (SOUZA, SILVA e DRUZIAN, 2012).

A juçara é um fruto oriundo da palmeira *Euterpe edulis* Martius, originária da Mata Atlântica. Essa palmeira está ameaçada de extinção devido à prática indiscriminada do extrativismo do palmito e à redução da área composta pelo bioma. Desta forma, a utilização dos frutos da juçara constitui uma alternativa frente à exploração do palmito que, além de agregar valor a fruta, pode contribuir para a preservação deste importante componente da biodiversidade da Mata Atlântica. Estudos demonstraram que o fruto da juçara apresenta composição química e teores de antocianinas e polifenóis semelhantes ao açaí proveniente da região Amazônica (BORGES et al., 2011).

Bicudo e colaboradores (2014) estudaram a microencapsulação da polpa de juçara com diferentes agentes carreadores e diferentes temperaturas de secagem. Guergoletto e colaboradores (2016) estudaram os efeitos da fermentação da polpa de juçara *in vitro* na colonização da microbiota humana. De acordo com os autores, houve um aumento na quantidade de ácidos graxos de cadeia curta e bifidobactérias, comprovando o efeito probiótico da juçara.

Pupo (2007) estudou o manejo de frutos da palmeira juçara para a obtenção de polpa e sementes como produtos florestais não madeireiros e concluiu que a venda de polpa e sementes foi satisfatória na região analisada, o que possibilitou o aumento da renda dos produtores do Vale do Ribeira.

Flores (2017) adicionou extratos concentrados de polpa de juçara em formulações de salsicha e verificou que o extrato foi efetivo na redução do índice de oxidação lipídica e na boa estabilidade das salsichas de frango.

Paim (2016) desenvolveu produtos em pó probióticos à base de extrato de juçara através de secagens por liofilização e *spray drying* e sugeriu a aplicação deste pó obtido na formulação de iogurtes ou produtos lácteos.

Analisando a literatura sobre polpa da juçara, não foram encontrados trabalhos que utilizaram a polpa em um sistema de embalagem biodegradável. Tendo em vista sua boa capacidade antioxidante e a necessidade de preservação da espécie, o objetivo deste trabalho foi desenvolver materiais biodegradáveis de amido de milho contendo polpa de juçara liofilizada em diferentes concentrações através da técnica de extrusão termoplástica e moldagem por injeção termoplástica para posterior caracterização dos mesmos e avaliação de sua atividade antioxidante final.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Embalagens

Vidro, metal, papel e plásticos são os materiais tradicionais utilizados na indústria de alimentos. Contudo, devido a diversas propriedades atraentes como resistência, baixo peso e custo, o plástico é o principal material utilizado em embalagem de alimentos nas últimas décadas (SOUZA e FERNANDO, 2016).

Os materiais plásticos produzidos com polímeros sintéticos apresentam boa resistência mecânica, são quimicamente e biologicamente inertes e oferecem boas propriedades de barreira a gases e vapor de água. Estas propriedades são consideradas críticas para alimentos embalados, pois o principal desafio das embalagens é o de retardar os processos naturais que levam à degradação do alimento, protegendo-o de adulterações ou contaminações provenientes de fontes físicas, químicas e biológicas (SOUZA e FERNANDO, 2016).

As embalagens para alimentos têm como função proteger o produto e um de seus principais requisitos é a não interação com o alimento acondicionado, funcionando assim como uma barreira inerte entre o alimento e o ambiente. Nas últimas décadas, diversos sistemas de embalagem têm sido desenvolvidos com o objetivo de interagir de forma desejável com o alimento; são as chamadas embalagens ativas (AZEREDO, FARIA e AZEREDO, 2000). Embalagem ativa é aquela que exerce algum outro papel na preservação de alimentos que não o de promover uma barreira inerte a influências externas. Além de proteger, interage com o produto (ROONEY, 1992).

As embalagens ativas surgem na tentativa de satisfazer consumidores cada vez mais exigentes, trazendo benefícios extras em relação às embalagens convencionais. O sistema ativo pode ser parte integral da embalagem ou ser um componente separado, posicionado no interior da embalagem. Estes sistemas agem, principalmente absorvendo ou liberando compostos dentro da embalagem (HONG e PARK, 2000).

A principal preocupação da indústria de alimentos sobre a introdução destes sistemas ativos é o possível receio dos consumidores. Por este motivo ainda são necessários estudos sobre a reação do consumidor quanto a estes

produtos, bem como sobre seus impactos. A tendência é que haja um aumento gradual no uso destas tecnologias à medida que mais estudos forem desenvolvidos, ganhando a confiança do consumidor (AHVENAINEN, 2003).

2.1.1 Embalagens Biodegradáveis

No desenvolvimento de embalagens, é importante descobrir materiais cada vez mais duráveis para utilização diária no mercado e dentre estes encontram-se os plásticos, com grande variedade de aplicações, devido às suas propriedades, versatilidade de uso e baixo custo. Como o uso dos plásticos vem aumentando mundialmente, aproximadamente 357 milhões de toneladas de plástico foram produzidas em 2018 (GARSIDE, 2019); conseqüentemente, é grande a quantidade de resíduos plásticos descartados no meio ambiente, isto é, em torno de 20% do volume total. Os plásticos sintéticos, materiais formados de macromoléculas, denominados polímeros (do grego: poli=muitos, meros=partes, unidades), são resistentes à degradação natural, quando descartados no meio ambiente, isto é, em aterros ou lixões municipais, daí seu acúmulo cada vez mais crescente (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

Os plásticos mais utilizados na vida diária, desde 1940, têm sido o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o poli (tereftalato de etileno) (PET) e o poli (cloreto de vinila) (PVC) que, apesar do avanço no processamento e fabricação, geram dois problemas ambientais: o uso de fonte não-renovável (como o petróleo) e a grande quantidade de resíduos gerada para descarte. Além disso, não se sabe ao certo quanto tempo os plásticos exigem para degradação total, devido à sua alta massa molar média e hidrofobicidade que dificultam a ação dos microrganismos e de suas enzimas na superfície do polímero (FRANCHETTI e MARCONATO, 2006).

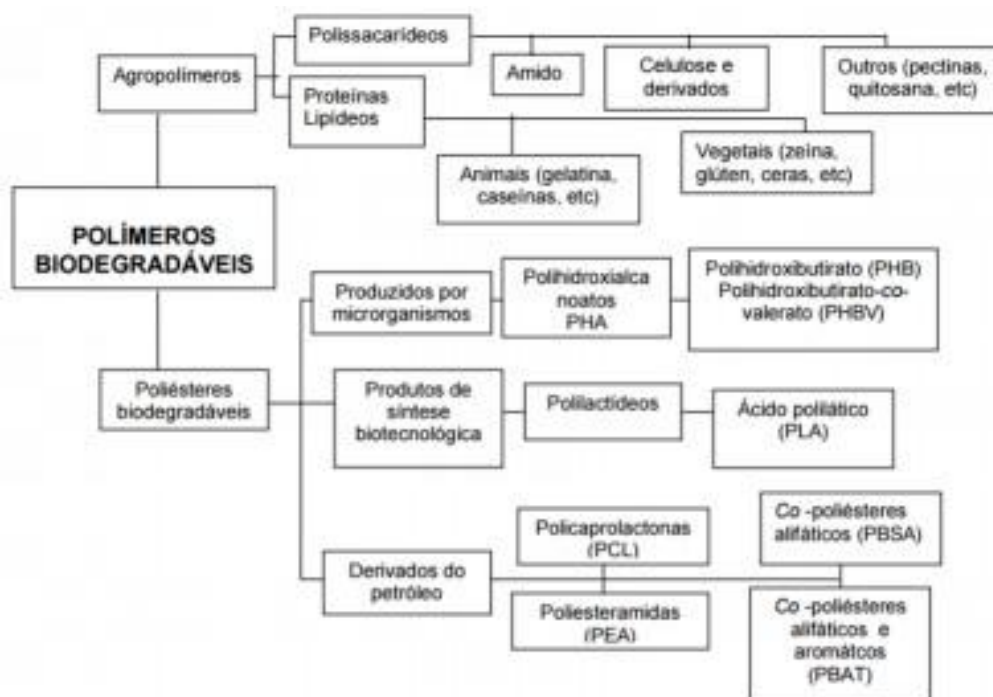
A crescente preocupação com o meio ambiente e a conscientização de que as fontes de petróleo são finitas têm atraído a atenção para polímeros oriundos de fontes renováveis (CHENG, MOORE e YU, 2006). Sendo assim, várias alternativas têm sido investigadas para minimizar o impacto ambiental, incluindo a utilização de polímeros biodegradáveis obtidos a partir de recursos naturais (QUINTERO et al., 2012). As macromoléculas biológicas mais estudadas para este fim são as proteínas e os polissacarídeos, polímeros

capazes de formar matrizes contínuas que podem ser transformadas em filmes e revestimentos através de diversas técnicas de produção (OLIVATO, MALI e GROSSMANN, 2006).

Conforme estabelecido na Norma da American Society for Testing and Materials - ASTM D 883, polímeros biodegradáveis são aqueles que apresentam quebra nas ligações químicas em suas cadeias poliméricas através de agentes biológicos, levando a uma desintegração ou fragmentação dos mesmos (DOI e FUKUDA, 1994). Normalmente ocorre hidrólise seguida por um processo de oxidação. A molécula é quebrada em tamanhos menores, formando dióxido de carbono em condições aeróbicas ou metano em condições anaeróbicas, água e energia para os microrganismos (KRZAN et al., 2006).

Uma subdivisão para polímeros biodegradáveis foi proposta por Avérous e Boquillón (2004), levando-se em conta sua origem biológica e tecnológica, sendo representados por duas grandes famílias: os agropolímeros e os poliésteres biodegradáveis, como mostrado na Figura 1.

Figura 1: Classificação de polímeros biodegradáveis



Fonte: Avérous e Boquillón (2004).

Atualmente, há o interesse no desenvolvimento de materiais termoplásticos compostos essencialmente por amido, que, ao contrário dos polímeros usados em embalagens convencionais, são biodegradáveis e obtidos a partir de fontes renováveis.

Segundo Scapim (2009), a produção de blendas poliméricas compostas de poliésteres biodegradáveis como o poli(adipato co-tereftalato de butileno) (PBAT) e de agropolímeros como o amido pode favorecer a obtenção de materiais de menor custo e características desejáveis.

2.2 Matérias-primas utilizadas na produção de materiais biodegradáveis

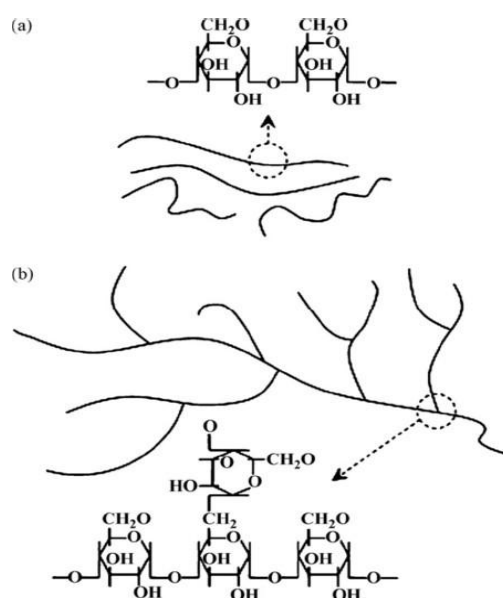
2.2.1 Amido

O amido, além de ser empregado nas indústrias de alimentos, cosméticos, fármacos, de papéis e têxteis, vem sendo utilizado também como material termoplástico em aplicações tais como embalagens, potes para plantio, pratos e talheres descartáveis. Portanto, o amido é uma alternativa viável para embalagens, devido à sua biodegradabilidade, baixo custo e alta disponibilidade (WANG e PÁDUA, 2003).

Grânulos de amido podem ser facilmente isolados de diferentes fontes vegetais. Dentre as principais fontes encontram-se o trigo, batata, milho, arroz, mandioca e ervilha. Os grânulos nativos apresentam dimensões variando entre 0,5 e 175 μm . Fontes diferentes dão origem a tamanhos e propriedades diferentes (CHEFTEL e CHEFTEL, 1976).

O amido é formado primariamente por cadeias ramificadas e lineares de moléculas de glicose, denominadas amilose e amilopectina. A amilose é uma molécula linear com algumas ramificações, enquanto a amilopectina é uma molécula altamente ramificada (CHEFTEL e CHEFTEL, 1976). A Figura 2 apresenta as estruturas químicas e a representação esquemática das cadeias de amilose e amilopectina.

Figura 2: Estruturas químicas da amilose (a) e amilopectina (b)



Fonte: Liu et al. (2009).

Amidos formados por moléculas majoritariamente de amilose proporcionam filmes mais fortes e flexíveis, enquanto a estrutura ramificada da amilopectina forma filmes com propriedades mecânicas mais pobres, com baixa resistência à tensão e ao alongamento (THARANATHAN, 2003).

A diferença estrutural entre as cadeias de amilose e amilopectina confere ao grânulo de amido um caráter semicristalino, formado pela distribuição em camadas sucessivas. As regiões mais ordenadas são devido à maior concentração de amilopectina (regiões cristalinas da molécula), e as regiões onde a amilose encontra-se em maior quantidade (região amorfa) (LIU et al., 2009).

O amido não é um termoplástico verdadeiro, mas na presença de um plastificante (água, glicerol, sorbitol etc.), altas temperaturas (90-180 °C) e cisalhamento, ele funde e flui, permitindo seu uso em equipamentos de injeção, extrusão e sopro (VILPOUX e AVEROUS, 2003).

Para a obtenção de um termoplástico a base de amido, sua estrutura granular precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e predominantemente amorfa (SOUZA e ANDRADE, 2000). Fatores como o tipo de amido, a umidade, a pressão, a temperatura, o tipo e a quantidade de plastificante influenciam o processo de conversão do amido termoplástico (MATZINOS et al., 2002).

A obtenção desta matriz amorfa é obtida pela gelatinização do amido, feita pelo aquecimento do amido nativo em presença de um plastificante. O

amido puro não é um bom substituto dos polímeros plásticos convencionais, pois é solúvel em água, difícil de processar e quebradiço (DUFRESNE e VIGNON, 1998).

2.2.2 Agentes Plastificantes

Plastificantes são moléculas de baixa massa molecular, pouco voláteis, com ponto de ebulição alto, miscíveis e que competem com ligações de hidrogênio e interações eletrostáticas polímero-polímero. Quando adicionado a outro material, tem capacidade de alterar as propriedades físicas e/ou mecânicas do mesmo (BANKER, GORE e SWARBRICK, 1996).

Filmes compostos essencialmente por amido são rígidos e quebradiços, com isso se torna essencial a adição de plastificantes, compostos estes que melhoram sua flexibilidade (MALI et al., 2004). O glicerol e o sorbitol são os plastificantes mais indicados para o emprego em filmes, proporcionando a estes materiais uma melhoria nas propriedades mecânicas. Outros aditivos como antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, aromatizantes e pigmentos também podem ser empregados (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010).

Os plastificantes adicionados aos polímeros atuam como solventes, uma vez que suas moléculas começam a penetrar na fase polimérica, modificando seu arranjo conformacional. Sendo o plastificante compatível com o polímero, toda a estrutura deste interage com as moléculas do plastificante provocando a separação entre as cadeias poliméricas, ocasionando o aumento da mobilidade (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2010).

Os plastificantes possuem a capacidade de evitar rachaduras do filme durante o manuseio e armazenagem, diminuindo possíveis descontinuidades e zonas quebradiças, além de melhorar a adesividade do filme (LIN et al., 2000). O aumento da flexibilidade é causado pela redução das ligações de hidrogênio ao longo das cadeias poliméricas, aumentando assim o espaçamento intermolecular (JANJARASSKUL e KROCHTA, 2010).

O glicerol é o plastificante mais comumente utilizado na produção de biofilmes de amido. Desde 1959, é reconhecido como substância GRAS (*Generally Recognized as Safe*) pela *Food and Drug Administration* (FDA) dos EUA (MORRISON et al., 1998). No Brasil, seu uso em produtos alimentícios é assegurado pela Resolução n. 386, de 5 de agosto de 1999 (BRASIL, 1999).

O glicerol tem diversas aplicações, sendo utilizado na indústria cosmética, farmacêutica, alimentícia e química. O crescente aumento na

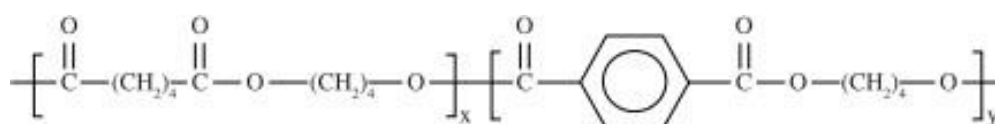
produção mundial de biodiesel gera um aumento considerável na disponibilidade da glicerina, podendo esta ser purificada e utilizada pelos diferentes segmentos da indústria (ARRUDA e RODRIGUES, 2007).

Suas principais aplicações são na indústria química como insumo para a síntese de resinas, ésteres e plásticos; na indústria farmacêutica, como componente de cápsulas, medicamentos, cremes e pomadas; em cosméticos por ser atóxico, não irritante, insípido, têm sido amplamente utilizado como emoliente e umectante em cremes para a pele, loções pós-barba, desodorantes, batons e maquiagens em geral; na indústria alimentícia o glicerol é utilizado na composição de umectantes, além de conservar por mais tempo bebidas e alimentos, tais como refrigerantes, balas, bolos, pastas de queijo e de carne e ração animal seca; em outros usos, no processamento de tabaco e na indústria têxtil para amaciar e aumentar a flexibilidade das fibras (ARRUDA e RODRIGUES, 2007).

2.2.3 Poli (adipato co-tereftalato de butileno) - PBAT

O PBAT (Figura 3) é um copoliéster alifático-aromático derivado do 1,4-butanodiol, ácido adípico e dimetil tereftalato (DMT) que mostrou ser totalmente biodegradável quando compostado (PERZ et al., 2016). Este polímero deve sua biodegradabilidade ao grupo butileno adipato e suas propriedades mecânicas à parte de tereftalato (OLIVEIRA, 2017). O produto é comercializado pela BASF com nome comercial de Ecoflex® (BASF, 2019) e, atualmente, por outras empresas de menor porte.

Figura 3: Estrutura química do copoliéster Ecoflex®



Fonte: Nóbrega et al. (2012).

Segundo o fabricante, o Ecoflex® é o primeiro polímero compostável biodegradável e certificado pela BASF em base fóssil e está no mercado há mais de 25 anos. Apresenta-se como um componente de mistura ideal para plásticos biodegradáveis, com propriedades elásticas e resistentes à água, processável em instalações convencionais de filme soprado e adequado para o contato com alimentos (BASF, 2019).

O PBAT apresenta um processo de degradação acelerado, podendo degradar-se em algumas semanas em contato com enzimas naturais presentes no meio ambiente (BASTARRACHEA et al., 2010). Seu uso em substituição a outros materiais pode ser intensificado visando gerar produtos que causam menor impacto ambiental quando descartados no meio ambiente (GAMA, 2014).

Uma alternativa para a obtenção de materiais poliméricos com propriedades que, em geral, não são encontradas em um único material são as blendas poliméricas (LUNA et al., 2015).

O termo “blenda polimérica” é utilizado para descrever a mistura física de dois ou mais polímeros, visando à obtenção de materiais com propriedades específicas para um determinado uso tecnológico (LUNA et al., 2015). A formação de blendas entre polímeros sintéticos e polímeros naturais é uma alternativa para reduzir a dependência de materiais não renováveis e reduzir o impacto ambiental gerado pelo descarte, uma vez que sistemas híbridos de polímeros sintéticos/naturais podem apresentar maior biodegradabilidade do que os plásticos sintéticos puros (RODRIGUEZ-GONZALEZ, RAMSAY e DAVIS, 2003).

2.3 Juçara (*Euterpe edulis* Martius)

A palmeira juçara, *Euterpe edulis*, é típica das florestas do bioma Mata Atlântica e apresenta grande potencial em termos ecológicos e econômicos (COSTA et al., 2008).

A palmeira juçara (Figura 4A) está distribuída geograficamente na Mata Atlântica, principalmente na faixa litorânea, desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte (HENDERSON, 2000). O fruto da juçara apresenta formato característico redondo, não climatérico e uma polpa roxa que recobre uma semente dura (Figura 4B). O açaí (*Euterpe oleracea*) e a juçara, embora sejam frutos parecidos, tanto no aspecto físico quanto nutricional, são provenientes de plantas diferentes. Mesmo sendo amplamente distribuída pelo Brasil, a juçara ainda é menos conhecida e consumida que o açaí (BRITO et al., 2007).

Figura 4: Palmeira juçara (A) e seu fruto (B)



Fonte: Pereira et al. (2017).

A palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius) é um monocaule de 5-12 m de altura, caule de 10-15 centímetros de diâmetro, com um cone de raízes visíveis na base, folhas em número de 8-15; pinas de 65-72 pares, distribuídas uniformemente e dispostas em um mesmo plano, produz cachos de frutos drupáceos, esféricos quando maduros de cor preta a negra vinosa com mesocarpo fino e fibro-carnoso, denominados popularmente de juçara (MAC FADEN, 2005). As palmeiras formam cachos com milhares de frutos que medem de 2 a 4 cm de diâmetro, pesando em média 1 g, e os cachos podem atingir 5 kg, sendo a média de 3 kg (HENDERSON, 2000).

Em estudo realizado por Silva, Barretto e Serôdio (2004) em que compararam a polpa de açai (*Euterpe oleracea* Martius) com a polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius) produzidas no sul da Bahia, foram observadas diferenças entre ambas as espécies como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química de polpa de açai (*Euterpe oleracea*) e juçara (*Euterpe edulis*)

Amostra	Composição			
	Proteínas*	Açúcares*	Lipídeos*	Valor Energético (kcal 100 g ⁻¹)
Polpa de açai	7,76	1,02	13,78	152,93
Polpa de juçara	6,72	1,20	13,90	155,74

*Valores expressos em g.100g⁻¹ de matéria seca.

Fonte: Adaptado de Silva, Barretto e Serôdio (2004).

A parte comestível do fruto juçara corresponde a 17% (m/m), sendo o restante composto pela semente (83%). Determinações físicas e químicas da polpa desse fruto relataram 59,7% de umidade; 2,5% de proteína, 7,0% de lipídios; 25,5% de glicídios; 1,2% de cinzas; 0,2% de cálcio e 0,1% de fósforo; e valor energético de 80 kcal 100 g⁻¹ (ROGEZ et al., 2000). As duas antocianinas majoritárias do fruto da juçara identificadas foram a cinidina-3-glicosídeo e a cianidina-3-rutinosídeo (BRITO et al., 2007).

Considerando as possibilidades de ampliação do setor de fruticultura, observa-se a possibilidade da expansão da cultura da juçara no Brasil, especificamente no bioma da Mata Atlântica, como uma fonte de renda para a agricultura familiar, visando à exploração dos frutos como fonte potencial de compostos bioativos para uma diversidade de aplicações na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Desta forma o extrativismo da palmeira para a extração do palmito, em algumas situações de forma clandestina, pode dar lugar à exploração dos frutos como fonte de renda sustentável (PAIM, 2016).

Geraldi et al. (2018) desenvolveram um iogurte natural adicionado de polpa de juçara e cepa comercial de *Lactobacillus acidophilus* e simularam a digestão no trato gastrointestinal *in vitro* das formulações. A conclusão do estudo foi que, quando adicionados de polpa de juçara, os iogurtes apresentaram uma melhor viabilidade durante o armazenamento e um aumento da sobrevivência probiótica quando submetidos às condições de digestão simulada, indicando um potencial para o uso da juçara em conjunto com bactérias probióticas. Novello (2011) estudou a ação antioxidante e antiaterogênica de juçara liofilizada que foi introduzida na alimentação de camundongos. Os resultados obtidos demonstraram que o extrato melhorou a atividade antioxidante, a glicemia e o perfil lipídico dos camundongos estudados no período de 75 dias.

Bicudo (2014) em sua tese analisou a composição fenólica, a atividade antioxidante e diferentes materiais de parede para a microencapsulação da juçara em pó e os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que o alto teor de antocianinas se manteve estável durante o período de estocagem acelerado (40 °C e umidade relativa de 75% por 30 dias) principalmente para as microcápsulas de juçara e goma arábica. A autora considerou-as como um antioxidante natural com potencial de substituição total ou parcial de antioxidantes sintéticos no desenvolvimento de produtos.

2.4 Oxidação lipídica

A oxidação lipídica é um fenômeno espontâneo e inevitável em alimentos, sendo considerada a principal responsável por alterações no gosto (rancificação), perda na qualidade nutritiva através da degradação de vitaminas e ácidos graxos essenciais, além de produzir compostos tóxicos e reativos que representam um perigo para o consumidor (SOARES et al., 2009).

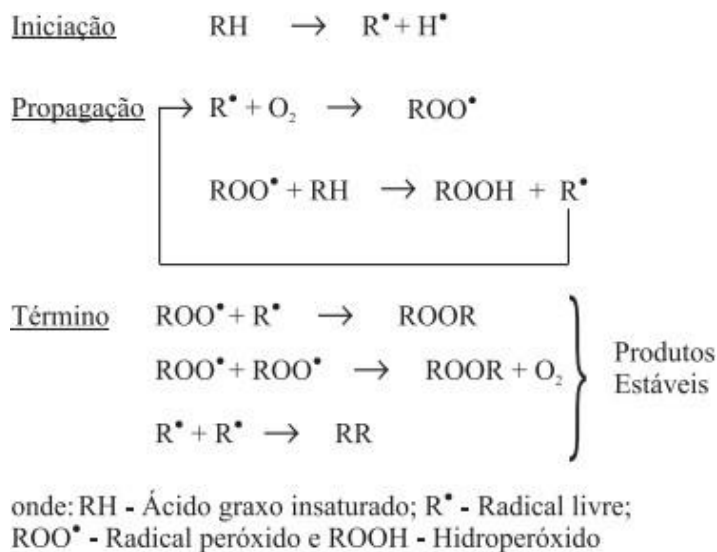
Entre os fatores que catalisam a oxidação de lipídeos estão: presença de insaturações nos ácidos graxos, incidência de luz, temperatura, presença de compostos antioxidantes e de pró-oxidantes (como metais e clorofila), enzimas, metaloproteínas, microrganismos e condições de armazenamento (ANTONIASSI, 2001). A rancificação implica preocupações para a indústria de alimentos uma vez que pode ocorrer em produtos que contenham apenas 1% de gordura (ORDÓÑEZ, 2005).

Os principais substratos da reação de oxidação lipídica são os ácidos graxos insaturados, pois as ligações duplas são centros ativos que podem reagir com o oxigênio. Os ácidos graxos insaturados oxidam-se mais facilmente quando estão livres e o grau de instauração também influi na velocidade da reação (ANDREO e JORGE, 2006).

Os lipídeos podem ser oxidados por diferentes mecanismos: reações hidrolíticas, oxidação enzimática, fotoxidação e auto-oxidação (SILVA, BORGES e FERREIRA, 1999; RAMALHO e JORGE, 2006). As reações hidrolíticas são catalisadas pelas enzimas lipase ou pela ação de calor e umidade, com formação de ácidos graxos livres. A oxidação enzimática ocorre pela ação das enzimas lipoxigenases que atuam sobre os ácidos graxos poli-insaturados, catalisando a adição de oxigênio à cadeia hidrocarbonada poli-insaturada. O resultado é a formação de peróxidos e hidroperóxidos com duplas ligações conjugadas que podem envolver-se em diferentes reações de degradação (SILVA, BORGES e FERREIRA, 1999).

A fotoxidação é promovida essencialmente pela radiação UV/VIS em presença de fotossensibilizadores (clorofila, mioglobina, riboflavina e outros) que absorvem a energia luminosa de comprimento de onda na faixa do visível e a transferem para o oxigênio triplete, gerando o estado singlete (CHORILLI, LEONARDI e SALGADO, 2007). A auto-oxidação é o principal mecanismo de oxidação dos óleos e gorduras, e está associada à reação do oxigênio com ácidos graxos insaturados, ocorrendo nas etapas de iniciação, propagação e término (RAMALHO e JORGE, 2006).

Figura 5: Esquema geral do mecanismo da oxidação lipídica



Fonte: Ramalho e Jorge (2006).

Um dos principais problemas na conservação dos alimentos lipídicos é o desencadeamento do processo oxidativo, que resulta na produção de odores e sabores desagradáveis, tornando os alimentos inadequados para o consumo. Como resultado da reação entre oxigênio e os ácidos graxos insaturados ocorre a formação de compostos de baixa massa molecular, que são os principais responsáveis pelo desenvolvimento de odores indesejáveis (PASSOTO, PENTEADO e MANCINI-FILHO, 1998).

As consequências nutricionais da oxidação lipídica são: destruição parcial dos ácidos graxos essenciais linoleico e linolênico; destruição parcial de outros lipídios insaturados como as vitaminas A, carotenoides e tocoferóis; destruição parcial da vitamina C; formação de produtos secundários da oxidação lipídica e compostos de Maillard, capazes de reagir com biomoléculas, diminuindo a absorção destas; irritação da mucosa intestinal por peróxidos, que provoca diarreia e diminui a capacidade de absorção; formação de lipídios oxidados que são antagonistas de diversos nutrientes (KIRK, 1984; KANNER, 1994).

A estabilidade oxidativa não depende apenas da composição química, mas também da qualidade da matéria-prima, das condições de processamento e de estocagem, e é um parâmetro global para a avaliação de qualidade de óleos, gorduras e produtos que os contêm (SILVA, BORGES e FERREIRA, 1999).

Os óleos, gorduras e alimentos gordurosos normalmente são acrescidos de substâncias capazes de retardar ou inibir a oxidação do substrato e, conseqüentemente, prolongar o armazenamento (RAMALHO e JORGE, 2006).

2.5 Atividade antioxidante

Antioxidante pode ser definido como um composto ou substância química que inibe a oxidação ou qualquer substância que, quando presente em baixa concentração comparada à do substrato oxidável, diminui ou inibe significativamente a oxidação do mesmo (FUKUMOTO e MAZZA, 2000; RAMALHO e JORGE, 2006).

Os antioxidantes podem ser classificados em produtos que atuam sobre a formação do O_2 , que reagem com o O_2 , que atuam de forma competitiva em cadeia ou que atuam sobre os peróxidos, decompondo-os, de forma a produzirem compostos que não mais participam da reação em cadeia de radicais livres (RAMALHO e JORGE, 2006).

Existe uma grande quantidade de compostos, tanto naturais quanto sintéticos, com propriedades antioxidantes; estes precisam cumprir certos requisitos para o uso em alimentos, a segurança para a saúde é um deles (GENEMA, 2002).

Os antioxidantes sintéticos são, em geral, compostos com estruturas fenólicas que apresentam vários graus de substituição alquila, enquanto os antioxidantes naturais podem ser: compostos fenólicos (tocoferóis, flavonoides e ácidos fenólicos), compostos nitrogenados (alcaloides, derivados da clorofila, aminoácidos e aminas), ou carotenoides, bem como ácido ascórbico (GENEMA, 2002).

Os antioxidantes também podem ser classificados em primários, sinergistas, removedores de oxigênio, biológicos, agentes quelantes e antioxidantes mistos. Os primários são compostos fenólicos que promovem a remoção ou inativação dos radicais livres formados durante a iniciação ou propagação da reação oxidativa. Os principais representantes do grupo são os polifenóis, como o 2 e 3-terc-butil-4-hidroxianisol (BHA), 2,6-di-terc-butil-p-cresol (BHT), terc-butil-hidroquinona (TBHQ) e 3,4,5-trihidroxibenzoato de propila (propil galato - PG) (RAMALHO e JORGE, 2006).

Sinergistas são substâncias com pouca ou nenhuma atividade antioxidante, mas que podem aumentar a atividade dos antioxidantes primários quando usados em combinação adequada. Os removedores de oxigênio são compostos que atuam capturando o oxigênio presente no meio, através de reações químicas estáveis, tornando-os indisponíveis para atuarem como propagadores da auto-oxidação (RAMALHO e JORGE, 2006).

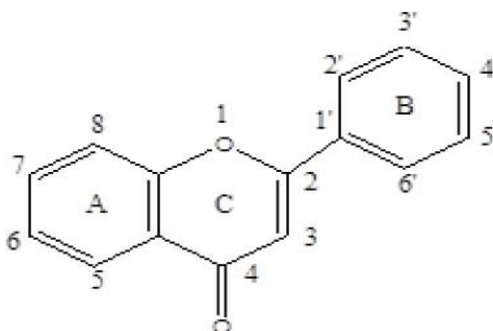
Os antioxidantes biológicos incluem várias enzimas, como glucose oxidase, superóxido dismutase e catalases que podem remover o oxigênio ou compostos altamente reativos de um sistema alimentício. Os agentes quelantes/sequestrantes complexam íons metálicos, principalmente cobre e ferro, que catalisam a oxidação lipídica (RIBEIRO, BERNARDO-GIL e ESQUÍVEL, 2001). Para evitar o desenvolvimento da reação oxidativa, os antioxidantes são empregados como aditivos alimentares. Os mais utilizados na indústria de alimentos são o BHA e o BHT (KEBEDE e ADMASSU, 2019). Embora estes antioxidantes sintéticos possam ser efetivamente utilizados em embalagens alimentares ativas devido à sua elevada estabilidade, baixo custo e eficiência, existem preocupações significativas relacionadas aos aspectos toxicológicos devido ao risco potencial para a saúde (SIRIPATRAWAN e HARTE, 2010).

Substâncias naturais capazes de atuar como antioxidantes alternativos têm sido estudadas devido à rejeição dos consumidores por aditivos sintéticos em produtos alimentares. A incorporação dessas substâncias em embalagens ativas com atuação antioxidante é uma alternativa, sendo considerada como um dos sistemas de embalagens mais promissores (WAN et al., 2013).

2.5.1 Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos constituem uma das maiores classes de substâncias presentes na natureza, com mais de 6000 substâncias identificadas. São originados do metabolismo secundário de plantas e apresentam diferentes estruturas e funções. São estruturas de baixa massa molecular e sua conformação básica possui dois anéis aromáticos, A e B, e um anel heterocíclico denominado núcleo flavano (anel C) (COOK e SAMMAN, 1996) (Figura 6).

Figura 6: Estrutura geral dos flavonoides



Em plantas, são essenciais no crescimento e na reprodução, além de atuarem como agente antipatogênico e contribuírem na pigmentação. Em alimentos, os compostos fenólicos são responsáveis pela cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa (NACZK e SHAHIDI, 2004). Na saúde, possuem grande importância devido às características anti-inflamatórias, antioxidantes, anticancer, antibacterianas e atuam na prevenção de doenças degenerativas (HUANG, YU e MA, 2004), mas o principal efeito destes compostos tem sido atribuído à sua ação antioxidante (MAJO et al., 2005).

Os compostos fenólicos são classificados em dois grandes grupos, os flavonoides e os não flavonoides. O primeiro representa o maior grupo de polifenóis encontrados em alimentos e é considerado o mais potente antioxidante (SCALBERT e WILLIANSO, 2000).

A capacidade antioxidante de compostos fenólicos deve-se principalmente às suas propriedades redutoras e estrutura química que desempenham um papel importante na redução ou sequestro de radicais livres e quelação de metais de transição, agindo tanto na etapa de iniciação como na propagação do processo oxidativo (DEGÁSPARI e WASZCZYNSKI, 2004).

Os fenólicos antioxidantes interferem na oxidação lipídica através da rápida doação de átomos de hidrogênio aos radicais lipídicos. São excelentes doadores de elétrons e formam intermediários relativamente estáveis devido à ressonância do anel aromático presente na estrutura destas substâncias (SOUSA et al., 2007).

Diversos estudos foram desenvolvidos para verificar o potencial antioxidante dos ácidos fenólicos, visando substituir os antioxidantes sintéticos, largamente utilizados na conservação de alimentos lipídicos por aumentarem a vida útil de muitos produtos (ZHENG e WANG, 2001; RAMALHO e JORGE, 2006).

Dentre os compostos fenólicos presentes na natureza destacam-se, os flavonoides, os ácidos fenólicos, os taninos e os tocoferóis. As antocianinas pertencem à classe dos flavonoides e são de grande importância devido à sua larga distribuição em plantas (ANGELO e JORGE, 2007).

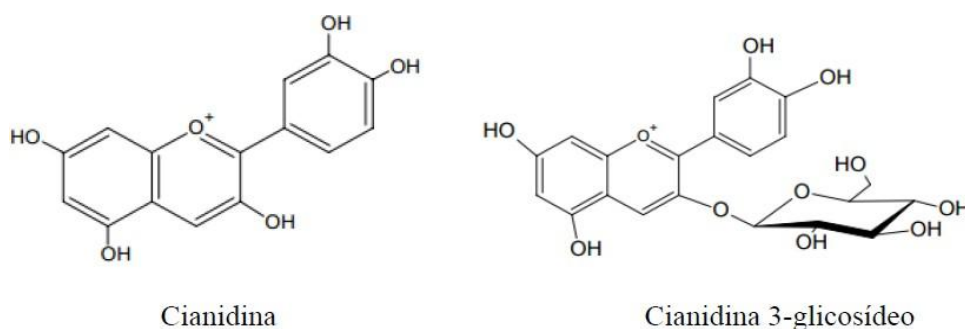
2.5.2 Antocianinas

Antocianinas são pigmentos vegetais importantes, pertencentes à classe dos compostos fenólicos chamados de flavonoides. Estão presentes em frutos, flores e hortaliças com um espectro de cor que varia do vermelho ao azul (KONG

et al., 2003). Após a clorofila, é o mais importante grupo de pigmentos vegetais e compõe o maior grupo de pigmentos hidrofílicos do reino vegetal. As antocianinas têm a capacidade de conferir cor aos vegetais, desempenhando um papel na atração de animais para polinização e dispersão de sementes. Juntamente com outros flavonoides, desempenham papel na resistência de plantas ao ataque de pragas. A estrutura fenólica das antocianinas confere atividade antioxidante através de doação ou transferência de elétrons dos átomos de hidrogênio (LOPES et al., 2007).

As antocianidinas correspondem às estruturas básicas das antocianinas e, quando encontradas na forma de glicosídeo, ou seja, ligadas a um açúcar, são conhecidas como antocianinas. A diferença entre as antocianinas está relacionada ao número de hidroxilas, à natureza, à posição e ao número de açúcares associados à molécula e à natureza e quantidade de ácidos aromáticos ou alifáticos ligados a esses açúcares. A cianidina é a antocianidina distribuída em maior concentração em partes comestíveis de plantas e a antocianina mais difundida é a cianidina-3-glicosídeo (KONG et al., 2003). (Figura 7).

Figura 7: Estrutura química da Cianidina e da Cianidina-3-glicosídeo



Fonte: Rein (2005).

2.6 Determinação da capacidade antioxidante

Muitos métodos são utilizados para determinar a capacidade antioxidante de materiais biológicos. Os métodos se baseiam na captura do radical peroxil como o ORAC (capacidade de absorção de radicais de oxigênio) e TRAP (potencial antioxidante reativo total); na redução de metais como o FRAP (poder antioxidante redutor do íon férrico), CUPRAP (poder antioxidante de redução do íon cúprico) (SUCUPIRA et al., 2012).

Os métodos que envolvem compostos cromogênicos de natureza radical, ABTS e DPPH, têm sido um dos mais utilizados para determinar a

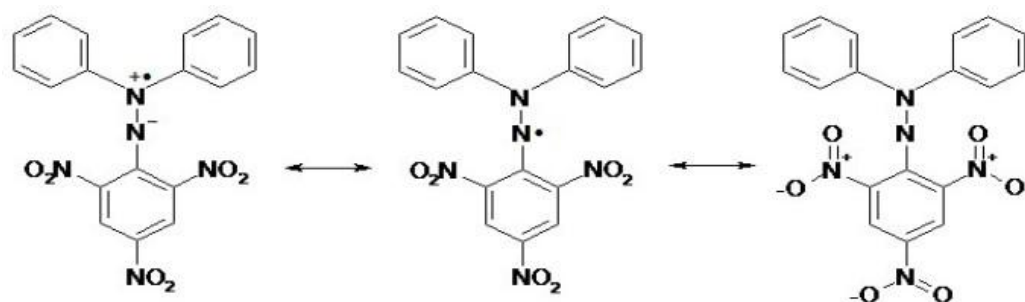
capacidade antioxidante em frutas. Estes estimulam as espécies redutoras de oxigênio e são considerados bons métodos, pois são acessíveis, práticos, rápidos, sensíveis e estáveis. Nestes métodos, a presença de um composto antioxidante leva ao desaparecimento do radical cromógeno, o que caracteriza uma diminuição na leitura da absorbância (SUCUPIRA et al., 2012).

É possível determinar a quantidade de $ABTS^{\bullet+}$ consumida devido à reação com amostras contendo compostos fenólicos expressa em Trolox equivalentes (unidades de concentração). Esse valor é designado como TEAC (capacidade antioxidante trolox equivalente), isso fornece uma estimativa da quantidade de moléculas de radicais consumidas pelo antioxidante (CAMPOS e LISSI, 1997).

O radical ABTS é produzido a partir do precursor, ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolina)-6-sulfônico, é um composto cromóforo estável e hidrossolúvel, com máxima absorbância a 414 nm e medidas secundárias de absorbância a 645, 734 e 815 nm. Deve ser gerado por reações enzimáticas ou químicas, podendo ser solubilizado em meios orgânicos e aquosos nos quais a capacidade antioxidante pode ser determinada, dependendo da natureza dos compostos antioxidantes. O método ABTS se baseia na capacidade dos antioxidantes de capturar o cátion $ABTS^{\bullet+}$, o que provoca um decréscimo na absorbância e ocorre a partir da mistura do radical com o antioxidante em diferentes tempos, sendo representado graficamente (SUCUPIRA et al., 2012). O radical livre é altamente reativo devido aos seus elétrons não pareados, desta forma, o agente antioxidante promove a transferência de elétrons, estabilizando-o (HUANG, YU e MA, 2004; RUFINO et al., 2007). Este método tem como vantagem a possibilidade de ser utilizado para amostras hidrossolúveis e lipossolúveis, apresenta excelente estabilidade, sendo um dos testes mais rápidos de capacidade antioxidante e que oferece resultados reprodutíveis, além de oferecer o máximo de absorção e boa solubilidade (SUCUPIRA et al., 2012). Ainda é um método barato e fácil de usar, é estável em pH em curtos períodos, portanto, pode ser utilizado para estudar o efeito do pH sobre a capacidade antioxidante (ZULETA, ESTEVE e FRÍGOLA, 2009).

Já a molécula de DPPH (Figura 8) é caracterizada como um radical estável em virtude da deslocalização do elétron desemparelhado por toda a molécula. Tal deslocalização confere a esta molécula uma coloração violeta, caracterizada por uma banda de absorção em etanol em cerca de 520 nm (MOLYNEUX, 2004).

Figura 8: Estabilização do radical DPPH•



Fonte: Oliveira (2015).

O método DPPH é muito utilizado para determinar a atividade antioxidante de extratos e substâncias isoladas como: compostos fenólicos, fenólicos totais, flavonóis, cumarinas, quitosana com diferentes massas moleculares, antocianinas e antocianidinas, carotenoides e rutina. O DPPH pode reagir com compostos fenólicos, bem como ácidos aromáticos contendo apenas um grupamento (SANTOS et al., 2007).

Esse método consiste em avaliar a capacidade antioxidante via atividade sequestradora do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila - DPPH•. Por ação de um antioxidante (AH) ou uma espécie radicalar (R•), o DPPH é reduzido formando difenil-picril-hidrazina, de coloração amarela, com conseqüente desaparecimento da absorção, podendo ser monitorada pelo decréscimo da absorbância. A partir dos resultados obtidos, determina-se a porcentagem de atividade antioxidante ou sequestradora de radicais livres e/ou porcentagem de DPPH• remanescente no meio reacional (RAYMUNDO, HORTA e FETT, 2004). A reação do radical livre DPPH com um antioxidante (AH) ou uma espécie radical (R•) ocorre de acordo com as equações 1 e 2 (MILARDOVIC, IVEKOVIC e GRABARIC, 2005):



A porcentagem de atividade antioxidante (%AA) corresponde à quantidade de DPPH consumida pelo antioxidante, sendo que a quantidade de antioxidante necessária para decrescer a concentração inicial de DPPH em 50% é denominada concentração eficiente (CE50), também chamada de concentração inibitória (CI50). Quanto maior o consumo de DPPH por uma

amostra, menor será a sua CE50 e maior a sua atividade antioxidante (SOUSA et al., 2007).

2.7 Técnicas para a produção de materiais biodegradáveis

A) Extrusão termoplástica

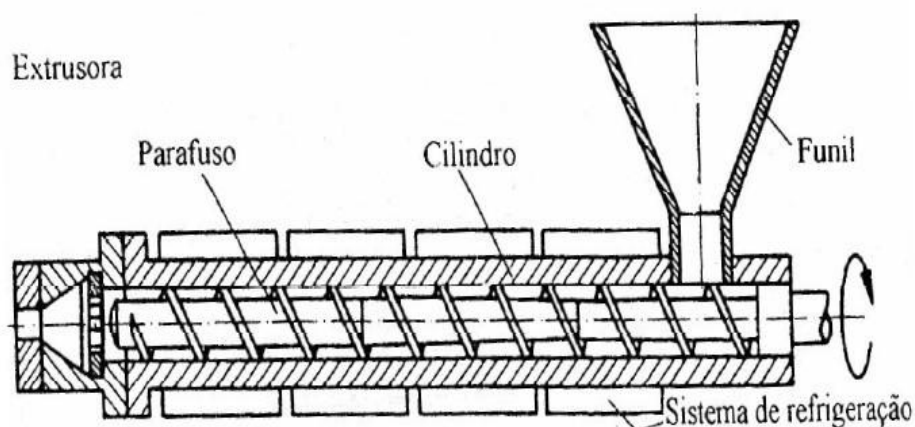
A extrusão termoplástica é uma operação termomecânica de ampla aplicação, utilizada no processamento de materiais poliméricos e no processamento de alimentos como *snacks*, cereais matinais, amidos modificados e no processamento de rações animais (WANG e PÁDUA, 2003).

A maioria das blendas poliméricas é processada pelo menos duas vezes em sua vida útil, o primeiro processo consiste na mistura dos componentes e obtenção de um material que dará origem geralmente aos pellets, e o segundo refere-se à moldagem do produto final com a geometria desejada. O primeiro envolve técnicas como extrusão e mistura, enquanto o último pode envolver processos como moldagem por injeção, preparação de filmes, placas, entre outros (VLACHOPOULOS e STRUTT, 2003).

O processo de extrusão consiste na mistura e no transporte de materiais por uma rosca sem-fim, em um aquecimento contínuo, com conversão da energia mecânica em energia térmica, apresentando versatilidade e baixo custo. Além da vantagem de não gerar efluentes, uma vez que utiliza pouca água no processo, é considerada uma operação de baixo impacto ambiental (SCAPIM, 2009).

A Figura 9 representa os principais elementos de uma extrusora; a rosca é a mais importante pelo fato de transportar, fundir, homogeneizar e plastificar o polímero. A rosca mais empregada é a que possui um sistema de três zonas, sendo elas: a zona de entrada (função de transporte), a de compressão (compactação e fusão do material) e a zona de calibragem (material é homogeneizado e elevado à temperatura de processamento desejada) (MERCIER, 1984).

Figura 9: Esquema de uma extrusora monorrosca



Fonte: Michaeli (1995).

A mistura dentro do canhão absorve calor por dissipação de energia mecânica aplicada ao parafuso. O controle da temperatura em cada uma das zonas da extrusora pode ser feito através de serpentinas de ar comprimido ou camisas de água fria. Diversos cilindros vêm equipados, para o controle do processo, com sensores de pressão e temperatura (BORSCHIVER, ALMEIDA e ROITMAN, 2008).

O funil é a peça responsável pela alimentação da extrusora; o material pode encontrar-se na forma de pó, grânulo ou pellet. O canhão e a rosca devem possuir comprimento suficiente para geração de pressão e transmissão de calor de modo a promover a plastificação do polímero (COSTA et al., 2008).

O rigoroso controle de parâmetros como temperatura, umidade, rotação do parafuso, velocidade de alimentação da extrusora, diâmetro da matriz, tempo e temperatura de secagem são aspectos importantes a serem monitorados para se obter produtos de alta qualidade (YU, RAMASWAMY e SOUMPASI, 2006). Além dos cuidados supracitados, a composição da matéria-prima, o tamanho da partícula e o teor de umidade influenciam diretamente na viscosidade do produto na extrusora e determinam as características do produto final (FELLOWS, 2006).

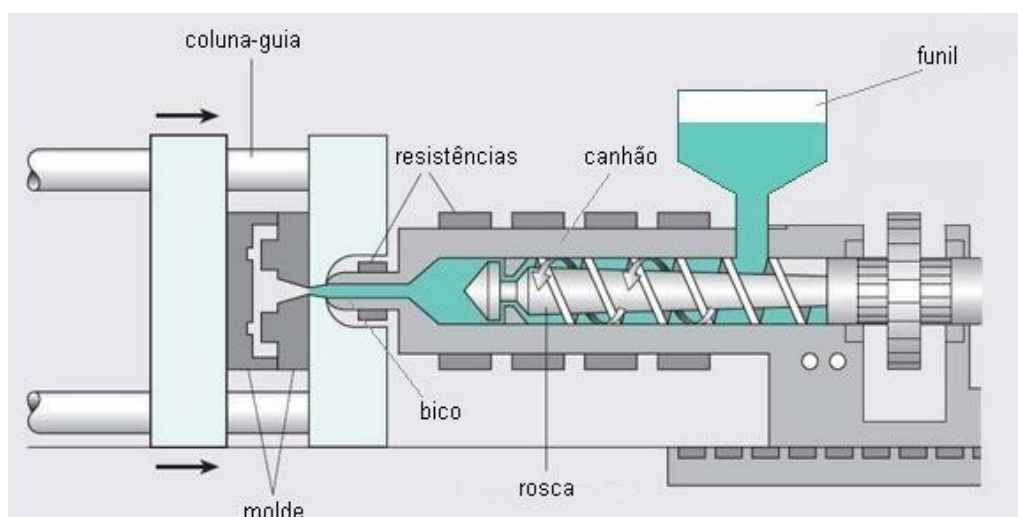
B) Moldagem por injeção

A moldagem por injeção é o processo usado para a produção de inúmeras peças, de tamanhos variados através da injeção de um polímero

fundido nas cavidades do molde. Compreende um processo cíclico de duas etapas: a fusão do material e o enchimento do molde com o polímero (VLACHOPOULOS e STRUTT, 2003).

Na moldagem por injeção, o polímero termoplástico é aquecido em uma câmara cilíndrica a uma temperatura que causa o escoamento do material. Um molde é conectado no final da câmara. Sob vários parâmetros de moldagem, como calor e pressão, o material fundido então vai para o molde. Este material é então pressionado hidraulicamente por meio de um embolo e vai para o molde frio. Após o parafuso derreter e empurrar o molde, ele retrocede e assume-se que o processo está pronto para o próximo ciclo de material, levando à remoção do molde (VERMA e FORTUNATI, 2019) (Figura 10).

Figura 10: Esquema de uma injetora



Fonte: Roda (2011).

Segundo Vlachopoulos e Strutt (2003), as máquinas de moldagem por injeção são classificadas pelo tamanho de seus sistemas de fixação, que são sistemas de alternância hidráulica, elétrica ou mecânica usados para manter o molde fechado com força suficiente para resistir à pressão de injeção.

2.8 Caracterização de materiais biodegradáveis

Materiais biodegradáveis de amido são estudados devido às características desejáveis dos mesmos tais como a ausência de sabor, odor e

cor e por apresentar baixa permeabilidade ao oxigênio sob baixas umidades relativas. Entretanto, apresentam uma alta permeabilidade ao vapor de água, quando comparados com materiais plásticos convencionais, como os de polietileno e polipropileno. Além disso, apresentam uma moderada resistência à tração e à porcentagem de alongamento, tornando-se quebradiços em condições de baixa umidade (PHAN-THE et al., 2009).

Com o objetivo de melhorar as características dos materiais, usualmente são adicionados agentes plastificantes, dentre os quais os mais utilizados são os polióis (glicerol e sorbitol), sacarose, açúcar invertido, entre outros. Conseqüentemente, diminui a resistência à tração, aumenta o alongamento do filme e altera a temperatura de transição vítrea do material (VEIGA-SANTOS et al., 2005; HAYASHI et al., 2006).

As propriedades físicas dos injetados de amido podem mudar significativamente com alterações de temperatura e umidade relativa durante a realização dos ensaios de caracterização. A fim de que se possam comparar diferentes materiais e resultados de diferentes laboratórios, é necessário padronizar tais condições durante as análises. As amostras são condicionadas em ambiente controlado, durante um tempo, para que se obtenha um estado definido das mesmas. Esta medida facilita a reprodutibilidade das análises e permite conhecer o comportamento do material em relação a determinadas condições ambientais (REIS, 2011).

A utilização de aditivos com atividades antimicrobianas, antifúngicas, antioxidantes, dentre outros, altera as características dos materiais biodegradáveis à base de amido, sendo recomendada a caracterização físico-química, térmica e mecânica, sempre que algum tipo de aditivo seja incorporado. As análises de caracterização mais comumente realizadas são: densidade, perda de massa em água, caracterização mecânica, caracterização estrutural e caracterização ótica (REIS, 2011).

2.8.1 Propriedades mecânicas

A utilização de polímeros biodegradáveis para a produção de embalagens exige que os materiais sejam resistentes à ruptura quando submetidos à tração, rasgamento, impacto e abrasão, de forma a permitir a integridade do produto embalado e facilitar sua manipulação. Devem também ser flexíveis para que possam se adaptar a possíveis deformações sem sofrer

ruptura (MALI et al., 2002; SARANTÓPOULOS et al., 2002). As propriedades mecânicas dos filmes dependem da formulação utilizada (macromolécula, solvente, plastificante, ajustador de pH) e do processo de obtenção (MALI et al., 2004).

Biopolímeros de amido apresentam menor flexibilidade, quando comparados aos polímeros sintéticos, pois o amido gelatinizado apresenta fortes ligações polares, tornando-o quebradiço. A incorporação de um agente plastificante, como o glicerol, proporciona uma maior flexibilidade à estrutura polimérica devido à redução de forças intermoleculares, aumentando a mobilidade entre as cadeias em filmes de amido (BERTUZZI, ARMANDA e GOTTIFREDI, 2007).

Os plastificantes atuam diminuindo as forças intermoleculares entre as cadeias de amido, provocando a redução da temperatura de transição vítrea e, de modo geral, a resistência cai e a flexibilidade aumenta com o incremento da concentração de plastificante (SOBRAL, 1999).

O teste mais utilizado para medir a resistência mecânica, é o de tração, onde podem ser derivadas as propriedades de resistência à tração, alongação, força resultante e módulo de elasticidade. O ensaio de determinação das propriedades de tração de um filme flexível consiste na separação, em uma velocidade constante, de duas garras que prendem as extremidades de um corpo de prova, registrando-se ao longo do ensaio a força ou a resistência que o material oferece à deformação. A deformação é o alongamento relativo do corpo de prova em relação ao seu comprimento original. A tensão de ruptura (MPa) é a resistência oferecida pelo material no ponto da ruptura. O alongamento (%) é a relação percentual entre a alongação do corpo de prova e seu comprimento inicial (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

As amostras de frutos da juçara (*Euterpe edulis*) foram obtidas de um único produtor situado na cidade de Rolândia – PR (latitude: -23.3105, longitude: -51.3695, 23° 18' 38" sul, 51° 22' 10" oeste; clima subtropical úmido). As amostras foram colhidas entre os meses de abril e maio de 2019, período em que os frutos estavam no estágio ótimo de maturação e apresentaram uniformidade de cor e tamanho. As amostras foram armazenadas em caixas plásticas e transportadas até a Universidade Estadual de Londrina (UEL), onde foram selecionadas, higienizadas e armazenadas em câmara fria até o início das análises.

O amido de milho (Apti Alimentos, Brasil), glicerol (99,5% P.A., Alphatec, Brasil) e o PBAT (Ecoflex, BASF, Alemanha) foram utilizados para a produção dos materiais biodegradáveis.

3.2 Locais de realização

As análises referentes a este estudo foram realizadas nos laboratórios de pesquisa do Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos (DCTA) da UEL. A obtenção da polpa foi realizada no laboratório de processamento de bebidas e vegetais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Londrina.

3.3 Métodos

3.3.1 Obtenção da polpa de juçara

Após a colheita e transporte dos frutos de juçara até os laboratórios do DCTA – UEL, os frutos foram selecionados, sendo que os de coloração verde ou vermelha, que apresentavam injúrias na casca ou tamanho não uniforme, foram descartados. Após a seleção, os frutos foram lavados em água potável e corrente. A sanitização ocorreu em água clorada a 200 mg/L por 30 min, sendo

Posteriormente, realizadas as operações de enxágue, intumescimento em água a 50 °C por 30 min. A polpa foi extraída em despoldadeira horizontal de um estágio da marca Mecamau (Brasil) em duas etapas diferentes, em uma delas utilizou-se 1 parte de água para cada parte de fruto, na outra utilizou-se 2 partes de fruto para 1 parte de água. No momento da despolda, verificou-se que ambos os processos foram eficientes para retirar a polpa do caroço. A polpa foi armazenada em sacos de polietileno e congelada em freezer vertical (Consul, Brasil) a -18 °C.

3.3.2 Obtenção do pó de juçara liofilizado

A polpa da juçara foi descongelada de dois modos diferentes: uma parte em câmara fria ao abrigo de luz e outra parte à temperatura ambiente também ao abrigo de luz. A polpa foi acondicionada em tubos Falcon de 50 mL e congeladas em ultra freezer (Sanyo V.I.P series, Japão) a -80 °C por 24 h e a codificação das amostras está apresentado na Tabela 02:

Tabela 2: Codificação das amostras segundo as condições de extração da polpa e de descongelamento

Amostra	Condição de extração	Condição de descongelamento
JC 1:1(1)	1 parte de fruto e 1 parte de água	Temperatura ambiente ao abrigo de luz
JC 1:1(2)	1 parte de fruto e 1 parte de água	Câmara fria ao abrigo de luz
JC 2:1(1)	2 partes de fruto e 1 parte de água	Temperatura ambiente ao abrigo de luz
JC 2:1(2)	2 partes de fruto e 1 parte de água	Câmara fria ao abrigo de luz

Na sequência, a polpa congelada foi colocada no liofilizador Alpha 1-2 Id Plus (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen, Alemanha) e submetida às condições de -56 °C no condensador, vácuo de 0,37 atm e pressão de -32 mBar. a polpa liofilizada foi armazenada em sacos plásticos de polietileno em freezer a -80 °C, com este material foram realizadas todas as análises e formulações das amostras.

3.3.3 Caracterização da matéria-prima

3.3.3.1 Umidade

Foram determinadas as umidades da polpa da juçara *in natura* e liofilizada, segundo o método do Instituto Adolfo Lutz (2008). As amostras foram pesadas e colocadas em cápsulas de porcelana previamente aquecidas e taradas, levadas em estufa (De Leo, Brasil) a 105 °C por 4 h, resfriadas em dessecador e pesadas em balança analítica até massa constante. O resultado foi expresso em porcentagem de umidade e o teste foi realizado em triplicata.

3.3.3.2 Atividade de água

A atividade de água da polpa liofilizada foi determinada em um medidor de atividade de água Aqualab 4TE (Decagon Devices, EUA).

3.3.3.3 Cor

Para a determinação dos parâmetros colorimétricos da polpa de juçara liofilizada, foi utilizada a metodologia proposta por Gennandios e seus colaboradores (1996), utilizando os padrões CIE Lab (L^* , a^* e b^*), D65, ângulo 10° e as determinações foram realizadas utilizando um colorímetro Konica Minolta (modelo CR-400, Japão).

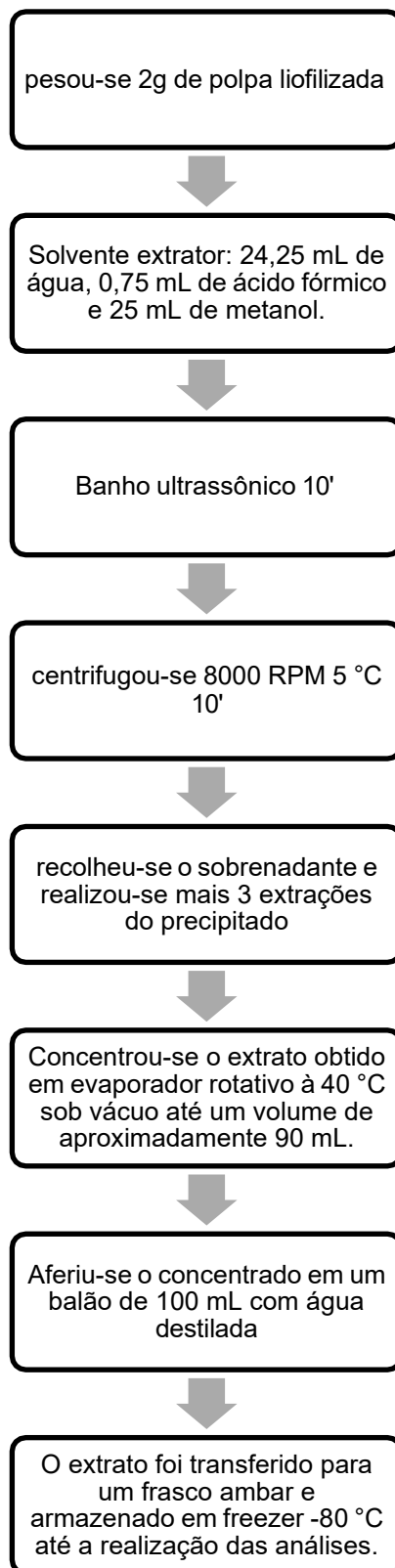
As amostras foram colocadas sobre uma superfície branca (cerâmica de calibração) e as medições foram realizadas em pontos aleatórios da polpa *in natura* e liofilizada que estavam espalhadas sobre uma placa de Petri. Foram coletados os valores de luminosidade (L^*), a^* , b^* , C e h (HUNTERLAB, 1996).

3.3.3.4 Determinação da capacidade antioxidante

Para a determinação da capacidade antioxidante total, fenólicos totais e antocianinas totais presentes no pó liofilizado foi preparado um extrato fenólico

de acordo com a metodologia proposta por Lago-Vanzella et al. (2011). As etapas de preparo do extrato estão demonstradas na Figura 11.

Figura 11: Fluxograma do processo de obtenção do extrato fenólico



O extrato obtido foi armazenado por no máximo 7 dias para a realização das análises de fenólicos totais que seguiu a metodologia proposta por Singleton e Rossi (1965), a determinação da capacidade antioxidante total através da captura do radical livre ABTS^{•+} de acordo com a metodologia proposta por Rufino et al (2007) e a análise do teor de antocianinas totais pelo método do pH diferencial (GIUSTI e WROSLTAD, 2001).

3.3.3.4.1 Determinação de fenólicos totais

Primeiramente, empregando-se como padrão o ácido gálico, foi construída a curva padrão ($y = ax + b$, onde y é a absorbância a 765 nm e x é a concentração de ácido gálico em $\mu\text{g} / 0,5 \text{ mL}$ de amostra) que foi a base do cálculo final de compostos fenólicos, levando-se em conta as diluições utilizadas para as amostras.

Para cada amostra utilizou-se 0,5 mL do extrato que foi posto em tubo de ensaio de vidro, foram acrescidos 2,0 mL de reagente Folin-Ciocalteu 10%, homogeneizou-se a amostra em vortex, adicionou-se 2,0 mL da solução de carbonato de sódio 20% e homogeneizou-se novamente. Os tubos de ensaio foram incubados em banho-maria a 50 °C por 5 minutos. Realizou-se a calibração do equipamento com uma solução de referência (branco), a aferição das amostras em absorbância a 765 nm em espectrofotômetro UV-VIS Biochrom Libra (modelo S22, Inglaterra). Os valores de absorbância foram colocados na equação supracitada, onde foram realizados os cálculos de diluição, com resultados expressos em mg de ácido gálico / 100 g de polpa de juçara liofilizada.

3.3.3.4.2 Determinação da atividade antioxidante total - ABTS

A partir dos extratos fenólicos obtidos, prepararam-se três diluições, em triplicata. Em ambiente escuro, transferiu-se uma alíquota de 30 μL de cada diluição dos extratos para os tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS^{•+} e foram homogeneizados em agitador de tubos. A leitura (734 nm) após 6 minutos da mistura foi realizada. O álcool etílico foi utilizado como branco para calibrar o equipamento.

A partir das absorbâncias obtidas das diferentes diluições dos extratos, foi plotada a absorbância no eixo Y e a diluição (mg/L) no eixo X. Em seguida, determinou-se a equação da reta. Para calcular a atividade antioxidante total, foi substituída na equação da reta a absorbância equivalente a 1.000 µM do padrão trolox.

$$y = -a \cdot x + b \quad (\text{Equação 3})$$

onde:

x = 1.000 µM do trolox

y = absorbância correspondente a 1.000 µM de trolox.

O valor obtido para o termo x corresponde à diluição da amostra (mg/L) equivalente a 1.000 µM de trolox conforme a equação abaixo:

$$y = -a \cdot x^* + b \quad (\text{Equação 4})$$

onde:

y = absorbância correspondente a 1.000 µM de trolox

x* = diluição da amostra (mg/L) equivalente a 1.000 µM de trolox.

A partir do resultado encontrado (x) na Equação 5, dividiu-se por 1.000 para obter-se o valor em g. O resultado (Equação 6) foi calculado pela divisão de 1.000 (µM) pelo valor de X (g) e multiplicado por 1 (g) para encontrar o valor final (Z) que é expresso em µM trolox / g de fruta (porção comestível).

Cálculo final expresso em (µM trolox / g)

$$X(g) = \frac{x}{1000} \quad (\text{Equação 5})$$

$$Z = \frac{1000}{X(g)} \quad (\text{Equação 6})$$

3.3.3.4.3 Determinação das antocianinas totais – método da diferença de pH

A determinação do teor de antocianinas totais seguiu a metodologia proposta por Giusti e Wrolstad (2001), através da diferença de pH. A reação

ocorreu transferindo 0,5 mL de amostra para um tubo de ensaio contendo 2,0 mL de solução tampão cloreto de potássio (pH 1,0) e uma alíquota de 0,5 mL de amostra para outro tubo de ensaio contendo 2,0 mL de solução tampão acetato de sódio (pH 4,5). Após 30 minutos em ausência de luz, realizou-se a leitura das absorvâncias das amostras dos dois tampões nos comprimentos de onda 520 e 700 nm em espectrofotômetro. Os ensaios foram realizados em triplicata.

Os resultados foram expressos em mg/100 g e calculados pela Eq. 7.

$$\text{Antocianinas} \left(\frac{\text{mg}}{100 \text{ g}} \right) = \frac{A.MW.FD.10^3}{\epsilon} \quad (\text{Equação 7})$$

Onde MW é a massa molecular para a cianidina-3-glicosídeo (449,2 g/mol); FD é o fator de diluição da amostra; ϵ = absortividade molar da cianidina-3-glicosídeo (26900 L/mol.cm); 10^3 = fator de conversão de g para mg; A é representado na equação 8.

$$A = (\text{Abs } 520 - \text{Abs } 700) \text{ pH } 1,0 - (\text{Abs } 520 - \text{Abs } 700) \text{ pH } 4,5 \quad (\text{Equação 8})$$

3.4 Produção do material biodegradável por injeção termoplástica

Na primeira etapa foram misturados manualmente os componentes glicerol, PBAT, polpa de juçara liofilizada (exceto para o controle) e o amido de milho, de acordo com as formulações da Tabela 3, que foram baseadas no trabalho de Campos (2017) com modificações.

Tabela 3: Formulações dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica

Formulação	Amido (g)	PBAT (g)	Glicerol (g)	Juçara Liofilizada (g)
BFC	490	300	210	0
BFJ1	470	300	210	20
BFJ2	450	300	210	40

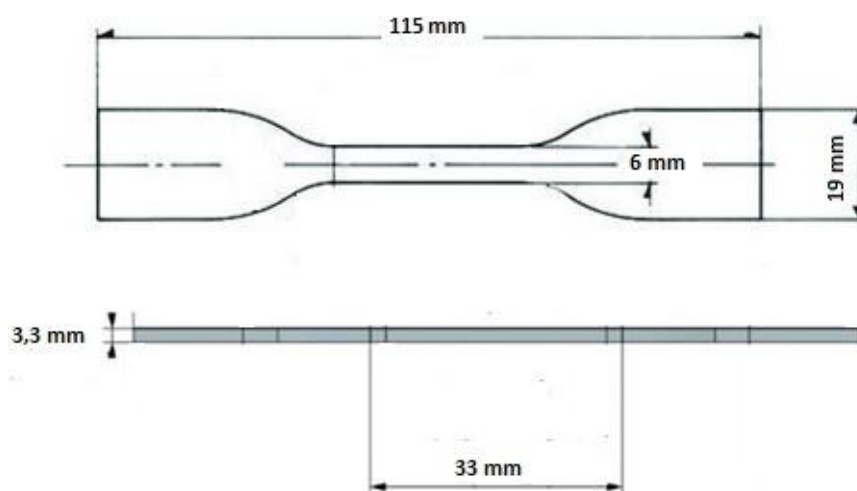
BFC: Filme controle; BFJ1: Filme adicionado de 2% de juçara liofilizada; BFJ2: Filme adicionado de 4% de juçara liofilizada.

As misturas foram extrudadas em uma extrusora piloto monorroscas (BGM – modelo EL -25, Brasil) composta por uma rosca de 25 mm de diâmetro e L/D = 30, motor 5 CV (70 RPM), com 4 zonas de aquecimento mantidas a 90/110/110/110 °C e velocidade de rosca de 35 rpm para produção de perfis

cilíndricos de 2 mm, que foram cortados para a produção de pellets.

Os pellets foram injetados em uma injetora de escala laboratório AX16 III (AX-Plásticos, Brasil) equipado com um molde que segue as normas da ASTM D638-14 (2014) (corpo de prova do tipo IV), tendo 115 mm de comprimento, 6 mm de largura e 33 mm de comprimento da seção estreita no corpo de prova, 19 mm de largura nas extremidades, além de possuir 3,3 mm de espessura (Figura 12).

Figura 12: Desenho esquemático e dimensões do corpo de prova do tipo IV



Fonte: Adaptado de Reddy, Krishna e Shanker (2017) e Hibbert et al. (2019).

As condições empregadas no processo de injeção dos corpos de prova das blendas de amido/PBAT contendo juçara liofilizada e o controle são as seguintes:

- Temperatura das zonas: 135 °C, 140 °C e 145°C;
- Velocidade e volume de injeção: 75%;
- Duração do processo: 8, 28 s;
- Curso relativo: 61950.

3.5 Caracterização dos materiais obtidos

As análises foram realizadas em triplicata e os biopolímeros caracterizados quanto à sua umidade, atividade de água, capacidade antioxidante, perda de massa em água, isotermas de sorção, análise colorimétrica, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e ensaios mecânicos.

3.5.1 Determinação da capacidade antioxidante

Para a determinação da capacidade antioxidante dos materiais, foram realizadas extrações em triplicata, em que aproximadamente 20 g de cada formulação obtida foram trituradas e utilizadas para a preparação dos extratos fenólicos conforme o procedimento descrito no item (3.3.3.4). Os extratos obtidos foram utilizados para as mesmas análises realizadas para a caracterização do pó de juçara liofilizado. Determinação de fenólicos totais conforme descrito no item (3.3.3.4.1), determinação da atividade antioxidante total (3.3.3.4.2) e determinação das antocianinas totais (3.3.3.4.3).

3.5.2 Perda de massa em água

A análise foi realizada conforme descrito por Olivato e seus colaboradores (2012). As medidas de perda de massa em água foram realizadas em triplicata e expressas em porcentagem da massa original (M_i) e da massa final (M_f) do material após imersão em água por 48 h a 25 °C conforme a Equação 9.

$$PMA = [M_i - M_f / M_i] \times 100 \quad (\text{Equação 9})$$

3.5.3 Isotermas de Sorção

Para a determinação das isotermas de sorção foram pesadas em torno de 400 a 800 mg de amostra, previamente desidratada durante duas semanas em dessecador contendo CaCl_2 , pelo método de Ponto de Orvalho Dinâmico através do equipamento AquaSorp (Decagon Devices Inc., EUA). As isotermas foram obtidas pela plotagem dos dados de umidade no equilíbrio *versus* atividade de água. Os dados experimentais de umidade em função da atividade de água das amostras ajustados pelo modelo matemático de Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB) (Equação 10) e os parâmetros do modelo foram calculados pelo *software* SorpTrac Decagon.

$$X = \frac{X_m \cdot C \cdot K \cdot a_a}{(1 - K \cdot a_a) \cdot (1 - K \cdot a_a + C \cdot K \cdot a_a)} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde X é a umidade de equilíbrio (g água/g de massa seca); a_a a atividade de água; X_m a umidade na monocamada do material adsorvente; C a constante de Guggenheim, que representa o calor de sorção na primeira camada; e K é a constante de correção das propriedades das moléculas na multicamada com relação ao volume do líquido.

3.5.4 Análise de cor

Para a determinação dos parâmetros colorimétricos, foi utilizada a metodologia proposta por Gennandios et al (1996), utilizando os padrões CIE Lab (L^* , a^* e b^*) conforme descrito no item (3.3.3.3).

3.5.5 Caracterização Morfológica - MEV

As microscopias foram obtidas usando um microscópio eletrônico de varredura (FEI Quanta 200, EUA). Os corpos de prova foram fraturados em nitrogênio líquido, presos a um suporte de alumínio e recobertos com ouro (BAL-TEC SCD 050 Sputter coater, Leica Microsystems, Alemanha) a 25 °C e pressão de 2.105 Torr. A superfície e a fratura dos materiais foram analisadas com uma voltagem de aceleração de 20 kV e nas ampliações de 80, 500, 2000 e 5000 vezes.

3.5.6 Propriedades mecânicas

Os corpos de prova foram analisados quanto a resistência à tração, o módulo de Young e o alongamento na ruptura de acordo com o método da American Society for Testing and Material ASTM – D638 – 03 (2014), com algumas modificações, utilizando uma máquina universal de ensaios (modelo DL2000, EMIC, Brasil), e uma célula de carga de 5 kN com distância inicial entre as garras de 40 mm e uma velocidade de 0,8 mm s⁻¹.

3.6 Análise Estatística

Os resultados de cada parâmetro foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey com 95% de confiança. Para avaliar os dados, foi utilizado o programa Statistica 12.0 (StatSoft, Tulsa, USA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da amostra

4.1.1 Umidade da matéria – prima

Os resultados de umidade das polpas descongeladas e das polpas liofilizadas estão na Tabelas 4A e 4B, respectivamente. As análises foram realizadas em triplicata e os valores apresentados contêm o desvio padrão.

Tabela 4: Teor de umidade das matérias-primas utilizadas no desenvolvimento dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica

Matéria-prima	Umidade %
Polpa JC 1:1 (1)	87,74 ± 0,14
Polpa JC 1: 1 (2)	89,08 ± 0,28
Polpa JC 2:1 (1)	86,58 ± 0,12
Polpa JC 2:1 (2)	92,02 ± 0,33

Matéria-prima	Umidade %
Liofilizado JC 1:1 (1)	2,88 ± 0,25
Liofilizado JC 1:1 (2)	2,96 ± 0,19
Liofilizado JC 2:1 (1)	2,75 ± 0,51
Liofilizado JC 2:1 (2)	2,96 ± 0,28

A umidade das polpas variou de 86,58 a 92,02%, caracterizando como um produto com alto teor de água e as polpas liofilizadas como de baixa umidade, variando de 2,75 a 2,96%.

O teor de umidade encontrado no trabalho de Silva (2013) foi de 89,43 ± 2,38% e Leite (2015) encontrou valores de 92,59% para a polpa de juçara, enquanto Pessanha (2016) verificou um teor de 92,17% ± 0,1% em suas amostras de polpa de açaí. Em todos os trabalhos analisados verificou-se uma elevada umidade, o que, além de tornar o material propício à degradação por microrganismos, dilui a quantidade de antocianinas no mesmo. Sendo assim, o

processo de liofilização, além de preservar o material, concentra os compostos fenólicos que são o objeto de interesse deste estudo.

No trabalho de Carvalho e seus colaboradores (2016) foi reportado um teor de umidade de $89,08 \pm 0,43\%$ para a polpa de juçara *in natura* e a desidratada pelo processo de *spray drying* foi de $2,50 \pm 0,06\%$ para o pó obtido a partir do extrato concentrado. Silva (2013) obteve em sua tese um teor de umidade de $0,69 \pm 0,296\%$ para o pó de juçara liofilizado e $3,15 \pm 0,020\%$ pelo método de atomização. EL-BACHÁ e KIM (2014) realizaram secagem da polpa de açaí (*Euterpe oleracea*) por liofilização, obtendo entre 8,1 e 8,3% de umidade, ficando acima dos teores obtidos no presente trabalho.

4.1.2 Atividade de água

Foram determinadas no presente estudo as atividades de água (a_a) das amostras liofilizadas (Tabela 5) produzidas com diferentes condições de extração da polpa e de descongelamento (Tabela 2). As análises foram realizadas em triplicata e os valores apresentados contêm o desvio padrão.

Tabela 5: Atividade de água do pó de juçara liofilizado

Amostra	Atividade de água*
Liofilizado JC 1:1 (1)	$0,349 \pm 0,082$
Liofilizado JC 1: 1 (2)	$0,351 \pm 0,027$
Liofilizado JC 2:1 (1)	$0,359 \pm 0,032$
Liofilizado JC 2:1 (2)	$0,374 \pm 0,015$

* Médias não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

As a_a das polpas de juçara liofilizadas variaram de 0,349 a 0,374 e não apresentaram diferença significativa entre si ao nível de 5%, ou seja, as diferentes condições de extração da polpa e o descongelamento não afetaram a atividade de água das polpas liofilizadas.

Bicudo (2014) em seu trabalho liofilizou amostras de juçara e as microencapsulou em três materiais de parede diferentes: goma arábica, gelatina e maltodextrina, e obteve os seguintes valores de atividade de água: $0,42 \pm 0,11$; $0,44 \pm 0,02$ e $0,40 \pm 0,01$, respectivamente.

Silva (2013) avaliou a atividade de água de polpas de juçara

desidratadas por *spray drying* e liofilizadas e obteve a a_a de 0,374 e 0,157 respectivamente.

Souza (2015) em sua dissertação produziu e caracterizou açaí desidratado em pó pelos métodos de *cast-tape drying* e liofilização e reportou atividades de água 0,386 e 0,366, respectivamente. Silva e colaboradoras (2019) estudaram a estabilidade do pó de açaí produzido pelos processos de liofilização e atomização, obtendo para as amostras liofilizadas 0,375 de atividade de água e 0,458 após um mês de armazenamento em freezer a $-18\text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.3 Análise Colorimétrica

Os parâmetros de cor CIELab* da polpa de juçara e da polpa liofilizada encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6: Parâmetros de cor CIELab* das polpas e polpas liofilizadas de juçara

Amostras	L*	a*	b*	C*	h
Polpa JC 1:1 (1)	21,99 ± 0,22	3,58 ± 0,03	-6,91 ± 0,02	52,96 ± 0,15	-10,77 ± 0,12
Polpa JC 1:1 (2)	22,03 ± 0,11	3,74 ± 0,09	-7,08 ± 0,06	53,87 ± 0,03	-10,60 ± 0,03
Polpa JC 2:1 (1)	23,35 ± 0,17	3,39 ± 0,11	-7,38 ± 0,03	57,71 ± 0,05	-9,99 ± 0,09
Polpa JC 2:1 (2)	23,48 ± 0,08	3,46 ± 0,07	-7,33 ± 0,05	55,59 ± 0,04	-10,08 ± 0,07
Liofilizado JC 1:1 (1)	24,57 ± 0,06	3,66 ± 0,02	-7,58 ± 0,09	61,12 ± 0,04	-9,86 ± 0,03
Liofilizado JC 1:1 (2)	24,38 ± 0,09	3,69 ± 0,04	-7,75 ± 0,12	63,75 ± 0,07	-9,57 ± 0,05
Liofilizado JC 2:1 (1)	22,94 ± 0,12	3,41 ± 0,12	-7,29 ± 0,08	56,55 ± 0,11	-10,10 ± 0,03
Liofilizado JC 2:1 (2)	22,73 ± 0,12	3,37 ± 0,08	-7,35 ± 0,07	57,39 ± 0,08	-10,00 ± 0,07

A cor de polpa do açaí fresco foi reportada por Cipriano (2011) com os seguintes valores: $L^*=25,46$; $a^*=1,02$; $b^*=0,29$; $C=1,06$; $h=-8,02$ e para a polpa do açaí tratada termicamente, os parâmetros foram determinados por Alexandre, Cunha e Hubinger (2004), que relataram os seguintes valores: $L^*=21,79$; $a^*=4,01$; $b^*=0,88$. Rocha (2009) encontrou os seguintes valores para polpa de mirtilo, uma fruta de coloração próxima ao açaí, $L^*=24,55$; $a^*=2,23$; $b^*=-0,54$;

$C=2,29$; $h=-0,24$. Bicudo (2014) liofilizou a polpa de juçara, microencapsulou com gelatina e obteve os seguintes parâmetros: $L^*=25,54$, $a^*=8,50$ e $b^*=-2,34$.

Em relação ao parâmetro luminosidade (L^*) da polpa e das amostras liofilizadas, os valores variaram de 21,99 a 24,57. O parâmetro L^* tem valores de 0 (preto) a 100 (branco), onde pode-se deduzir que as frutas se localizam entre as cores roxo e roxo-escuro ou negro azulado. Nos estudos de Canuto e seus colaboradores (2010) com polpas de frutos do açaí, a coordenada L^* apresentou valor médio de 16,6, indicando que estes frutos são mais escuros do que as amostras utilizadas neste trabalho.

Cipriano (2011) encontrou para a polpa do açaí um valor de L^* igual a 25,46 e Rigolon e colaboradores (2020) analisando extratos fenólicos de juçara mediram 25,32 para o parâmetro luminosidade.

Silva (2017) encontrou para luminosidade valores baixos para todas as amostras, apresentando uma tendência maior para o preto, estes valores já eram esperados devido a maiores tendências para o preto em função da secagem dos extratos.

Borges (2013) destaca que em fases mais maduras dos frutos da juçara ocorre uma leve redução na luminosidade, tendo valores de 22,14 a 25,6, estando de acordo com os resultados encontrados no presente trabalho.

Em relação ao parâmetro a^* , os valores foram positivos, indicando que as amostras tendem ao vermelho, já a coordenada b^* apresentou valores negativos, indicando tendência para a coloração azul. Os valores apresentados no trabalho encontram-se de acordo com as pesquisas realizadas por Rocha (2009), Bicudo (2014) e Cipriano (2011).

A coordenada C indica saturação da tonalidade; um valor alto indica pureza da cor. Os valores encontrados no presente estudo variaram entre 52,96 e 63,95, indicando uma alta pureza de cor. Cipriano (2011) encontrou o valor de croma de 1,06 para a polpa de açaí, Silva (2016) obteve o resultado de 1,06 para a polpa de açaí, Silva (2016) obteve o resultado de 1,06 para este parâmetro na polpa extraída com água e 5,48 no extrato etanólico e Ringolon (2020) encontrou o valor de 2,90 para este parâmetro para a polpa de juçara.

Cipriano (2011) encontrou o valor de tonalidade cromática (h) para polpa de açaí de $-8,28^\circ$, indicando que o menor ângulo representa a maior intensidade de tonalidade vermelha.

Constant (2003) testou corantes líquidos concentrados de açaí e encontrou o ângulo negativo de h , demonstrando tendência para a cor localizada entre o eixo vermelho e azul.

4.1.4 Capacidade antioxidante

No presente trabalho foram avaliadas as atividades antioxidantes das quatro diferentes polpas (Tabela 2) e das amostras liofilizadas obtidas a partir dos diferentes extratos. Os dados referentes às análises de atividade antioxidante total, compostos fenólicos totais e antocianinas monoméricas totais para a matéria-prima estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Análise de compostos bioativos das polpas de juçara

Material	Atividade antioxidante ($\mu\text{mol Trolox/g}$)	Fenólicos totais (mg ac. gal./g)	Antocianinas (mg/100 g)
Polpa JC 1:1 (1)	389,92 \pm 0,38	55,22 \pm 0,07	78,47 \pm 0,76
Polpa JC 1: 1 (2)	425,13 \pm 0,94	52,34 \pm 0,01	80,23 \pm 0,70
Polpa JC 2:1 (1)	388,68 \pm 0,04	48,96 \pm 0,01	92,58 \pm 1,15
Polpa JC 2:1 (2)	403,05 \pm 0,49	51,55 \pm 0,04	86,90 \pm 0,31
Liofilizado JC 1:1 (1)	458,09 \pm 0,01	82,38 \pm 0,89	167,33 \pm 2,02
Liofilizado JC 1: 1 (2)	456,52 \pm 0,52	76,03 \pm 5,02	136,20 \pm 2,35
Liofilizado JC 2:1 (1)	455,47 \pm 0,09	77,18 \pm 2,09	145,44 \pm 2,41
Liofilizado JC 2:1 (2)	456,36 \pm 0,01	81,37 \pm 3,05	157,61 \pm 2,08

Em relação à atividade antioxidante, os valores obtidos para os extratos das polpas variaram de 388,68 a 425,13 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ e os extratos dos liofilizados tiveram uma variação entre 455,47 e 458,09 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$.

Malherbi (2018) desenvolveu e caracterizou embalagens biodegradáveis ativas e realizou um estudo da eficácia antioxidante para embalar azeite de oliva extra virgem. Ao analisar a capacidade antioxidante do extrato seco de açaí pelo método ABTS, encontrou 143,37 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ e, ao determinar os compostos fenólicos obtidos no extrato, encontrou um valor de 13,40 mg EAG g^{-1} , quantidades inferiores às encontradas no presente estudo.

Pessanha (2016) obteve a capacidade antioxidante de 208,02 \pm 8,6 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ para a juçara liofilizada. Silva et al. (2017) obtiveram em análises semelhantes um teor de 17,15 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$ para amostras de extratos de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) extraídos com compostos polares, metanol, água e ácido fórmico. Leite e colaboradores (2018) encontraram atividade antioxidante de

44,29 ± 1,46 µmol Trolox g⁻¹. Azevedo (2013) na determinação da atividade antioxidante em sistema homogêneo pelo método ABTS, a juçara apresentou 67,5 ± 1,4 µmol Trolox g⁻¹.

A quantificação de compostos fenólicos totais foi realizada com base na equação da reta de uma curva padrão de ácido gálico, a qual obteve coeficiente de correlação (R²) maior que 0,99. A partir da equação da reta foi feita a quantificação de compostos fenólicos para o extrato tanto da polpa quanto das amostras liofilizadas, que apresentou teores variando de 48,96 a 55,22 mg EAG g⁻¹ para os extratos obtidos à partir da polpa e 76,03 a 82,38 mg EAG g⁻¹ para os extratos obtidos à partir da polpa liofilizada.

Silva et al. (2017) em análises semelhantes realizadas com extrato de açaí extraído com metanol, ácido fórmico e água obtiveram teor de compostos fenólicos totais igual a 3,46 mg EAG g⁻¹. Sant'ana (2014), analisando extratos metanólicos e aquosos de Juçara, obteve teor de compostos fenólicos totais igual a 47,84 mg EAG g⁻¹, valores estes próximos aos encontrados para as polpas neste trabalho.

Segundo RIBEIRO et al. (2018), as variáveis operacionais (temperatura, tempo, tipo de solvente) exerceram forte influência na extração de compostos antioxidantes da Juçara, variando de 591,80 a 1915,66 mg EAG 100 g⁻¹.

No presente estudo, os valores de antocianinas totais variaram de 78 a 93 mg 100 g⁻¹ para a polpa e entre 136 e 167 mg 100 g⁻¹ para o extrato liofilizado. Costa et al. (2015) apontaram valor médio de antocianinas monoméricas na polpa de juçara de 62,60 ± 0,91 mg Eq de cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹. Schultz (2008) quantificou 58,5 mg 100 g⁻¹ para a mesma espécie.

Borges et al. (2011) relataram valores de antocianinas monoméricas variando de 14,84 a 409,85 mg Eq de cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹ de matéria úmida para açaí de 5 diferentes regiões. Silva, Barreto e Seródio (2004) quantificaram 534,92 mg Eq de cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹ de polpa. Castro (2012) encontrou 92,58 mg de cianidina-3-glicosídeo 100 g⁻¹ pela metodologia de pH diferencial. Barros et al. (2015), em análises realizadas com a polpa *in*

natura de juçara, quantificaram o teor de antocianinas totais igual a 153,12 mg 100 g⁻¹.

Segundo Ribeiro (2003), as variações nos valores encontrados devem-se à instabilidade das antocianinas frente a fatores que podem ocorrer no processo de maturação do fruto, condições climáticas, estágio de colheita, transporte, processo de despulpamento e congelamento, incorporação de oxigênio, incidência de luz e temperatura.

4.2 Caracterização dos materiais biodegradáveis

Após as análises das polpas de juçara liofilizadas, decidiu-se unir todas para serem utilizadas na formulação dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica, uma vez que o rendimento obtido pelo processo de liofilização, além de dispendioso, apresenta um baixo rendimento. Para a realização desta pesquisa, foram utilizados 6600 g de polpa e obtidos 493 g de liofilizado, um rendimento de 7,5%.

4.2.1 Determinação da capacidade antioxidante dos materiais biodegradáveis produzidos por injeção termoplástica

Foram realizadas análises para determinar o perfil antioxidante dos materiais biodegradáveis contendo polpa liofilizada de juçara e produzidos por injeção termoplástica nos tempos 0, 30 e 60 dias. O intuito foi verificar se a capacidade antioxidante da polpa contida na formulação se mantinha com o processo de injeção e sua estabilidade durante o tempo de armazenamento. Os resultados estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Perfil antioxidante dos materiais contendo polpa de juçara liofilizados e produzidos por injeção termoplástica

Material Biodegradável	Atividade antioxidante (µmol Trolox g ⁻¹)		
	0	30 dias	60 dias
Com 2% de juçara	297,90 ^a ± 0,37	244,52 ^a ± 0,98	223,24 ^a ± 0,20
Com 4% de juçara	325,92 ^b ± 1,30	290,48 ^b ± 0,54	257,84 ^b ± 0,31

^{a,b} Médias com letras diferentes na mesma coluna diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Na juçara liofilizada, o valor médio da atividade antioxidante após a mistura das quatro amostras era de 476 $\mu\text{mol Trolox g}^{-1}$. Para o material contendo 2% de juçara liofilizada houve uma perda de 37% em relação ao valor inicial e para o material contendo 4% a perda foi de 31%, ou seja, a injeção termoplástica ocasionou uma perda da capacidade antioxidante, entretanto, devido aos processos utilizados, extrusão e injeção termoplástica, empregarem altas temperaturas ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$), cisalhamento e pressão, essas perdas podem ser consideradas relativamente pequenas. Além disso, quanto maior a concentração de polpa de juçara liofilizada na formulação dos materiais, menor a perda relativa. Neste caso, a polpa liofilizada pode ter tido um efeito protetivo durante o processo de extrusão e injeção.

Pessanha (2016) em seu trabalho de elaboração e caracterização físico-química de filmes de amido adicionados de açaí liofilizado encontrou que a capacidade antioxidante dos filmes foi de 34,38 mmol Trolox pelo método ABTS e 150,70 mmol Trolox pelo método ORAC. A autora relatou que apenas 20% da quantidade inicial permaneceu no filme, indicando que o processo de desenvolvimento, pelo método *casting*, afetou as condições de estabilidade das antocianinas e salientou que o filme apresentava 34,54% de açaí liofilizado e o restante era constituído de amido, água e glicerol.

Reis (2011) formulou e caracterizou filmes biodegradáveis de amido de mandioca incorporados com polpa de manga e extrato de erva-mate, e estudou o efeito na preservação de alimentos. No início do armazenamento, a formulação contendo 2,9% de polpa de manga e 4,4% de erva-mate apresentou um teor de polifenóis de 43,41 mg g^{-1} , e a formulação que continha 17,10% de polpa de manga e 25,6% de extrato de erva-mate apresentou 145,33 mg g^{-1} de polifenóis. Neste caso, maiores quantidades tanto de polpa de manga quanto do extrato de erva-mate diminuiriam, proporcionalmente, o teor dos polifenóis que se mantiveram após o processamento do filme.

Silva (2009) analisou a eficácia da atividade antioxidante e caracterização de embalagens ativas biodegradáveis formuladas com amido de mandioca e derivados de cacau e café. Inicialmente, ao avaliar o teor de polifenóis totais do extrato de café e do pó de cacau, foram encontrados 195,32 mg g^{-1} e 155,82 mg g^{-1} de polifenóis, respectivamente. Em seguida foram avaliados os teores de polifenóis em 11 formulações de filmes biodegradáveis

produzidos pelo método *casting*, a formulação que continha os menores teores de agentes antioxidantes (0,3% de pó de cacau e 0,07% de extrato de café) apresentou o menor teor (35,05 mg g⁻¹), enquanto a formulação que continha 1% de pó de cacau e 0,39% de extrato de café apresentou 118,66 mg g⁻¹ de polifenóis totais. Neste caso, maiores quantidades tanto de cacau em pó quanto de extrato de café diminuíram, proporcionalmente, o teor de polifenóis que se mantiveram após o processamento do filme.

4.2.2 Perda de massa em água

Os resultados da perda de massa em água dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica estão representados na tabela 9.

Tabela 9: Perda de massa em água dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica

Material Biodegradável	% de perda
Controle*	3,75 ± 1,16
Com 2% de polpa de juçara liofilizada	7,30 ± 1,77
Com 4% de polpa de juçara liofilizada	7,20 ± 1,50

* sem adição de polpa de juçara liofilizada.

Os maiores valores de perda de massa em água dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada podem ser explicados devido à hidrofiliabilidade da polpa; contudo, tal aumento não foi influenciado pela concentração de polpa adicionada nos materiais biodegradáveis produzidos.

Segundo Silva (2011), valores menores de perda de massa em água em filmes biodegradáveis são mais adequados para embalagens de alimentos em que a atividade de água é alta. Damodaran e Parkin (2018) salientam que vários fatores, como altas temperaturas, exposição à luz e ao oxigênio, interação com outros componentes dos alimentos, como enzimas, ácido ascórbico, sulfitos, íons metálicos, outros compostos fenólicos e açúcares, interferem na estabilidade do material produzido.

Zanela (2016) ao estudar a inclusão de fibras de aveia como reforço para materiais produzidos com amido e álcool polivinílico produzidos por injeção termoplástica observou um valor de perda de massa em água em torno de 39% para materiais com fibra incluída e 34,3% para materiais que não continham o reforço, entretanto a perda não foi significativa ao comparar-se o teor de fibra incluso que variou entre 2,5 a 10% na formulação. A perda de massa em água para os materiais produzidos por injeção termoplástica foi menor em relação aos filmes extrudados, onde o autor concluiu que o processo de injeção levou à produção de materiais menos solúveis.

Reis e colaboradores (2017) investigaram a influência da adição de celulose microcristalina em amido termoplástico/PBAT produzido por extrusão sopro em balão. A perda de massa em água dos filmes variou entre 11,1 e 12,8%. Os autores observaram que todas as amostras apresentaram diferença significativa, enquanto a formulação sem a fibra apresentou uma perda de 12,75%, a inclusão de 7 a 10% de celulose microcristalina reduziu a perda de massa em água dos filmes. Esta redução foi dependente da concentração de celulose e as menores perdas foram observadas nas concentrações mais baixas da fibra.

4.2.3 Isotermas de sorção

As isotermas de sorção de umidade dos materiais biodegradáveis de amido/PBAT contendo diferentes porcentagens de polpa de juçara liofilizada foram modeladas utilizando o modelo de Guggenheim-Anderson-de-Boer (GAB) e os parâmetros e coeficientes de determinação estão na Tabela 10.

O modelo de GAB se ajustou de forma satisfatória aos dados experimentais das isotermas, com coeficientes de determinação acima de 0,80; entretanto, o parâmetro C apresentou um valor muito alto, que não tem significado físico, servindo apenas como um coeficiente matemático de ajuste da equação.

O comportamento das isotermas dos materiais foi semelhante, e os valores de umidade na monocamada (m_0) apresentaram valores relativamente altos, que variaram de 13,3 a 15,2 g 100 g⁻¹. O material controle foi o que apresentou o menor valor de m_0 , seguido da amostra contendo 4% de polpa de juçara liofilizada, e a amostra contendo 2% de polpa de juçara liofilizada foi a que apresentou menor valor de m_0 .

Tabela 10: Parâmetros do modelo GAB para as isotermas dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica

Material Biodegradável	Parâmetro do modelo de GAB			
	m_0 (g 100 g ⁻¹)	K	C	R ²
Controle*	13,3	0,19	10.000	0,84
Com 2% de polpa de juçara liofilizada	15,2	0,26	10.000	0,90
Com 4% de polpa de juçara liofilizada	13,9	0,30	10.000	0,89

* sem adição de polpa de juçara liofilizada

O valor da monocamada é de particular interesse, pois indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida a locais específicos e é considerado o valor ótimo em que um alimento é mais estável (PÉREZ-ALONSO et al., 2006). Geralmente, os valores para monocamada são maiores nos filmes contendo glicerol como plastificante devido à sua afinidade com a água (OLIVATO, 2010).

A natureza complexa dos fenômenos de adsorção torna difícil explicar este fenômeno. Para biopolímeros, o processo não envolve apenas a adsorção, mas também mudanças estruturais da matriz polimérica (PÉREZ-ALONSO et al., 2006).

Karel (1975) estudou os valores de monocamada para vários alimentos e os resultados variaram entre 4 e 11 g 100 g⁻¹. Brandelero, Almeida e Alfaro (2015) estudaram as propriedades de filmes de amido-álcool polivinílico-glicerol adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim-limão e os valores de monocamada relatados encontram-se entre 4,36 e 10,05 g 100 g⁻¹, sendo o maior valor obtido para o filme produzido somente com amido e o menor valor foi explicado devido à capacidade hidrofóbica dos óleos essenciais adicionados.

4.2.4 Análise colorimétrica

Os valores dos parâmetros de cor do sistema CIELab* dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica estão na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros de cor CIELab* dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica

Material Biodegradável	Parâmetro de Cor CIELab*				
	L*	a*	b*	C*	h
Controle	76,8 ± 1,6	-1,1 ± 0,1	2,9 ± 0,3	3,1 ± 0,2	-13,6 ± 2,7
Com 2% de polpa de juçara liofilizada	39,9 ± 0,4	1,42 ± 0,1	-3,8 ± 0,1	4,1 ± 0,1	-25,8 ± 8,3
Com 4% de polpa de juçara liofilizada	41,1 ± 0,5	2,9 ± 0,1	-2,8 ± 0,1	4,0 ± 0,1	-42,4 ± 26

O material controle que não tinha polpa liofilizada de juçara foi o que apresentou maior valor de L* por não conter extrato, pois valores altos de L* representam cores mais claras e o oposto, cores mais escuras. Os materiais contendo 2 e 4% de juçara apresentaram menor luminosidade devido a coloração mais escura propiciada pela polpa liofilizada, conforme discutido anteriormente. Quanto ao parâmetro a*, o valor negativo do material controle indicou uma tendência ao verde, enquanto no material contendo 2% a tendência ao vermelho foi menor que na amostra de 4%. O parâmetro b* indicou uma tendência para o amarelo na amostra controle e uma tendência para o azul nas amostras 2 e 4% de juçara confirmadas pelo sinal negativo.

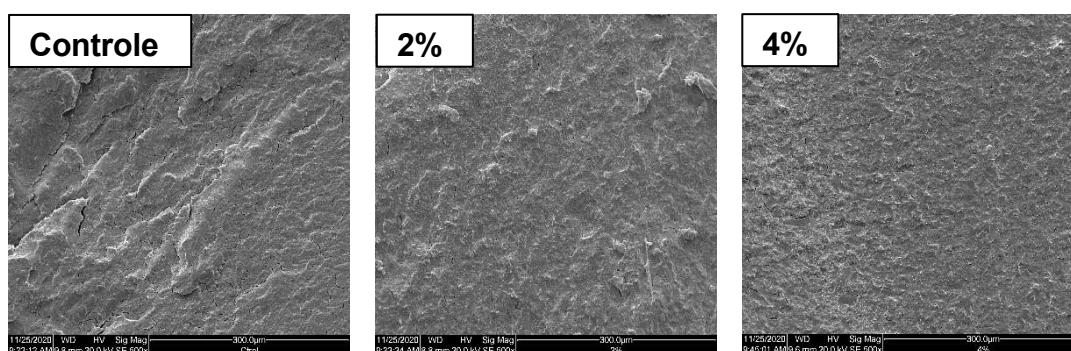
Os valores de croma (C*) obtidos no trabalho variaram de 3,1 a 4,1, e este parâmetro está ligada diretamente à concentração do elemento corante, quanto maior o croma maior a saturação das cores perceptíveis aos humanos (PATHARE; OPARA; AL-SAID, 2013) e os valores de h variaram de -13,6 a -42,4 e estão relacionados ao atributo quantitativo de cor tradicionalmente definidas como avermelhada, esverdeada etc. seguindo a tendência dos parâmetros a* e b*.

4.2.5 Microscopia eletrônica de varredura

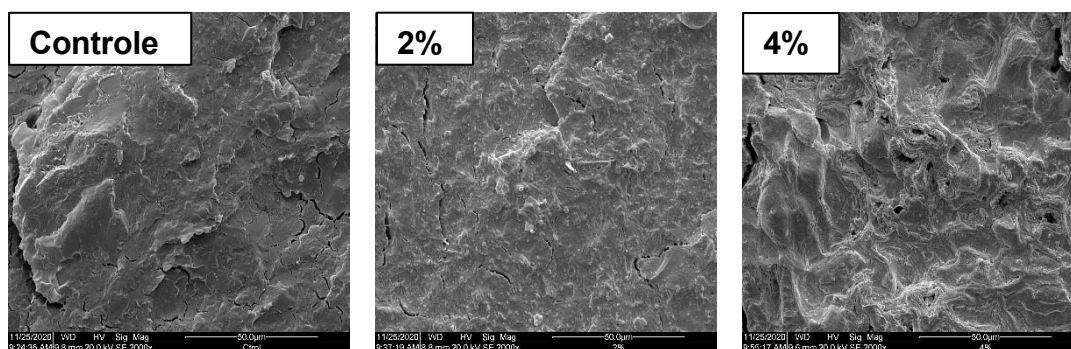
Na Figura 13 estão as micrografias das superfícies dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica obtidas por microscopia eletrônica de varredura com diversos aumentos.

Figura 13: Micrografias da superfície dos materiais biodegradáveis contendo polpa de juçara liofilizada e produzidos por injeção termoplástica

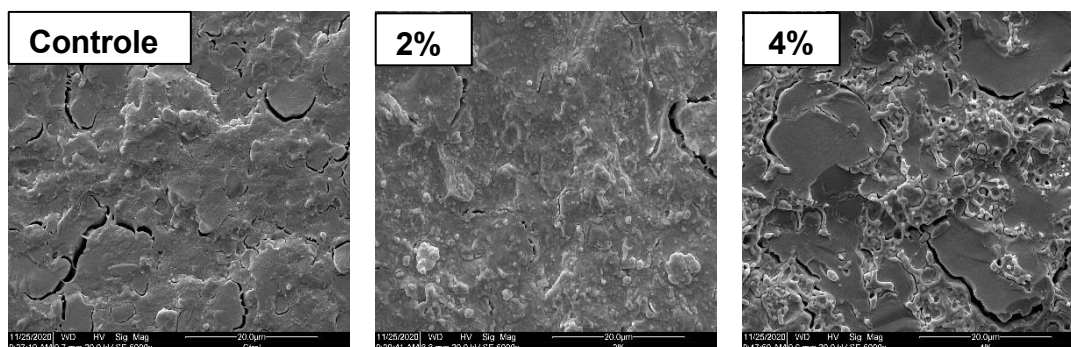
Aumento 500 X



Aumento 2000 X



Aumento 5000 X



De acordo com as micrografias, não é possível observar diferenças entre os materiais; todos apresentam uma superfície relativamente homogênea e contínua, sem rachaduras ou espaços vazios ou grânulos de amido aparentes, indicando uma boa adesão interfacial e compatibilidade entre os componentes. As rachaduras observadas no aumento de 5000 vezes provavelmente foram causadas pelo feixe de elétrons do MEV que pode danificar a superfície analisada, e quanto maior o aumento, maior a potência do feixe. A polpa de juçara liofilizada não afetou a morfologia do material e o processo de produção, extrusão e injeção termoplástica foi eficiente para produzir um material com boas características morfológicas.

4.2.6 Propriedades mecânicas

Os valores obtidos para as propriedades mecânicas das diferentes formulações encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12: Propriedades mecânicas dos materiais desenvolvidos

Formulação	Resistência à Tração (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young (MPa)
Controle	5,70 ^b ± 0,14	56,37 ^a ± 4,45	61,22 ^b ± 7,24
2% juçara	6,33 ^a ± 0,11	23,98 ^b ± 3,06	65,33 ^b ± 2,72
4% juçara	5,86 ^{a,b} ± 0,13	17,42 ^c ± 3,19	86,25 ^a ± 14,78

Médias na mesma coluna com letras diferentes diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados obtidos para as propriedades mecânicas dos materiais biodegradáveis (Tabela 12), em relação à resistência à tração dos materiais biodegradáveis não houve diferença significativa entre o controle e o material contendo 4% de polpa liofilizada, entretanto o material contendo 2% apresentou uma resistência à tração maior que a do controle, mas não diferiu do material contendo 4%.

Os materiais biodegradáveis contendo 2% e 4% de polpa de juçara liofilizada apresentaram alongamentos 55,10% e 69,10% menores que o material controle, respectivamente.

Em relação ao módulo de Young o comportamento observado foi o oposto do alongamento, os materiais biodegradáveis contendo 2% e 4% de polpa de juçara liofilizada apresentaram Módulos de Young 6,71 e 40,89% maiores que o material controle, respectivamente, ou seja, a adição da polpa liofilizada aumentou a rigidez do material pois aumentou o Módulo de Young e diminuiu o alongamento.

Reis (2011) observou em seus filmes que quanto maiores as concentrações de polpa de manga adicionadas, maior o alongamento, entretanto, quando ocorre um aumento na concentração de erva-mate, o percentual cai drasticamente, e quando comparadas ao controle, todas as formulações apresentam menor percentagem de alongamento.

Pessanha (2016) adicionou 1,5% de açaí liofilizado na formulação dos seus filmes produzidos por *casting* e encontrou os valores médios de resistência à tração de $1,3 \pm 1,2$ MPa; alongamento na ruptura de $17,74 \pm 1,4\%$ e Módulo de Young de $62,79 \pm 1,6$ MPa. Já os filmes controle apresentaram valores médios de resistência à tração de $5,43 \pm 0,4$ MPa; alongamento na ruptura de $0,061 \pm 0,0\%$ e módulo de Young de $133,5 \pm 1,7$ MPa, indicando que a adição do açaí modificou as propriedades mecânicas, reduzindo a resistência à tração e alongamento e aumentando a rigidez.

Malherbi (2018) elaborou filmes biodegradáveis por extrusão de amido de mandioca, PBAT, glicerol, ácido cítrico e extrato de açaí (1, 2,3 e 4%) e observou que a resistência à tração dos filmes variou de 4,24 a 4,40 MPa e não foi observada diferença significativa entre os filmes elaborados com extrato de açaí em nenhuma das concentrações estudadas, entretanto houve diferença em relação ao controle, que foi de 3,89 MPa. A autora atribuiu este aumento da resistência em relação ao material controle devido à presença de uma maior quantidade de sólidos na matriz, o que promoveu uma melhor interação entre os polifenóis e os demais constituintes. Os valores de alongamento dos filmes ativos variaram de 88,69 a 264,61%, sendo o menor valor do filme controle e o maior do filme contendo 2% do extrato.

Wollerdorfer e Bader (1998) produziram compósitos de amido termoplástico e fibras vegetais por extrusão e posteriormente os pellets foram processados através de moldagem por injeção. A resistência à tração aumentou quatro vezes até aproximadamente 37 N/mm^2 proporcionalmente a quantidade

de fibras de linho adicionadas e o alongamento foi reduzido de 45% para cerca de 1,3-2,0%. O módulo de Young se comportou de forma análoga à resistência à tração aumentando proporcionalmente à quantidade de fibra de alinho adicionada.

Ke e Sun (2001) caracterizaram blendas de amido e ácido polilático (PLA) e diversos teores de água foram testados para o processo de gelatinização do amido e para atuar como agente plastificante. Os moldes para os ensaios mecânicos foram preparados por injeção e moldagem por compressão. As amostras preparadas por injeção tiveram maiores resistências à tração e ao alongamento, mas o módulo de Young foi menor quando comparado à moldagem por compressão. Conforme a umidade aumenta, o grau de gelatinização do amido aumenta e o amido se torna mais dispersível, o que gera espaços vazios na matriz polimérica e resulta em uma redução na resistência à tração.

Diversos autores observaram alterações nas propriedades mecânicas de filmes poliméricos adicionados de compostos fenólicos ou óleos essenciais. Ahmed, Mulla e Arfat (2016) estudaram as propriedades dos filmes elaborados com ácido polilático (PLA), polietilenoglicol (PEG) e óleo de canela e observaram redução na resistência à tração e aumento do alongamento com o aumento da concentração do óleo. Esse resultado indica que o óleo de canela agiu como um plastificante, aumentando a mobilidade das cadeias poliméricas e reduzindo significativamente a resistência mecânica. Os autores argumentaram que a adição de lipídios/óleo de canela nos filmes à base de polímeros pode dificultar a interação cadeia de polímero-polímero e aumentar a flexibilidade, pelo deslizamento entre as fases, induzido pelo aditivo de baixa massa molecular incorporado à matriz polimérica.

Riaz et al. (2018) estudaram o efeito da incorporação de polifenóis presentes na casca de maçã em filmes de quitosana. Os autores observaram que a adição de 0,25 a 1% de polifenóis diminuiu a resistência à tração de 27,13 para 16,48 MPa e o alongamento de 28 para 13,33%. Os autores explicaram que incorporação de polifenóis no filme de quitosana pode interromper a formação da estrutura cristalina ordenada na matriz e com isso enfraquecer as interações de hidrogênio intermolecular, dificultando as interações cadeia polimérica-

polímero e fornecendo domínios flexíveis dentro dos filmes, resultando em diminuição da resistência mecânica.

Souza (2010), ao analisar biofilmes preparados a base de amido de mandioca contendo polpas de manga e de acerola como aditivos antioxidantes, observou que ambas as polpas promovem uma diminuição na percentagem de alongamento dos filmes ao compará-los com o controle. A autora observou também que a incorporação dos aditivos em maiores concentrações resulta em uma diminuição da resistência à tração, quando comparada com formulações com menores concentrações de aditivos e quando comparadas ao controle, as três formulações apresentam valores inferiores.

5. CONCLUSÃO

No presente estudo foi investigada a capacidade antioxidante de materiais biodegradáveis produzidos por extrusão e injeção termoplástica contendo polpa de juçara liofilizada nas concentrações de 2% e 4% e sua estabilidade durante 60 dias. A atividade antioxidante da polpa de juçara liofilizada manteve-se em quantidades satisfatórias após os processos de extrusão e injeção termoplástica e estáveis durante no mínimo 60 dias, mostrando-se um bom agente antioxidante para a aplicação em formulações de materiais biodegradáveis visando o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, J.; MULLA, M.Z.; ARFAT, Y.A. Effect of high-pressure on particle size, rheological and structural properties of whole wheat flour doughs. **International Journal of Food Properties**, v. 6, n. 8, 2016.

AHVENAINEN, R. In: **Novel Food Packaging Techniques**, p. 20-36. Published by Woodhead Publishing Limited. Abington Hall, Abington. Cambridge. England, 2003.

ALEXANDRE, D.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Conservação do açaí pela tecnologia de obstáculos. **Food Science Technology**, v. 24, n. 1, 2004.

ANDREO, D.; JORGE, N. Antioxidantes naturais: técnicas de extração. **Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 24, n. 2, p. 319-336, 2006.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

ANTONIASSI, R. Métodos de Avaliação da Estabilidade Oxidativa de Óleos e Gorduras. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos. B. CEPPA**, v. 19, n. 2, p. 353-380, 2001.

ANVISA. Resíduos de agrotóxicos em alimentos. **Revista Saúde Pública**, v. 40, n.2, p. 361-3, 2006.

ARRUDA, P. V.; RODRIGUES, R. C. Glicerol: um subproduto com grande capacidade industrial e metabólica. **Revista Analytica**, p. 56-62, 2007.

ASTM. American Society of Testing and Materials. Standard test methods for water vapor transmission of materials (E96-80). In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, p. 730-739, 1989.

ASTM. American Society of Testing and Materials. Standard test methods for water vapor transmission of material, (E96-95). In: **Annual Book of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 1996.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Santard Test Method for tensile properties of thin plastic sheeting. D 828-95a. In: **Annual Book Of ASTM Standards**. Philadelphia: ASTM, 1995.

ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for tensile properties of thin plastic sheetin. D882-00. In: **Annual Book of ASTM Standars**. Philadelphia: ASTM, 2001.

AVEROUS, L., BOQUILLON, N. Biocomposites based on plasticized starch: termal and mechanical behaviours. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, n. 2, p. 111-122, 2004.

AZEREDO, H. M. C.; FARIA, J. A. F.; AZEREDO, A. M. C. Embalagens Ativas para alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, p. 337-341, 2000.

BADER, H. G.; GORITZ, D. Investigations on high amylose corn starch films. Part 1: wide angle x-ray scattering (WAXS). **Starch/Starke**, Weinheim, v. 46, n.6, p. 229-232, 1994.

BANKER, G.S.; GORE, A.Y.; SWARBRICK, J. Water vapor transmission properties of free polymer films. **Journal pharmaceutical sciences**, v.18, p.457-466, 1996.

BARDI, M. A. G. **Avaliação do impacto ambiental gerado por tintas gráficas curadas por radiação ultravioleta ou feixe de elétrons em materiais para embalagens plásticas convencionais ou biodegradáveis pós-consumo.** Tese. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO São Paulo, 2014.

BARROS, E. C. M.; COSTA, G. N. S.; RIBEIRO, L. O.; MENDES, M. F.; PEREIRA, C. S. S. Effects of the pasteurization on the physico-chemical, microbiological and anthocyanins from juçará pulp (*Euterpe edulis* Martius), **Revista Teccen Vassouras**, v. 8, n. 1, p. 1-32, 2015.

BASF. The Chemical Company. BASF Plastics. Disponível em: <<https://products.basf.com/en/ecoflex.html>>. Acesso em 08 de ago. 2019.

BASTARRACHEA, L.; DHAWAN, S.; SABLANI, S. S.; MAH, J.-H.; KANG, D.-H.; ZHANG, J.; TANG, J.; Biodegradable Poly(butylene adipate-co-terephthalate) Films Incorporated with Nisin: Characterization and Effectiveness against *Listeria innocua*. **Journal of Food Science**. v. 75, p. 215-224, 2010.

BERTUZZI, M.A.; ARMANDA, M.; GOTTIFREDI, J.C. Physicochemical characterization of starch based films. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 82, p. 17-25, 2007.

BICUDO, M. O. P. **Composição fenólica, atividade antioxidante e microencapsulação de frutos de juçara (*Euterpe edulis*):** aspectos de interesse para a indústria de alimentos. 2014, 148f. Tese (doutorado em engenharia de alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BICUDO, M. O. P., et al. Microencapsulation of juçara (*Euterpe edulis* M.) pulp by spray drying using different carriers and drying temperatures. **Drying Technology: An International Journal**, v. 33, n. 2, p. 153-161, 2014.

BORGES, G. S. C. et al. Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. **Food Research International**, Ontario, v. 44, n. 7, p. 2128-2133, 2011.

BORGES, G. S. C. Determinação de compostos bioativos e avaliação da atividade antioxidante das diferentes frações dos frutos de juçara (*Euterpe edulis* Mart.) cultivados no estado de Santa Catarina. 2013. 165 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. H.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 18, n. 3, p. 256-261, 2008.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

BRANDELERO, R. P. H.; ALMEIDA, F. M.; ALFARO, A. The microstructure and properties of starch – polyvinyl alcohol-alginate films with copaiba and lemongrass oils. **Química Nova**, v.7, p. 910-916, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 386, de 5 de agosto de 1999 aprova o regulamento técnico sobre aditivos utilizados segundo as boas práticas de fabricação e suas funções. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 5 de agosto de 1999.

BRITO, E. S., ARAÚJO, M. C. P., ALVES, R. E., CARKEET, C., CLEVIDENCE, B. A., NOVOTNY, J.A. Anthocyanins present in selected tropical fruits: Acerola, jambolão, jussara, and guajiru. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55 (23), p. 9389–9394, 2007.

CAMPAGNER, M. R. et al. Filmes Poliméricos Baseados em Amido e Lignossulfonatos: Preparação, Propriedades e Avaliação da Biodegradação. **Polímeros**, v. 24(06), p. 740-751, 2014.

CAMPOS, A.M.; LISSI, E.A. Kinetics of the reaction between 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) derived radical cations and phenols. **International Journal of Chemical Kinetics**. p. 219–224. 1997.

CAMPOS, S.S. Produção e caracterização de filmes ativos de TPS/PBAT adicionados de curcumina por extrusão reativa. 2017. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos). Departamento acadêmico de alimentos, UTFPR, Campo Mourão, 2017.

CANUTO, G. A. B.; XAVIER, A. A. O.; NEVES, L. C.; BENASSI, M. T. Características físico-químicas de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, 2010.

CAO, N.; FU, Y.; HE, J. Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. **Food Hydrocolloids**. V. 21, p. 1153-1162, 2007.

CARVALHO, A. G. S. et al. Physical properties and morphology of spray dried microparticles containing anthocyanins of jussara (*Euterpe edulis* Martius) extract. **Powder Technology**. v. 294, p. 421-428, 2016.

CASTRO, R. W. **Caracterização de açaí obtido de fruto de Euterpe edulis Martius tratada termicamente**. 2012. 56 f. Monografia (Trabalho de Conclusão em Agronomia)-Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**, v. 1. Editoria Acribia: Zaragoza, 1976.

CHENG, Z.; MOORE, J.; YU, L. High-Throughput Relative DPPH Radical Scavenging Capacity Assay. *Journal Agricultural Food Chemistry*, v. 54, n.20, p. 7429-7436, 2006.

CHORILLI M, L.; LEONARDI, G. R.; SALGADO, H. R. N. Radicais livres e antioxidantes: conceitos fundamentais para aplicação em formulações farmacêuticas e cosméticas. **Revista Brasileira de Farmácia**, v. 88, p.113-118, 2007.

CIPRIANO, P. A. **Antocianinas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e casca de jaboticaba (*Myrcearia jaboticaba*) na formulação de bebidas isotônicas**. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CONSTANT, P. B. L. **Extração, caracterização e aplicação de antocianinas de açaí (*Euterpe oleracea* M.)**. 2003. 199 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COOK, N. C.; SAMMAN, S. Flavonoids: chemistry, metabolism, cardioprotective effects and dietary sources. **Nutrition Journal**, v. 7, p. 66-76, 1996.

COSTA, E. A. D.; GONÇALVES, C.; MOREIRA, S. R.; CORBELLINI, L. M. Produção de polpa e sementes de palmeira juçara: alternativa de renda para a Mata Atlântica. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, p. 60-66, 2008.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2019.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSYJ, K. N. Propriedades Antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DOI, Y.; FUKUDA, K. Biodegradable plastics and polymers. Amsterdam: Elsevier, v.12, p.479-497, 1994.

DORNAS, W. C. et al. Flavonóides: potencial terapêutico no stress oxidativo. **Revista Ciência Farmacêutica Básica e Aplicada**, v. 28, n. 3, p. 241-249, 2007.

DUFRESNE, A.; VIGNON, M. R. Improvement of starch film performances using cellulose microfibrils. **Macromolecules**. v. 31, p.1693 – 2696, 1998.

EL-BACHÁ, A.; KIM, R. **Estudos do processo de secagem da polpa de açaí por liofilização e atomização**. 2014, 63f. Monografia (Graduação) Curso da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FELDMAN, D. Polymer Barrier Films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 9, p. 49-55, 2001.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2 ed., 2006.

FISHMAN, M. L.; COFFIN, D. R.; KONSTANCE, R. P.; OWNULATA, C. I. Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 41, n.4, p. 317-325, 2000.

FLORES, R. V. **Atividade antioxidante, oxidação lipídica e aceitação sensorial em salsichas de frango adicionadas de extrato de juçara**. 2017. Dissertação (mestrado em ciência e tecnologia de alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros Biodegradáveis – Uma Solução Parcial para Diminuir a Quantidade dos Resíduos Plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

FUKUMOTO, L. R.; MAZZA, G. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, n. 8, p. 3597-3604, 2000.

GAMA, B. E. P. N. **Preparação e caracterização do polímero biodegradável poli-butileno adipato cotereftalato, associado aos polímeros semicondutores poli-o-etoxianilina e poliometoxianilina e ao óxido de estanho e índio**. PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS – FIMAT. 2014.

GARSDIE, M. Production of plastics worldwide from 1950 to 2018. Chemicals & Resources. Statista. 2019. Disponível em: <
<https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>>. Acesso em 3 abr. 2019.

GENEMA, A.K. Extração e caracterização do extrato de alecrim (*rosmarinus officinalis* L.): Estudo de sua ação antioxidante. 2002. 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

GENNADIOS, A.; WELLER, C. L.; TESTIN, R. F. Property modification of edible wheat, glúten-based films. **Transactions of American Society of Agriculture Engineers**, v. 36, p. 465-470, 1992.

GENNADIOS, A.; WELLER, C. L.; HANNA, M. A.; FRONING, G. W. Mechanical and barrier properties of eggs albumen films. **Journal of Food Science**, v. 61, n.3, p. 585-589, 1996.

GERALDI, M. V. et al. Development of yoghurt with juçara pulp (*Euterpe edulis* M.) and the probiotic *Lactobacillus acidophilus* La5. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 10, p. 71-76, 2018.

GIUSTI, M. M.; WROLSTAD, R. E. Anthocyanins: characterization and measurement with uv-visible spectroscopy. In: WROLSTAD, R. E. **Current protocols in food analytical chemistry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

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, 1993.

GUERGOLETTI, K. B., et al. *In vitro* fermentation of juçara pulp (*Euterpe edulis*) by human colonic microbiota. **Food Chemistry**, v. 196, p. 251-258, 2016.

HAYASHI, A.; VEIGA-SANTOS, P.; DITCHFIELD, C.; TADINI, C. C. Investigation of Antioxidant Activity of Cassava Starch Biobased Materials. **VI International Symposium on Future of Food Engineering**, Warsaw, Poland, in CD. 2006.

HENDERSON, A. **The genus Euterpe in Brazil**, In: REIS, M. S.; REIS, A. *Euterpe edulis Martius* - (Palmito): biologia, conservação e manejo: Itajaí, Herbário Barbosa Rodrigues, p. 1-22, 2000.

HIBBERT, K.; WARNER, G.; BROWN, C.; AJIDE, O.; OWOLABI, G.; AZIMI, A. The effects of build parameters and strain rate on the mechanical properties of FDM 3D-Printed acrylonitrile Butadiene Styrene. **Open Journal of Organic Polymer Materials**, v. 9, n. 1, p. 1, 2019.

HONG, S. I.; PARK, W-S. Use of color indicators as an active packaging system for evaluating kimchi fermentation. *Journal of Food Engineering*, v. 46, p. 67-72, 2000.

HUANG, M. F.; YU, J. G.; MA, X. F. Studies on the properties of montmorillonite-reinforced thermoplastic starch composites. **Polymer**. v. 45, n. 20, p. 7017-7023, 2004.

HUNTERLAB. **Applications note: CIE L*a*b* color scale**. Virginia, v. 8, n. 7, 1996.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ISO 13320-1 2009. **Particle Size Analysis - Laser diffraction methods**. Retirado de : < http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=44929> Acesso em 02 12 2018.

JANJARASSKUL, T., KROCHTA, J.M. Edible packaging materials. **The Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 415-448, 2010.

KANNER, J. Oxidative processes in meat and meat products: quality implications. **Meat Science**, Essex, v.36, n.1/2, p.169-189, 1994.

KAREL, M. Water activity and food preservation. In: FENNEMA, O. R., ed. **Principles of food Science physical principles of food preservation**. Nova York, M. Dekker, 1975. v. 4, 236-275.

KEBEDE, M., ADMASSU, S. Application of antioxidantes in food processing industry: options to improve the extraction yields and Market value of natural products. **Advances in food technology and nutritional sciences**, v. 5, n. 2, p. 38-49, 2019.

KE, T.; SUN, X. Thermal and mechanical properties of poly (lactic acid) and starch blends with various plasticizers. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 44, n.4, p. 945-953, 2001.

KESTER, J. J., FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, v. 40, p. 47-59, 1986.

KIRK, J.R. Biological availability of nutrients in processed foods. **Journal of Chemical Education**, v.61, n.4, p.364-367, 1984.

KÖKSEL, H.; SAHBAZ, F.; ÖZBOY, O. Influence of wheat-drying temperatures on the birefringence and x – ray diffraction patterns of wet-harvest wheat starch. **Cereal Chemistry**, v. 70, p. 481- 483, 1993.

KONG, J.; CHIA, L.; GOH, N.; CHIA, T.; BROUILLARD. R. Analysis and biological activities of anthocyanins (Review). **Phytochemistry**, v. 64, p. 923 – 933, 2003.

KRZAN, A., HEMJINDA, S., MIERTUS, S., CORTI, A., CHINELLINI, E. Standartization and certification in the área of environmentally degradable plastics. **Polymer Degradation and Stability**, v. 91, n. 12, p. 2819-2833, 2006.

LEITE, S. T. **logurte simbiótico de açaí (Euterpe edulis Mart.): caracterização físico-química e viabilidade de bactérias lácticas e probióticas**. 2015. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES.

LI, G.; SHANKAR, S.; RHIM, J.-W.; OH, B.-Y.; Effects of preparation method on properties of poly(butylene adipate-co-terephthalate) films. **Food Sci. Biotechnol.** v. 24, p. 1679-1685, 2015.

LIU, H.; XIE, F.; YU, L.; CHEN, L.; LI, L. Thermal processing of starch-based polymers. **Progress in Polymer Science**, n. 34, p. 1348-1368, 2009.

LOPES, T. J.; et al. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **R. Bras. Agrociência**, Pelotas, v.13, n.3, p. 291-297, 2007.

LUNA, C. B. B.; SILVA, D. F.; BASÍLIO, S. K. T.; ARAÚJO, E. M.; SILVA, A. L.; BEZERRA, A. F. C. Desenvolvimento de blendas poliméricas visando à

tenacificação dos polímeros: uma revisão. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 36, n. 1, p. 67-80, 2015.

MAC FADDEN, J. **A produção de açaí a partir do processamento dos frutos do palmito (Euterpe edulis Martius) na Mata Atlântica**. 2005. 100f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

MAJO, D; GIAMMANCO, M.; LA GUARDIÀ, M.; TRÍPOLI, E.; GIAMMANCO, S.; FINOTTI, E. Flavanones in Citrus fruit: Structure antioxidant activity relationships. **Food Research International**, v. 38, p. 1161-1166, 2005.

MALHERBI, N. M. **Desenvolvimento e caracterização de embalagens biodegradáveis ativas: estudo da eficácia antioxidante para azeite de oliva extravirgem**. 2018 108 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul.

MALI, S.; GROSSMANN, M.V.E.; GARCÍA, M.A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N.E. Microstrutural characterization of yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, p. 379-386, 2002.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GARCÍA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E.; Barrier, mechanical and optical proprieties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 129-135, 2004.

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

MATZINOS, P.; TSERKI, V.; KONTOYIANNIS, A.; PANAYIOTOU, C. Processing and characterization of starch / polycaprolactone products. **Polymer Degradation and Stability**. v. 77, p. 17-24, 2002.

MERCIER, C. Coment aborder La Cussion-extrusion. p. 3-11. In: COLLONA, P.; VALLE, G. D. **La Cuisson-extrusion**. Paris: Technique and Documentation, 1994.

MICHAELLI, W. **Tecnologia dos Plásticos: livro texto e exercícios**. São Paulo: E. Blücher, 1995.

MILARDOVIC, S.; IVEKOVIC, D.; GRABARIC, B. S. A novel amperometric method for antioxidante activity determination using DPPH free radical. **Bioelectrochemistry**. V. 68, p. 180-185. 2005.

MOLYNEUX, P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidante activity. **Songklanakar Journal Science Technology**, v. 26, n. 2, p. 211-219, 2004.

MORRISON, I. M., PRENTICE R. D. M., SWANSTON, J. S. S, TILLER, S. A. Starch production and industrial use. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 77, p. 289-311, 1998.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water barrier of starch-based films. **Food hydrocolloids**, v. 23, n. 9, p. 1328-1333, 2009.

MÜLLER, C. M. O.; LAURINDO, J. B.; YAMASHITA, F. Composites of thermoplastic starch and nanoclays produced by extrusion and thermopressing. **Carbohydrate Polymers**, v. 89, p. 504-510, 2012.

NACZK M, SHAHIDI F. Extraction and analysis of phenolics in **Food Journal Chromatography A** 2004; 1054 (1/2): 95-111.

NEGRÃO, C.; CAMARGO, E. **Design de Embalagem do Marketing à Produção**. São Paulo: Novatec Editora, 2008.

NÓBREGA, M.M, et al. Biodegradable starch-based films containing saturated fatty acids: hermal, infrared and raman spectroscopic characterization. **Polímeros**, v. 22, n.5, p. 475-480, 2012.

NOVELLO, A. A. **Extração de antocianinas dos frutos do açaí da mata atlântica (*Euterpe edulis Martius*) e sua atuação nas atividades antioxidante e antiaterogênica em acamundongos APOE -/-**. 2011. 98f. Dissertação (mestrado em ciência da nutrição) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVATO, J. B.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. **Efeito de embalagem biodegradável de amido no armazenamento de queijo processado**. Semana: Ciências Agrárias, v. 27, n. 1, p. 81-88, 2006.

OLIVATO, J. B. Compatibilizantes na extrusão reativa de blendas amido/poli (butileno adipato co-tereftalato) para a produção de filmes biodegradáveis. 2010. 101 f. Dissertação (mestrado em ciência de alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

OLIVEIRA, B. C. **Estudo da degradação in vitro de polímeros a base de poli (butileno adipato co tereftalato) processados por impressão 3D e modelagem por injeção**. 2017.

OLIVEIRA, G. L. S. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 1, 2015.

ORDONEZ , J. A. **Tecnologia de alimentos**: componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre: Artmed, p. 33-49, 2005.

PAIM, D.R.S.F. **Desenvolvimento de um produto em pó probiótico à base de juçara (*Euterpe edulis Martius*)**. 2016. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.

PASSOS, A. P. S. **Antocianina obtida de fruto de palmeira juçara (*Euterpe edulis* Mart.): estabilização com aplicação em alimentos**. 2011. 40f. Dissertação (mestrado em ciência de alimentos) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

PASSOTO, J. A.; PENTEADO, M. V. C.; MANCINI-FILHO, J. Activity of β -carotene and vitamin A. A comparative study with synthetic antioxidant. **Food Science Technology**, v. 18, n. 3, p. 624-632, 1998.

PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: a review. **Food Bioprocess Technology**. v. 6, p. 36-60, 2013.

PEREDA, J. A. Conservação pelo calor. In: _____. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. Cap. 2, p. 25-31.

PEREIRA, D. C. S. et al. **Frutos da palmeira juçara: contextualização, tecnologia e processamento**. 1. ed. Rio Pomba: Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais, 2017. 102 p.

PÉREZ-ALONSO, C.; BERISTAIN, C. I.; LOBATO-CALLEROS, C.; RODRIGUEZ-HUEZO, M. E. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of purê and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 753-760, 2006.

PERZ, V.; BLEYMAIER, K.; SINKEL, C.; KUEPER, U.; BONNEKESSEL, M.; RIBITSCH, D.; GUEBITZ, G. M. Data on synthesis of oligomeric and polymeric poly (butylene adipate-co-butylene terephthalate) model substrates for the investigation of enzymatic hydrolysis. **Data in brief**, v. 7, p. 291-298, 2016.

PESSANHA, K.L.F. **Elaboração e caracterização físico-química de filmes de amido adicionados de açaí (*Euterpe edulis* Mart.) liofilizado**. 2016. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.

PHAN THE, D.; DEBEAUFORT, F.; VOILLEY, A.; LUU, D. Biopolymer Interactions Affect the Functional Properties of Edible Films Based on Ágar, Cassava Starch and Arabinoxylan Blends. **Journal of Food Engineering**, v. 90, p. 548-558, 2009.

PUPO, P. S. S. **Manejo de frutos de palmeira juçara (*Euterpe edulis* M.) para a obtenção de polpa e sementes como produtos florestais não madeireiros (PFNM) em mata atlântica**. 2007. 79f. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola) – Faculdade de engenharia agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

QUINTERO, R. I.; GALOTTO, M. J.; GUARDA, A.; RODRÍGUEZ, F. J.; BRUNA, J.E. **Preparation and characterization of cellulose acetate**

butyrate/organoclay nanocomposite with antimicrobial activity. Anais, Foz do Iguaçu: IUFOST, 2012.

RAMALHO, V. C.; JORGE, N. Antioxidantes utilizados em óleos, gorduras e alimentos gordurosos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p. 755-760, 2006.

RAYMUNDO, M. S.; HORTA, P.; FETT, R. Atividade antioxidante in vitro de extratos de algumas algas verdes (*chlorophyta*) do litoral catarinense (Brasil). **Revista Brasileira de Ciências Farmacológicas**. v. 40, 2004.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology & Medicine**, v. 26, n. (9/10), p. 1231–1237, 1999.

REDDY, G.; KRISHNA, V.; SHANKER, K. Tensile and water absorption properties of FRP composite laminates without voids and with voids. **Procedia Engineering**, v. 173, p. 1684-1691, 2017.

REIN, M. **Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins**. 2005. 87f. Dissertação (mestrado em química aplicada e microbiologia) – Universidade de Helsinque, Helsinque.

REIS, L. C.B. **Formulação e caracterização de filmes biodegradáveis de fécula de mandioca incorporados com polpa de manga e extrato de erva-mate, e seu efeito na preservação de alimentos**. 2011. 153p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA.

REIS, M. O.; OLIVATO, J. B.; ZANELA, J.; YAMASHITA, F.; GROSSMANN, M. V. E. Influence of microcrystalline cellulose in thermoplastic starch/polyester blown films. **Polímeros**. v. 27, n. 2, 2017.

RIAZ, A.; LEI, S.; AKHTAR, H. M. S.; WAN, P.; CHEN, D.; JABBAR, S.; ABID, M.; HASHIM, M. M.; ZENG, X. Preparation and characterization of chitosan-based antimicrobial active food packing film incorporated with apple peel polyphenols. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 114, p. 547-555, 2018.

RIBEIRO, M. A.; BERNARDO-GIL, M. G.; ESQUÍVEL, M. M. Melissa officinalis, L.: study of antioxidant activity in supercritical residues. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 21, n. 1, p. 51-60, 2001.

RIBEIRO, L. O.; PEREIRA, R. N. C.; TONON, R. V.; CABRAL, L. M. C.; SANTIAGO, M. C. P. A.; VICENTE, A. A.; TEIXEIRA, J. A. C.; MATTA, V. M.; FREITAS, S. P. Antioxidant compound recovery from juçara residue by thermal assisted extraction. **Springer Science Business Media**, v. 73, p. 68-73, 2018.

RIGOLON, Thaís Caroline Buttow. **Predição do conteúdo de antocianinas, fenólicos totais e capacidade antioxidante dos frutos de amora (Rubus**

sp.), mirtilo (*Vaccinium sp.*) e casca de jaboticaba (*Plinia jaboticaba*) usando parâmetros colorimétricos. 2017. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017.

RINDLAV-WESTLING, A.; STANDING, M.; HERMANSSON, A.; GATENHOLM, P. Structure mechanical and barrier properties of amylose and amylopectin films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 36, n. 2/3, p. 217-224, 1998.

ROCHA, F. I. G. Avaliação da cor e da atividade antioxidante da polpa de extrato de mirtilo (*Vaccinium Myrtillus*) em pó. 2009 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RODA, D. T. **A injetora de plásticos**. 2011. Disponível em: <<https://www.tudosobreplasticos.com/processo/injecao.asp>> Acesso em 23 Jan 2020.

RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, F. J.; RAMSAY, B.A. e DAVIS, B.D. High performance LPDE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene. **Polymer**, v. 44, n. 5, p. 1517-1526, 2003.

ROGEZ, H. **Açaí: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDUFPA, 2000. 313p.

ROONEY, M. Reactive packaging materials for food preservation. In: **Proceedings of the First Japan-Australia Workshop on Food Processing**, 1992. p. 78-82.

RUFINO, M. S. M.; et al. **Comunicado técnico - metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa, 2007. 4 p.

SANT'ANA, M. R. **Avaliação do potencial anti-inflamatório e antioxidante da casca da jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*), do açaí Jussara (*Euterpe edulis Martius*) e do jabolão (*Syzygium cumini*) em camundongos submetidos à dieta de cafeteria**. Dissertação - Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

SANTOS, M. H.; BATISTA, B. L.; DUARTE, S. M. S.; ABREU, C. M. P.; GOUVÊA, C. M. C. P. Influência do processamento e da torrefação sobre a atividade antioxidante do café (*Coffea arabica*). **Química Nova**. V. 30, p. 604-610. 2007.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**. 1. ed. Campinas: CETEA/ITAL, p. 267, 2002.

SARMENTO, A. L. S. C. **Elaboração e caracterização de biofilmes a partir de gelatina reticulada**. 1999, 145 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols, **Nutrition Journal**, v. 130, p. 2073-2085, 2000.

SCAPIM, M. R. S. **Produção, caracterização, aplicação e biodegradabilidade de filmes de blendas de amido e poli (butileno adipato co-tereftalato) produzidos por extrusão**. 2009. 139f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

SCHULTZ, J. **Compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante de açaí (*Euterpe edulis Martius* e *Euterpe oleracea Martius*) e influência de diferentes métodos de pasteurização sobre o açaí *Euterpe edulis***. 2008. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JUNIOR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic – phosphotungstic acid reagentes. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F. M.; FERREIRA, M. A.; Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, p. 94, 1999.

SILVA, M. G. P. C.; BARRETTO, W. S.; SERÔDIO, M. H. **Comparação nutricional da polpa dos frutos de juçara e de açaí**. In: XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA. Florianópolis, Santa Catarina, 22 a 26 de novembro de 2004..Anais...CD ROOM, Florianópolis, SC, 2004.

SILVA, W. A. D. A; et al. Determinação da cor, imagem superficial topográfica e ângulo de contato de biofilmes de diferentes fontes de amido. **Ciência e agrotecnologia**, v.31, p. 154-163, 2007.

SILVA, L. T. **Eficácia da atividade antioxidante e caracterização de embalagens ativas biodegradáveis formuladas com amido de mandioca e derivados de cacau e café**. 2009. 148f. Dissertação (Mestrado em ciência de alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SILVA, E. M. Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão. 2011. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, P. P. M. **Conservação de polpa de juçara (*Euterpe edulis*) submetida à radiação gama, pasteurização, liofilização e atomização**. 2013. 257 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba – SP.

SILVA, L. M. R.; FIGUEIREDO, E. A. T.; RICARDO, N. M. P. S.; VIEIRA, I. G. P.; FIGUEIREDO, R. W.; BRASIL, I. M.; GOMES, C. L. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 143, p. 398-404, 2014.

SIRIPATRAWAN, U; HARTE, B. R.. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 8, p.770-775, 2010.

SOARES. N. F. F.; SILA, W. A.; PIRES, A. C. S.; CAMILLOTO, G. P.; SILVA, P. S. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**, n. 4, p. 370-378, 2009.

SOBRAL, P. J. A. Propriedades funcionais de gelatina em função da espessura. **Ciência e Engenharia**, Uberlândia, v. 8, n. 1; p. 60-67, 1999.

SOBRAL, P. J. A. **Proteínas de origem animal na tecnologia de biofilmes**. 2000. 156f. Tese (Tese de livre docência) – Universidade de São Paulo, Pirassununga.

SOUSA, C. M. M.; et al. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

SOUSA, C. O.; SILVA, L. T.; DRUZIAN, J. J.; Estudo comparativo da caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca contendo polpas de acerola e manga. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 262-267, 2012.

SOUZA, R.C.R.; ANDRADE, C.T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 10, n.1, p. 24-30, 2000.

SOUZA, C. O. **Preparação, caracterização e avaliação da eficácia de biofilmes a base de fécula de mandioca (manihot Esculenta crantz) e incorporados com polpas de manga (mangifera indica I) e de acerola (malpighia emarginata I) como aditivos antioxidantes**. 2013. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SOUZA, P. G. **Produção e caracterização de açaí (Euterpe oleracea Mart.) desidratado em pó por cast-tape drying**. 2015. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, V. G. L.; FERNANDO, A. L. Nanoparticles in food packaging: biodegradability and potential migration to food—A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v.8, p.63-70, 2016.

SPIESS, W. E. L.; WOLF, W. R. The results of the COST 90 project on water activity. In: JOWITT, R.; ESCHER, F.; HALLSTROM, F. B.; MEFFERT, M. F.;

SPIESS, W. E. L.; VOS, G. **Physical Properties of Foods**. London: Applied Science Publishers, 1983, p. 65-91.

SUCUPIRA, N. R.; et al. Métodos Para Determinação da Atividade Antioxidante de Frutos. **Unopar Científica Ciêncs Biológicas e da Saúde**, v. 14, n.4, p. 263-269, 2012.

THARANATHAN, R.N. Biodegradable films and composite castings: past, presente and future. **Trends in food Science and Technology**, v. 14, p. 71-78, 2003.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos (TACO)**. NEPA – UNICAMP, Campinas, ed. 4, rev. e ampl.. -- Campinas: NEPAUNICAMP, 2011. 161p.

VEIGA-SANTOS, P.; OLIVEIRA, L. M.; CEREDA, M. P.; ALVES, A. J.; SCAMPARINI, A. R. P. Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch-gum films: Effect of additives and deacetylated xanthan gum. **Food Hydrocolloids**, v. 19, p. 341-349, 2005.

VERMA, D., FORTUNATI, E. Biopolymer processing and its composites: na introduction. **Biomass. Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy**. p. 3-23, 2019.

VICENTINI, N. M. **Elaboração e caracterização de filmes comestíveis à base de fécula de mandioca para uso em pós-colheita**. 2003. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

VILPOUX, O. F.; AVEROUS, L. Plásticos a base de amido. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. Série culturas de tuberosas amiláceas latino americanas. Volume 3: **Tecnologia, Usos e Potencialidades de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003.

VLACHOPOULOS, J.; STRUTT, D. Polymer Processing: an overview. **Science and Technology**, v. 19, n. 6, p. 1161-1169, 2003.

WAN, A. et al. Antioxidant Activity of High Molecular Weight Chitosan and N,O-Quaternized Chitosans. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 61, n. 28, p.6921-6928, 2013.

WANG, Y.; PADUA, G. W. Tensile properties of extruded zein sheets and extrusion blow films. **Macromolecular material and Engineering**, Weinhein, v. 288, n. 11, p. 886-893, 2003.

WEBER, F.H.; COLLARES-QUEIROZ, P. F.; CHANG, Y. K. Caracterização físico-química, reológica, morfológica e térmica dos amidos de milho normal, ceroso e com alto teor de amilose. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 4, p. 748-753, 2009.

WOLLERDORFER, M.; BADER, H. Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. **Industrial Crops and Products**, v. 8, p. 105–112, 1998.

XIE, L.; HETTIARACHCHY, N. S.; JU, Z. Y.; MEULLENET, J.; WANG, H.; SLAVIK, M.F.; JANES, M. E. Edible film coating to minimize eggshell breakage and reduce post-wash bacterial contamination measured by dye penetration in eggs. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 1, p. 280-284, 2002.

YU, L.; RAMASWAMY, H. S.; SOUMPASI, E. Twin-screw extrusion of corn flour and soy protein isolate (SPI) blends: a response surface analysis. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 2, p. 485-497, 2012.

ZANELA, J. Blendas poliméricas de amido e poli(vinil álcool) – PVA: efeito dos tipos de PVA, amidos modificados e uso de fibras no desenvolvimento de materiais biodegradáveis. 2016. 206f. Tese (Doutor em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

ZHENG, W.; WANG, S. Y. Antioxidant Activity and Phenolic Compounds in Selected Herbs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 5165-5170, 2001.

ZULETA, A.; ESTEVE, M. J.; FRÍGOLA, A. ORAC and TEAC assays comparison to measure the antioxidant capacity of food products. **Food Chemistry**, v. 114, p. 310–316, 2009.