



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

**DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE PBAT INCORPORADOS COM BIXINA
E ÁCIDO CÍTRICO: CARACTERIZAÇÃO E AÇÃO ATIVA**

KARINA LIZZETH PEDRAZA GALVÁN

Salvador
2020

KARINA LIZZETH PEDRAZA GALVÁN

**DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE PBAT INCORPORADOS COM BIXINA
E ÁCIDO CÍTRICO: CARACTERIZAÇÃO E AÇÃO ATIVA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciência de Alimentos, Faculdade de Farmácia, Universidade Federal da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ciência de Alimentos.

Orientadora: Prof. Dr^a. Janice Isabel Druzian.
Coorientador: Dr. Lucas Guimarães Cardoso.

Salvador
2020

Galván, Karina Lizzeth Pedraza.

Desenvolvimento de filmes de PBAT incorporados com bixina e ácido cítrico: caracterização e ação ativa / Karina Lizzeth Pedraza Galván. - 2020.

47 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Janice Isabel Druzian.

Coorientador: Prof. Dr. Lucas Guimarães Cardoso.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Farmácia, Salvador, 2020.

1. Alimentos. 2. Alimentos - Embalagens. 3. Acondicionamento e conservação de alimentos. 4. Biopolímeros. 5. Biodegradação. I. Druzian, Janice Isabel. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD - 664.0282

CDU - 664.8.03



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

TERMO DE APROVAÇÃO

KARINA LIZZETH PEDRAZA GALVAN

DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE PBAT INCORPORADOS COM BIXINA
E ÁCIDO CÍTRICO: PROPRIEDADES E AÇÃO ATIVA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (nível Mestrado Acadêmico) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência de Alimentos.

Aprovada em 31 de março de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Dr^a. Janice Izabel Druzian
Universidade Federal da Bahia
Orientadora

Dr^a. Carolina Oliveira de Souza
Universidade Federal da Bahia

Dr^a. Jania Betânia Alves da Silva
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

“Quando o homem termina, está começando”

Eclesiástico 18: 7

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus.

Aos meus pais Valerio Pedraza Pedrozo e Aracelys Galván Correa por seu apoio e confiança, meus irmãos por sempre serem minha alegria. Agradeço a minha segunda mãe Matilde Ortega Pedraza e pai Medardo Floréz Romero por estar incondicionalmente comigo e com carinho.

À minha orientadora a Dra. Janice Izabel Druzian, obrigada por a confiança, apoio, compromisso e por me tornar uma melhor profissional.

Conselheiro e coorientador Lucas Guimarães Cardoso, obrigado por ser meu camarada, gratidão por cada momento vivido com você.

Agradeço à minha família LAPESCA, obrigado por o apoio e compartilhar seus conhecimentos, excelentes profissionais e amigos, minha eterna gratidão. Gleice Valeria Pacheco, Jania Betânia Alves da Silva, Denilson de Jesus Assis, Carolina Oliveira de Souza, Paulo Romano Cruz Correia, Paulo Vitor França Lemos, Jamille Santana, Andressa Cerqueira, Thâmillia Batista, Janaina Alves, Saulo Mata, Thaís de Souza, Elba Montes, Renata Nascimento, Tales Sobral, Bianca Bomfim, Danilo Alves e todos que estiveram no meu lado durante este caminho minha eterna gratidão levo vocês no meu coração.

Por outra parte, obrigado ao colegiado PGALi, Carol e em especial à minha amiga Priscila Oliveira vocês faz um trabalho magnificou.

Agradeço ao apoio didático Miraildes Calazan, técnicos da UFBA especialmente Denilson e toda a equipe de limpeza por sua colaboração e disposição em todo momento, meus eternos agradecimentos.

Laboratório LAPAAC, BROMATO, FARMACOTÉCNICA, FISICOQUÍMICA, QUÍMICA, LEMA e UFSCAR, finalmente agradeço a todos os laboratórios que de uma ou outra forma colaboraram com o desenvolvimento de esta pesquisa. Obrigado pela confiança e disponibilidade.

Da mesma forma, agradeço a todos meus amigos pelo carinho e a todos que colaboraram direta ou indiretamente.

Muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1- Estrutura química do poli (butileno adipato co-tereftalato) PBAT.....	23
Figura 2- Estrutura química do ácido cítrico.....	27
Figura 3- Produção de urucum no Brasil.....	29
Figura 4- Consumo estimado de urucum no Brasil.....	30
Figura 5- Sementes e peças de urucum (<i>Bixa orellana</i>)	30
Figura 6- Classificação das sementes de urucum.....	31
Figura 7- Estrutura química da bixina e norbixina.....	33
Figura 8- Microscópio óptico.....	35
Figura 9 -Transferência de água é causada por difusão molecular.....	36
Figura 10- Curva característica da relação de tração versus deformação ou força de tração versus alongamento.....	37
Figura 11- Diagrama de um equipamento para análises termogravimétricos TG	39

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

Tabela 1- Levantamento bibliográfico de filmes de PBAT incorporados com agentes antimicrobianos e/ou antioxidante.....	20
Tabela 2 - Propriedades do polímero PBAT (poli (butileno adipato co-tereftalato)	23
Tabela 3- Levantamento bibliográfico de estudos realizados com PBAT na elaboração de filmes ativos e seus respectivos resultados para as propriedades mecânicas e PVA.....	25 e 26
Tabela 4- Propriedades físicas do ácido cítrico.....	27
Tabela 5- Aplicação do ácido cítrico na indústria alimentícia.....	28
Tabela 6- Composição química das sementes, cachopas, folhas e galhos de urucum.....	31
Tabela 7- Teores de bixina determinados em diferentes cultivares no Estado do Pará.....	32
Tabela 8- Características das técnicas de análise térmica.....	39

RESUMO

O presente estudo consiste no desenvolvimento de biofilmes degradáveis através da matriz polimérica PBAT, adicionando diferentes concentrações de bixina e ácido cítrico como biocompostos com a finalidade de proporcionar capacidade antioxidante e antimicrobiana que respectivamente foram utilizados como variáveis independentes. Também, se desenhou um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), totalizando 11 formulações, como variáveis dependentes foram avaliadas as propriedades físicas, mecânicas, de barreira, térmicas e a eficácia antioxidante e antimicrobiana dos biofilmes degradáveis produzidos por a técnica de casting. Como respostas da incorporação dos aditivos biofilmes degradáveis mostraram-se termicamente estáveis até 200 °C. As formulações uma e sete apresentaram as melhores respostas na redução máxima na permeabilidade ao vapor de água. Entretanto, a incorporação dos aditivos reduziu as propriedades mecânicas de todos os filmes. Se observou que os filmes aditivados exibiram uma diminuição significativa na resistência à tração e deformação. Lembrando que estes biofilmes degradáveis com significância em os análises são desejável para embalagens com a funcionalidade de conservar alimentos principalmente com um alto teor de água, além de uma melhoria significativa nos parâmetros de cor, dependendo da concentração de bixina. Por outra parte, o filme da formulação 8 contendo concentração intermediária de bixina (0,30%) e máximo de ácido cítrico (1,19%) foi efetivo para inibir o desenvolvimento de bactérias patogênicas como *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* e *Listeria monocytogenes* ($P < 0,05$), e apresentou a maior porcentagem de sequestro de radicais livres (DPPH). Se pode deduzir que os aumentos de DPPH, ΔL^* e $\Delta a b^*$ dos filmes dependem apenas de bixina, enquanto a resistência à tração e deformação depende apenas do ácido cítrico, e PVA e Δb^* dependem de ambos. Esses resultados apóiam a aplicabilidade do extrato de bixina e ácido cítrico em filmes de PBAT elaborados por casting, apresentando um grande potencial para uso como materiais ativos em embalagem de alimentos, visando maior segurança alimentar associado a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Embalagem ativa, DCCR, PBAT, eficácia antioxidante e antimicrobiana.

ABSTRACT

The present study consists in the development of degradable biofilms through the PBAT polymeric matrix, adding different concentrations of bixin and citric acid as biocomposites with the purpose of providing antioxidant and antimicrobial capacity that were respectively used as independent variables. Also, if we design a Central Rotational Composite Design (DCCR), totaling 11 formulations, as dependent variables, the physical, mechanical, barrier, termination properties and the antioxidant and antimicrobial efficiency of the degradable biofilms produced by the casting technique were evaluated. As responses to the incorporation of degradable biofilm additives, they were thermally stable up to 200 °C. Formulations one and seven showed the best responses in the maximum reduction in water vapor permeability. However, the incorporation of additives reduced the mechanical properties of all films. It was observed that the additive films exhibited a significant decrease in tensile and deformation resistance. Bearing in mind that these degradable biofilms with significance in the analyzes are desirable for packaging with the functionality of conserving food mainly with a high-water content, in addition to a significant improvement in color parameters, depending on the concentration of bixin. On the other hand, the film of formulation 8 containing intermediate concentration of bixin (0.30%) and maximum citric acid (1.19%) was effective in inhibiting the development of pathogenic bacteria such as *Salmonella enteritidis*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes* ($P < 0.05$), and presented the highest percentage of free radical scavenging (DPPH). It can be deduced that the increases in DPPH, ΔL^* and $\Delta a b^*$ of the films depend only on bixin, while the resistance to traction and deformation depends only on citric acid, and PVA and Δb^* depend on both. These results support the applicability of bixin extract and citric acid in PBAT films made by casting, presenting a great potential for use as active materials in food packaging, aiming at greater food safety associated with environmental sustainability.

Keywords: Active packaging, DCCR, PBAT, antioxidant and antimicrobial efficacy.

SUMÁRIO

2	INTRODUÇÃO GERAL	12
3	OBJETIVO GERAL	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4	EMBALAGEM ATIVAS	17
5	POLÍMEROS	21
6	BIOPOLÍMERO	21
7	ÁCIDO CÍTRICO	27
8	BIXINA	29
9	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE FILMES	34
9.1	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	34
9.3	PROPRIEDADES MECÂNICAS	37
10	PERSPECTIVA FUTURA NA ÁREA DE EMBALAGENS ATIVAS BIODEGRADÁVEIS	40
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

1 INTRODUÇÃO GERAL

Um recipiente é um elemento essencial para a conservação e comercialização de alimentos. Cumpre quatro funções básicas: proteção, comunicação, conveniência e contenção (GHAANI *et al.*, 2016). Feito principalmente de polímeros convencionais como polietileno (PE), polipropileno (PP), nylon® (poliamida), teflon® (polieterftalato de etileno, PTFE), poliestireno (PS), Plexiglas® ou acrílico (polimetacrilato de metila, PMMA), cloreto de polivinil (PVC) e poliisobutileno ou borracha sintética (Élida Hermida 2011). Onde o uso excessivo dessas macromoléculas sintéticas, bem como a sua não biodegradabilidade, geraram altos riscos biológicos e ambientais inestimáveis (ROCHA *et al.*, 2018). Tendo em conta as desvantagens desses polímeros, é promovida a aplicabilidade dos biopolímeros, produzidos a partir de fontes renováveis e que podem ser sintetizados na presença de materiais orgânicos. Como por exemplo o poli (butileno adipato tereftalato) (PBAT), conhecido comercialmente como atrativo Ecoflex® em diferentes linhas de produção por sua fácil compatibilidade química com outros compostos (ZEHETMEYER *et al.*, 2015; BASF, 2008). Apesar de ser um copoliéster sintético, possui propriedades aromáticas e alifáticas, que permitem sua degradação em até 90% (MOUSTAFA *et al.*, 2017; ROCHA *et al.*, 2018).

Por outro lado, esse biopolímero possui características físicas ideais, ciclos curtos de moldagem para o processo de extrusão e hidrofobicidade, é certificado como compostável, além de permitir o contato direto com alimentos (FEREIRA *et al.*, 2019; MOUSTAFA *et al.*, 2019; SIRACUSA *et al.*, 2015; GARCIA *et al.*, 2014; SIEGENTHALER *et al.*, 2012). Portanto, o PBAT é considerado uma alternativa para a produção de embalagens ativas (WILSON, HARTE Y ALMENAR, 2018).

A tendência para o consumo de alimentos saudáveis, naturais e nutritivos, manusear e consumir, está despertando o interesse dos consumidores em conhecer a origem dos recipientes utilizados para preservar e proteger os produtos alimentícios. A indústria de materiais se inclina para a diminuição

progressiva do uso de todos os compostos de origem sintética, incluindo polímeros e aditivos usados para produzir esses recipientes. Em resposta a essa nova perspectiva, o uso de substâncias orgânicas presentes na natureza para melhorar as funções desses recipientes é promovido através da incorporação desses aditivos extraídos da natureza, levando em consideração a alta taxa de deterioração dos alimentos devido a fatores extrínseca, oxidativa e microbiológica (SIRIPATRAWAN; HARTE, 2010; JAMSHIDIAN *et al.*, 2012). Existem aditivos sintéticos permitidos pela legislação brasileira, como o ácido cítrico, que em concentrações adequadas não produzem riscos à saúde dos consumidores (OMRANA *et al.*, 2019).

É importante destacar que a falta de controle de variáveis como: atividade da água, oxigênio, pH, temperatura, umidade e microrganismos em produtos alimentícios produz perdas representativas em termos de alimentos e econômicas nas indústrias alimentícias (BALDINO; CARDEA; REVERCHON, 2017).

Por outra parte, o aditivo natural com múltiplas aplicações, como a bixina, extraído da semente de urucum (*Bixa orellana*), formada por uma extensa cadeia de hidrocarbonetos poliinsaturados, ligações duplas conjugadas, um ácido carboxílico e um grupo éster metílico em cada extremidade, este composto tem uma característica lipofílica ou que faz dele de alto interesse para retardar processos oxidativos (DE OLIVEIRA RIOS *et al.*, 2009; KANG, CAMPBELL, BASTIAN, & DRAKE, 2010).

A bixina é um inibidor de oxigênio molecular singlete eficiente (MANITTO *et al.*, 1987). Este carotenoide é lipossolúvel (MASCARENHAS, 1998; YABIKU; TKAHASHI; CARUSO 1986). Ao inserir esse composto em uma matriz biopolimérica, espera-se que apresente afinidade química entre si, ao mesmo tempo em que pode liberar compostos antioxidantes de maneira controlada através da embalagem para o alimento.

Por outro lado, existem outros compostos, como ácidos orgânicos, encontrados naturalmente em frutas e vegetais, também se conhecem sinteticamente por microrganismos durante os processos de fermentação na presença de solo e matéria orgânica que lhes conferem características de degradabilidade (ESWARANANDAM, HETTIARACHCHY AND MEULLENET, 2006).

Um ácido orgânico com várias aplicações é o ácido cítrico, encontrado na forma natural ou sintética, esse ácido carboxílico (ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico) fisicamente um pó branco cristalino na forma anidra e monohidratada, atua como um compatibilizador, plastificante e antimicrobiano (OMRANA *et al.*, 2019; LUSIANA *et al.*, 2016).

Olivato *et al.*, (2012) indicam que a integração de um ácido orgânico em um material de biopolímero melhora as propriedades e a homogeneidade devido à formação de ligações cruzadas que ocorrem na cadeia polimérica. Produzindo recipientes bioativos resistentes e flexíveis e um sistema de permeabilidade ideal para produtos específicos, aumentando a qualidade e a funcionalidade do recipiente em contato com os alimentos, contribuindo principalmente para a inibição de microrganismos patogênicos.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi produzir filmes bioativos biodegradáveis a partir de diferentes concentrações do aditivo bixina, ácido cítrico e PBAT como matriz polimérica pela técnica de casting, determinando as propriedades físicas, mecânicas, térmicas, antioxidantes, microestruturais e antimicrobianas do recipiente.

2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver filmes ativos biodegradáveis por meio da técnica de *casting* a partir da matriz polimérica de poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) com incorporação de diferentes concentrações de ácido cítrico e bixina, assim como, caracteriza-los e avaliar a eficácia dos mesmos quanto a ação antioxidante e antimicrobiana.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Extrair e purificar a bixina, assim como, identificá-la e quantificá-la por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE);
- Desenvolver por *casting*, filmes ativos de PBAT com incorporação de ácido cítrico e bixina, por meio de um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), usando diferentes concentrações dos agentes antioxidante e antimicrobiano como variáveis independentes;
- Caracterizar os filmes ativos de acordo com: espessura, propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor de água, propriedades térmicas (TG e DSC), microscopia (MEV), temperatura de oxidação inicial (OIT), atividade antioxidante pela eliminação de radicais livres (DPPH), espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e eficácia bioativa de biofilmes.

CAPITULO I
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3 EMBALAGEM ATIVAS

Associação Brasileira de Embalagens ABRE, 2019, define embalagem como envoltório ou recipiente utilizado com a finalidade de armazenar temporariamente produtos, de forma individual ou agrupada. A instituição ABRE contribuiu com 1,02% do Produto Interno Bruto Nacional (PIB), com um valor bruto de produção de 71,5 bilhões de reais em 2018, onde os recipientes de plástico em uma participação de 38,85%.

As embalagens são responsáveis por proteger os produtos de fatores externos, contaminação microbiológica e prolongar o prazo de validade dos alimentos, garantindo assim, a segurança e qualidade final dos mesmos após o manuseio e distribuição. E com isso, estão diretamente relacionados à diminuição do desperdício de alimentos. Trata-se de um importante instrumento de marketing não só dos produtos, mas também das empresas (YOUSSEF *et al.*, 2019).

Nesse sentido, ainda no que se refere as suas funções, estas podem ser classificadas em três níveis: Primária, secundária e terciária. Entende-se como embalagem primária quando a mesma entra em contato direto com o produto e tem a função de conserva-lo, conte-lo e protege-lo. A embalagem secundária e aquele que entra em contato com as embalagens primárias e as protegem das ações físico-mecânica durante a distribuição. Enquanto que a embalagem terciária, agrupa embalagens primárias e/ou secundárias, facilitando o transporte (FANG *et al.*, 2017; SILVA; LEITE, 2010).

Sabe-se que cerca de metade das embalagens produzidas atualmente são destinadas a produtos alimentícios, sendo que estas são descartadas rapidamente, contribuindo efetivamente com o aumento da poluição, acarretando inúmeros problemas ambientais e sociais (RHIM; PARK; HA, 2013).

Somado a esse problema, à crescente busca por alimentos saudáveis e de qualidade despertaram o interesse pelos estudos que buscam aprimorar e desenvolver embalagens que além das aplicações convencionais, apresentem outras funcionalidades e sejam biodegradáveis (MAJID *et al.* 2016).

Com isso, tem-se as embalagens ativas, aquelas em que são incluídos aditivos no material ou no espaço-livre da embalagem (ROBERTSON, 2013), fazendo com que, essas embalagens liberem compostos ativos de forma gradual

para a matriz alimentar, de maneira que além das funções tradicionais, essas consigam preservar por mais tempo as características sensoriais, nutricionais e microbiológicas do alimento, e conseqüentemente, prolongar a vida útil dos mesmos (LEIMANN *et al.*, 2017).

Para garantir a segurança do consumidor, toda as embalagens e equipamentos devem ser fabricados em conformidade com a Legislação Nacional. No Brasil, ainda não há uma legislação específica sobre o uso de embalagens ativas, no entanto deve ser considerada a lista positiva de aditivos aprovados pela ANVISA (Resolução RDC nº17/2008) para materiais destinados à elaboração de embalagens e equipamentos em contato com alimentos (BRASIL, 2008).

Alguns agentes antioxidantes e antimicrobianos naturais comumente incorporados para tornar-se uma embalagem ativa são: ácido ascórbico, ácido cítrico, ácido propiônico, sorbato de potássio, ácido benzóico, bacteriocinas como nisina, pediocina, enzimas como peroxidase, lisozima e quitosana, entre outros (SANTOS; YOSHIDA, 2011).

Wrona *et al.*, (2018), utilizaram PET (polietileno tereftalato) e LDPE (polietileno de baixa densidade) como matriz polimérica e concentrações de 30% e 20% de extrato de uva-ursina. Neste estudo, a eficácia antioxidante foi avaliada pelo gerador de radicais livres *in situ*, constatando-se que na concentração de 30%, ocorreu hidroxilação de $66 \pm 1\%$, e com 20% a hidroxilação foi de $90 \pm 1\%$. Além disso, observou-se inibição de crescimento dos microorganismos *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus*.

Outro estudo realizado por Ribeiro-Santos *et al.*, (2017) demonstrou redução da oxidação dos lipídios de salames armazenados em embalagem ativa elaborada a partir de biopolímero isolado de proteína de soro de leite e óleos essenciais de canela e alecrim, ambas em concentrações entre 1 e 5%, para a produção de filmes antioxidantes por meio da técnica de *casting*.

De acordo com SILVA *et al.*, (2019), na preparação de embalagens ativas à base PBAT, amido termoplástico, nanowhiskers de celulose (0-3,0% em peso) e compatibilizantes (glicerol, ácido esteárico e ácido cítrico). Descobriram que as condições de oxidação acelerada inibiam microorganismos como: fungos, leveduras, psicrotóxicos e mesofílicos. Revelando, assim, a eficiência de

agentes naturais ácido esteárico e ácido cítrico em embalagens ativas e o prolongamento da vida útil de alimentos altamente susceptíveis, como vegetais.

Estudo realizado por Moura et al., (2018), na incorporação de extrato de ervas e carotenoides em diferentes concentrações como aditivo natural em uma matriz de polietileno de baixa densidade, encontraram eficácia antioxidante e antimicrobiana em concentrações de 0,88% de ambos os agentes, com redução de peróxido em até 30%. Esses recipientes foram aplicados na manteiga, demonstrando preservação favorável do produto. A elaboração de embalagens antioxidantes e antimicrobianas tem sido tema de estudo de diversos pesquisadores, uma vez que essas representam uma alternativa de redução de custos no mercado, devido às suas diversas funcionalidades e aplicação (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2018). A Tabela 1 mostra alguns estudos de desenvolvimento de filmes de PBAT com a adição de diferentes aditivos naturais e a inibição de microrganismos como: *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, Bolores e Leveduras, entre outros, podendo ser eficientes para a preservação de produtos alimentícios

Tabela 1- Levantamento bibliográfico de filmes de PBAT incorporados com agentes antimicrobianos e/ou antioxidante.

Compósito	Atividade Antimicrobiana	Antioxidante DPPH (%)	Técnica de produção	Referência
PBAT + óleo essencial de orégano	<i>Coliformes Totais, Psicotróficos e Staphylococcus aureus</i>	34,78 ± 1,73	Extrusão	Cardoso <i>et al.</i> (2017)
PBAT + Ácido cítrico	<i>P. Aeruginos, Escherichia coli, Staphylococcus aureus</i>	160.93 ± 15.65	Extrusão	De Campos <i>et al.</i> , (2017)
PBAT + Nisina	<i>Bacillus Cereus, Clostridium, Staphylococcus aureus</i>	NF	Extrusão	Zehetmeyer <i>et al.</i> , (2015)
PBAT + nanocelulose de coco + urucum + ácido cítrico	<i>Bolores e Leveduras, mesófilos, psicrotróficos</i>	NF	Extrusão	Silva <i>et al.</i> , (2019)
PBAT + Zeolite	<i>Escherichia coli, Staphylococcus aureus</i>	NF	<i>Casting</i>	Venkatesan, e Rajeswari (2016)
PBAT + prata (AgNPs)	<i>Listeria monocytogenes, Escherichia coli</i>	NF	<i>Casting</i>	Shankar <i>et al.</i> , (2016)

NF: Não foi realizado; **PBAT:** Poli (Adipato-Co-Tereftalato de Butileno).

Fonte: Elaborado pelo autor, (2020).

4 POLÍMEROS

A origem da palavra polímero vem do grego: Polys (muitos) + simples (parte), que consiste em uma macromolécula formada pela união de monômeros conectados por ligações covalentes, classificados de acordo com suas características de fusibilidade, estrutura molecular, aplicações, componentes funcionais (RAMOS *et al.*, 2015).

Os polímeros sintéticos convencionais são derivados do petróleo, representam grande parte da aplicação mundial para o desenvolvimento de vários produtos nas indústrias (DOMÍNGUEZ, *et al.*, 2018). Apresentam importantes propriedades, tal como: resistência mecânica, leveza, inércia química e baixo custo de produção e processamento (RHIM *et al.*, 2013). E por isso, são os mais utilizados para a produção de embalagens, principalmente na indústria de alimentos (ARFAT *et al.*, 2017). Estimativas apontam que anualmente são produzidos cerca de 320 milhões de embalagens, prevendo que até 2030 esses números dupliquem (ANDRADY, 2011; WRIGHT; KELLY, 2017). De estes 79% são descartados em locais inadequados, como aterros sanitários e locais públicos logo após utilização, e como são resíduos não degradáveis, representam um grave problema ambiental e social (RHIM *et al.*, 2013; GEYER *et al.*, 2017).

Além disso, atualmente ainda não existem sistemas eficientes e seguros para reciclar recipientes que contenham substâncias orgânicas mais degradável (INGRAO; GIGLI; SIRACUSA, 2017). Portanto, devido à preocupação global com a alta taxa de contaminação causada por polímeros sintéticos, estudos vêm sendo realizados nos últimos anos para substituir esses materiais por materiais biodegradáveis, e com isso, incorporar compostos bioativos naturais (GEYER *et al.*, 2017). Portanto, os biopolímeros são cada vez mais utilizados para a aplicação em diferentes embalagens ativas biodegradáveis visando a proteção e preservação de alimentos (ZEMBOUAI *et al.*, 2013).

5 BIOPOLÍMERO

Os biopolímeros são estruturas complexas que podem ser classificados de acordo com sua fonte: extraídos diretamente da natureza; síntese química a partir de monômeros derivados de fontes renováveis ou não, e produção por

microrganismos (GALGANO, 2015; MENSITIERI, *et al.*, 2011). São considerados uma maneira sustentável de substituir polímeros sintéticos desde que suas propriedades físicas e químicas sejam semelhantes (RHIM *et al.*, 2013).

A Sociedade Americana de Ensaio e Materiais (ASTM D-5488-94 de 1, 1994) classifica os plásticos em três categorias: biodegradável, compostável e degradável. A primeira, quando a degradação ocorre naturalmente por microrganismos compostáveis, quando o material é degradado por processos biológicos durante a compostagem, produzindo CO₂ e água. É degradável quando o material sofre alterações em sua estrutura química em condições ambientais específicas, permitindo a perda de algumas propriedades, sem alterar a qualidade do peso. (KLOSS, 2007).

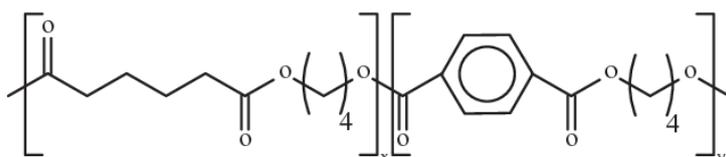
De acordo com esta classificação, a Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABLIPLAST) determina que as características dos biopolímeros permitem sua eliminação no ambiente, o que os torna mais eficientes em termos de energia do que são reciclados, atuando como fertilizantes e matéria orgânica benéfica para o solo (GALGANO, 2015; SIRACUSA *et al.*, 2008).

5.1 POLI (BUTILENO ADIPATO CO-TEREFTALATO) PBAT

O Poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) tem a estrutura química formada a partir de monômeros de ácido hexanodióico (adípico), ácido benzenodicarboxílico (tereftálico) e 1,4-butanodiol e faz parte da família de copoliéster alifático-aromático (Figura 1). Considerado como um copoliéster biodegradável pelas agências European Standard DIN EM 13432, American Certification System of Biodegradable Products Institute e pela certificadora japonesa GeenPla Standard (BRANDELERO; GROSSMANN; YAMASHITA, 2013; VIEIRA, 2010). Esse produto tem comprovação de compostabilidade e biodegradabilidade, podendo ser degradado pela ação de microrganismos, atendendo as Normas Internacionais e certificações europeias e Norte-Americanas. Essas ações dependem do ambiente, condições climáticas, temperatura, pH e organismo do solo em que o polímero se encontra (BASTARRACHEA *et al.*, 2010; ZEHETMEYER, 2015).

De acordo com as Normas (ISO 14855 e ISO 17088), a biodegradabilidade aeróbica máxima controlada do polímero pode ser estimada por meio de um teste de compostagem realizado durante 80 dias, onde é possível obter 90% de degradação do PBAT.

Figura 1- Estrutura química do poli (butileno adipato co-tereftalato) PBAT



Fonte: Chivrac *et al.*, (2006).

Fornecida pela indústria química alemã BASF, sob o nome comercial Ecoflex®, esse biopolímero apresenta densidade de 1,26 g/cm³ a 30°C, fluidez é de 3-5 dg/min (ISO 1133, 190°C/ 2,16 kg) e temperatura de transição vítrea – 30 °C e fusão entre 110 e 115°C (BASF, 2009; YAMAMOTO *et al.*, 2002).

Devido às suas excelentes propriedades de flexibilidade, permeabilidade e ruptura, esse biopolímero tem grande aplicação na produção de embalagens na indústria alimentícia, uma vez que essas características possibilitam o seu uso sob altas temperaturas e controlam também as reações físico-químicas que podem ocorrer nos alimentos (MONDAL *et al.*, 2015; VIEIRA, 2010). Alguns valores referentes às propriedades do PBAT podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades do polímero PBAT (poli (Butileno Adipato Co-Tereftalato)

Propriedade	PBAT
Temperatura de fusão (°C)	100-120
Temperatura de transição vítrea (°C)	-30
Temperatura inicial de decomposição (°C)	280
Resistência máxima à tração (N/mm ²)	35-44
Alongamento (%)	560-710
Taxa de permeabilidade ao vapor de água (g.m ² .d ⁻¹)	170
Densidade (g/cm ³)	1.2-1.5
Solubilidade em água	Insolúvel

Fonte: BASF, (2003).

Segundo Schneider *et al.*, (2016) e Fukushima *et al.*, (2012) além de suas excelentes propriedades já mencionadas anteriormente, o butileno adipato co-tereftalato (PBAT), também é impressionante por sua capacidade e facilidade de misturar com diferentes compostos.

Na Tabela 3, encontra-se uma revisão referente à estudos que utilizaram PBAT para produção de filmes ativos. Apresenta-se, dados referentes aos compósitos e concentrações utilizadas, método de obtenção, resultados referentes as propriedades mecânicas e permeabilidade ao vapor de água. É possível observar que a incorporação de agentes antioxidantes e antimicrobianos incrementaram não somente as propriedades químicas, mas alteraram também as propriedades mecânicas e de barreira.

Embalagens ativas obtidas pelo método de *casting*, incorporando 1 mM de prata (AgNPs) e 5 mM de tocoferol na matriz polimérica do PBAT, resultou respostas mecânicas interessantes onde a resistência à tração no filme de prata foi de $7,8 \pm 0,8$ MPa e alongamento de $125,5 \pm 3,8\%$, enquanto a permeabilidade ao vapor da água foi $(5,95 \pm 0,11 \text{ g mm h}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ kPa})$. Pode-se dizer que a mistura de PBAT com compostos bioativos aumenta a formação intermolecular, melhorando as características da embalagem ativa (SHANKAR *et al.*, 2016).

Da mesma forma, Cardoso *et al.*, (2017), na produção de filmes PBAT ativos com a adição de óleo essencial de orégano em diferentes proporções como aditivo natural. Encontraram valores de resistência à tração na faixa de 12 MPa a 16,5 MPa, enquanto no módulo yuong obtiveram 358N e 365 N, respectivamente.

Outra área de aplicação deste biopolímero está na farmacologia. Vários biofilmes são feitos a partir desta matriz polimérica com a adição de fármacos (hidrato de calcipotriol e dipropionato de betametasona) usando o método de inversão de fase. Onde as respostas desses materiais são promissoras nessa área, o que também permite uma liberação controlada de compostos bioativos. Em conclusão, essas macromoléculas de polímero misturadas com outros compostos têm aplicações versáteis (COSTA *et al.*, 2017).

Tabela 3 - Levantamento bibliográfico de estudos realizados com PBAT na elaboração de filmes ativos e seus respectivos resultados para as propriedades mecânicas e PVA.

Compósito	Propriedade Mecânica	Concentração (%)	Permeabilidade (PVA) (g mm h ⁻¹ m ⁻² kPa)	Técnica de produção do filme	Referência
PBAT + AgNPs	Tração (MPa) 7,8 ± 0,8	1 mM de prata (AgNPs)		Casting	Shankar <i>et al.</i> , (2016)
PBAT + TPS	Deformação (%) 125,5 ± 3,8	5 mM tocoferol	5 mM tocoferol 5,95 ± 0,11		
PBAT+ TPS + Nanopartículas	Tração MPa 11,33 ± 0,81	(3%) Nanopartículas de amido	Nanopartículas de amido (3%) 3,32	Extrusão	Silva <i>et al.</i> , (2017)
	11,33 ± 0,94	(5%) Nanopartículas de amido			
	Deformação (%) 227,33 ± 1,24	(1%) Nanopartículas de amido			
	221,66 ± 4,92	(2%) Nanopartículas de amido			
	217,00 ± 0,94	(3%) Nanopartículas de amido			
3,50 ± 5,83	(1%) Nanopartículas de amido				
3,66 ± 117	(4%) Nanopartículas de amido				
PBAT+ óleo Oregano	Tração (MPa) 16,12	<i>Origanum vulgare</i> (2,5 g)	<i>Origanum vulgare</i> (10,0 g) 5,83 e 6,22	Extrusão	Cardoso <i>et al.</i> , (2017)
	17,0	<i>Origanum vulgare</i> (5,0 g)			
	16,5	<i>Origanum vulgare</i> (7,5 g)			
PBAT+ BFC2	Deformação (%) 358	<i>Origanum vulgare</i> (2,5 g)	NP	Extrusão	Campos <i>et al.</i> , (2017)
	365	<i>Origanum vulgare</i> (5,0 g)			
	Tração MPa 6,66 ± 0,33	PBAT/ (0,3 g) Ácido cítrico			
PBAT + Nisina	Deformação (%) 39,98 ± 3,82	PBAT/ (0,3 g) Ácido cítrico	NP	Extrusão	Zehetmeyer <i>et al.</i> , (2015)
	Tração MPa 8,4 ± 0,0	Nisina (0,5 g)			
	8,4 ± 0,1	Nisina (1g)			
	Deformação (%) 550 ± 64	Nisina (0,25g)			
	465 ± 18	Nisina (0,5 g)			

Continuação da Tabela 3

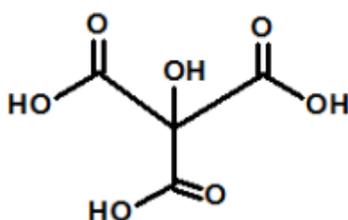
PBAT+ Zeolito	Tração (MPa)				
	15,84	Zeolito (7,5%)			
	16,10	Zeolito (10,0%)	Zeolito (7,5%)		
	10,30	Zeolito (2,5)	3,35	Extrusão	Correia et al., (2017)
	Deformação (%)				
420,7	Zeolito (1,0%)				
401,3	Zeolito (2,5%)	Zeolito (5%)	3,39		
PBAT + nanocelulose de coco + urucum + ácido cítrico	Tração (Mpa)				
	4,80	60g amido/ (40g) PBAT/ (20 g) Glicerol / (0,55 g) Nanocelulose / (0,5 g) Urucum / (1,0 g) Ácido cítrico,			
	4,51	(40g) amido/ (60g) PBAT/ (20 g) Glicerol / (0,55 g) Nanocelulose / (1,0 g) Urucum / (1,0 g) Ácido cítrico	PBAT + nanocelulose de coco + urucum + ácido cítrico		
	Deformação (%)		0,42	Extrusão	Lea et al., (2019)
	252	(40g) amido/ (60g) PBAT/ (20 g) Glicerol / (0,55 g) Nanocelulose / (1,0 g) Urucum / (1,0 g) Ácido cítrico			
0,43	40g amido/60g PBAT/ (20g) Glicerol/ (0,55 g) Nanocelulose/ (1,0 g) Urucum / (1,0 g) Ácido cítrico				

TPS: amido termoplástico; PVA: Permeabilidade de vapor da água; BFC2: PBAT com ácido cítrico; PBAT: poli (butileno adipato co-tereftalato)
 Fonte: Elaborado pelo autor.

6 ÁCIDO CÍTRICO

Aproximadamente em 1826, iniciou-se a comercialização de ácido cítrico na Inglaterra. Nesse momento, os preços eram elevados devido a monopolização da Itália. Somente em 1880, essa substância, foi sintetizada na presença de glicerol e depois em dicloroacetona. Vários estudos foram conduzidos com diferentes cepas e longos períodos de fermentação, contudo, apenas em 1916 a cepa *Aspergillus niger* obtida em altas concentrações de açúcar, sais minerais e pH 2,5 a 3,5 conseguiu produzir quantidades significativas de ácido cítrico, ampliando as possibilidades de aplicação em várias áreas da ciência (TORO *et al.* 2014). Conhecido também como citrato de hidrogênio, sua representação química é ácido 2-hidroxi-1,2,3-propanotricarboxílico (C₆H₈O₇), conforme (Figura 2). Este ácido orgânico pode ser encontrado em frutas cítricas, como limão e laranja. Algumas de suas propriedades físicas são apresentadas na Tabela 4.

Figura 2- Estrutura química do ácido cítrico



Fonte: Toro; Buriticá; Garcés, (2004).

Tabela 4- Propriedades físicas do Ácido Cítrico

Aparência	Sólido branco e cristalino
Solubilidade em água	133 g/100ml (20°C)
Fórmula molecular	C ₆ H ₈ O ₇
Massa molar	192,123g/mol
Densidade	1,665g/cm ³
Ponto de fusão	153°C
Ponto de ebulição	175°Ct
Acidez (pKa)	pKa ₁ =3.15
	pKa ₂ =4.77
	pKa ₃ =6.40

Fonte: Food Ingredients Brasil, (2014).

Esse produto é comercializado pela IUPAC (União Internacional de Química Pura e Aplicada), em forma de um pó cristalino, branco, inodoro e com um forte sabor ácido (CIRIMINNA *et al.*, 2017). A produção comercial de ácido cítrico é realizada na forma anidra e monoinsaturada, ambas são obtidas pelo processo de cristalização da solução, onde a temperatura de transição entre as duas fases é igual a 36,6 °C. Destaca-se que a forma monoinsaturada é obtida apenas em temperaturas abaixo da temperatura de transição. Uma média de 70% da fabricação de ácido cítrico é usada na indústria de alimentos, 12% em produtos farmacêuticos, enquanto 18% é destinado a outras indústrias (Tabela 5) (BAGHERI *et al.*, 2014).

Tabela 5- Aplicação do ácido cítrico na indústria alimentícia

Aplicações	Indústrias	Funções
Produtos lácteos	Lácticas	- Emulsificante - Agente acidificante - Antioxidante.
Alimentos	Congelamento de frutas	- Protege o ácido ascórbico por Inativação de traços de metais. - Previne a turbidez - amarelamento de vinhos brancos
Bebidas	Vinhos e cidras	- Efetua o ajuste de pH e inibe a oxidação - Estimula o sabor natural da fruta - Atua como acidulante em bebidas à base de carbonato e sacarose
Agricultura		- Determina o valor de micronutrientes em fertilizantes - Aumenta a disponibilidade de fósforo nas plantas.

Fonte: Navarro *et al.*, (2016).

De acordo com a literatura o ácido cítrico incorporado a filmes proporciona a formação de barreiras protetoras proporcionando ação antimicrobiana, além de atuar favorecendo os processos de degradabilidade do material (NAVARRO *et al.*, 2016). Andonegi *et al.*, (2020), usaram colágeno bovino como polímero e concentração de 25% de ácido cítrico em diferentes concentrações na obtenção de filmes ativos. Os autores observaram que os produtos apresentaram propriedades mecânicas ideais principalmente nas formulações com maiores concentrações de ácido cítrico

Toro *et al.*, (2014) investigaram a influência do ácido cítrico (1,0 e 0,01g) e hidroxipropilmetilcelulose em concentrações (10% e 20%), em filmes de amido

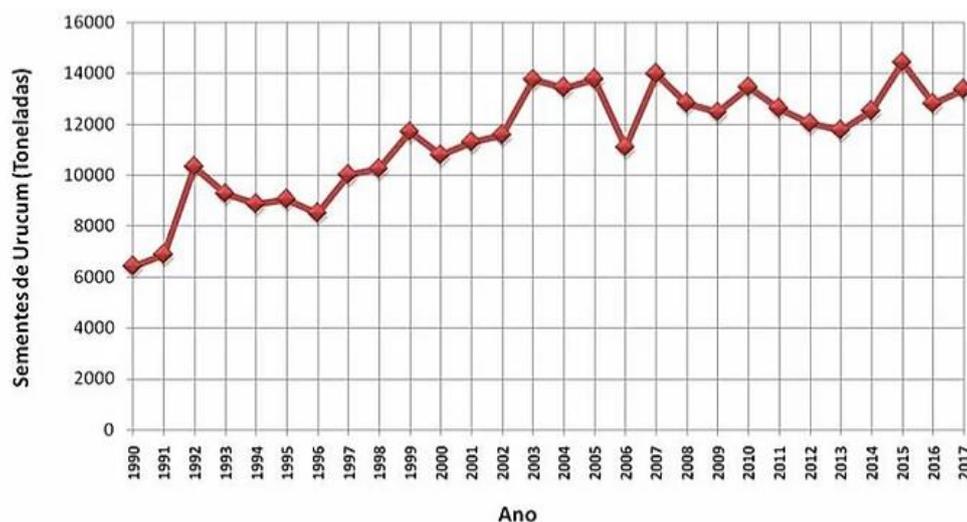
termoplástico obtidos por moldagem por compressão. Os filmes nos quais o ácido cítrico foi incorporado apresentaram respostas de 8, 8 e 9 MPa no parâmetro de resistência à tração, com alongamentos entre 11, 13 e 12%, respectivamente.

7 BIXINA

Urucum (*Bixa Orellana*) é conhecido em diferentes regiões com nomes como: atole, achiote e bija (Peru, Colômbia e Cuba), urucum (Brasil, Venezuela), urukú (Paraguai), rocou e rocoyer (República Dominicana, Guiana Francesa) e (França), changuaricá, pumacué e K'u-zub (México). Seus frutos são cápsulas armadas de espinhos maleáveis, que ficam vermelhos quando maduros (Figura 3) (FRANCO *et al.*, 2002).

Em 1990, o Brasil já produzia 6.400 toneladas de sementes de urucum, tornando-se o maior produtor mundial em 2015, com mais de 14.000 toneladas de sementes, sendo pioneiro no consumo, produção e exportação de corantes e sementes (IBGE 2015). O gráfico apresentado na Figura 4 mostra a relação entre os anos e a produção de sementes no Brasil.

Figura 3- mostra a relação entre os anos e a produção de sementes no Brasil.



Fonte: IBGE (2017).

A Figura 4, apresenta dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) referente ao consumo de subprodutos de sementes de urucum no Brasil (KONRAD *et al.*, 2015).

Figura 4- Consumo estimado de urucum no Brasil



Fonte: IBGE (2017).

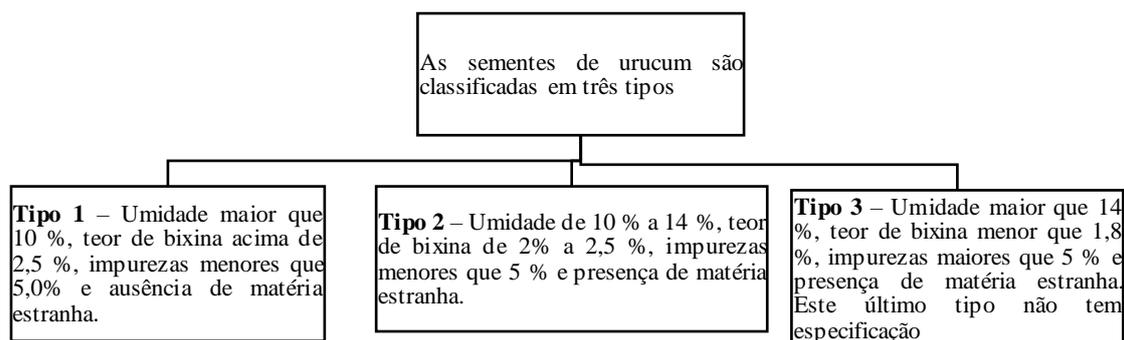
A semente de urucum possui um pericarpo em sua superfície que contém várias substâncias além do pigmento vermelho característico (Figura 5), que representa aproximadamente 5 a 10% do peso da semente, dos quais aproximadamente 30% é representado por carotenoides (MERCADANTE; PFANDER, 1998; PRABHAKARA RAO *et al.*, 2005; TIRIMANNA, 1981). Inúmeros carotenoides são obtidos a partir dessa semente de urucum, a bixina e a norbixina são os compostos majoritários e mais utilizados em diferentes áreas, como: farmacêutica, biomédica, alimentícia, têxtil, entre outras (DEQUIGIOVANNI *et al.*, 2018; KONRAD *et al.*, 2015; MOREIRA *et al.*, 2015;). Na Figura 6 mostra a classificação e características das sementes de urucum.

Figura 5 - Sementes e peças de urucum (*Bixa orellana*)



Fonte: Devia e Saldarriaga (2003).

Figura 6- Classificação das sementes de urucum



Fonte: Ferreira (2018).

Outros compostos presentes nas sementes de urucum são conhecidos como bixina de sódio, ácido tônico, beta-caroteno, pectina, vitamina A, luteína, metilbixina, zeaxantina (DEQUIGIOVANNI *et al.*, 2018; MOREIRA *et al.*, 2015). A Tabela 6 mostra sua composição química das sementes, cachopas, folhas e galhos de urucum.

Tabela 6 - Composição química das sementes, cachopas, folhas e galhos de urucum

Componentes	Sementes	Cachopas	Folhas	Galhos
Umidade (g/100g)	9,76	11,19	10,70	10,26
Cinzas (g/100g)	4,60	3,39	5,40	3,61
Proteína %Nx6.25 (g/100g)	10,88	5,30	13,50	8,07
Extrato estéreo (g/100g)	4,80	1,41	8,78	0,83
Fibra (g/100g)	12,58	21,40	11,25	24,91
Carboidratos totais ¹	57,38	57,31	50,37	52,32
Vitamina B1 (mg/100g)	Nd	Nd	Nd	Nd
Vitamina B2 (mg/100g)	0,01	Nd	0,11	Nd
Vitamina C (mg/100g)	5,16	5,24	3,56	Nd
Vitamina pp (mg/100g)	12,65	4,66	3,88	4,34
Fósforo (mg/100g)	305	68	152	102
Cálcio (mg/100g)	237	603	102	499
Magnésio (mg/100g)	270	218	236	314
Ferro (mg/100g)	2,40	3,28	1,98	1,37
Manganés (mg/100g)	1,87	2,79	1,62	1,23
Zinco (mg/100g)	0,49	1,09	1,47	0,41
Sódio	0,90	1,21	3,41	1,41

¹Valores obtidos por diferença [100- (umidade + cinzas + proteínas + extrato + etéreo + fibras)]; nd: não detectado. **Fonte:** FRANCO *et al.* (2002).

De acordo com Poltronieri, (2006), a localização geográfica dessa árvore (*Bixa orellana*) determina a composição química e a porcentagem de bixina encontrada na semente. Verifica-se na Tabela 7, teores de bixina encontrados em distintos municípios do Estado do Pará (Brasil).

Tabela 7- Teores de bixina determinados em diferentes cultivares no Estado do Pará

Tipo	Procedência	Umidade	Teor de Bixina (%)	
			Úmida	Seca
Piave Gigante	Igarapé -Açu/PA	12,07	6,00	6,90
Bico de Pato	Igarapé -Açu/PA	10,47	5,75	6,40
CPAF/Amapá	Cerrador /PA	10,32	5,47	6,12
Dico Bento I	Igarapé -Açu/PA	12,49	4,77	5,45
Peruana/Ronald	Belém-PA	7,81	4,78	5,40
Pastelão	Igarapé -Açu/PA	8,75	4,70	5,15
Piave Vermelha	Igarapé -Açu/PA	11,68	4,34	5,00
Abe	S. Fco. Pará/PA	11,51	4,27	4,83
Ramal do Prata	Igarapé -Açu/PA	10,50	4,25	4,74
Verdinha	Igarapé -Açu/PA	10,78	4,17	4,66
Dico Bento III	Igarapé -Açu/PA	13,39	3,90	4,50
Wagner	Igarapé -Açu/PA	12,25	0,92	1,60

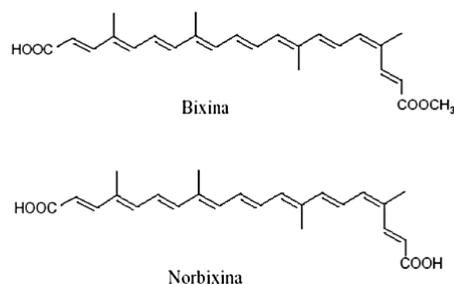
Fonte: Falesi e Kato (1992).

A bixina foi o primeiro cis-poliene natural conhecido, e foi isolada pela primeira vez em 1825, pelo pesquisador Boussingault (GIRIDHAR *et al.* 2014; SCOTTER, 2009). É o principal apocarotenóide presente nas sementes de urucum, dois grupos carboxílicos e nove ligações duplas conjugadas formam a estrutura. Sua configuração permite absorção de luz, propriedades antioxidantes e baixa solubilidade, possuindo propriedades de inibição de oxigênio singlete (GIRIDHAR *et al.*, 2014).

A fórmula química da bixina é 9-cis-6,6-diapocaroteno -6,6-dioato de hidrogênio metílico (C₂₅H₃₀O₄), conforme visualiza-se na Figura 7. Este composto é um dos poucos carotenoides que ocorrem naturalmente na configuração *cis*. A bixina tem duas configurações estereoquímicas, *cis* e *trans*.

A estabilidade depende de suas condições, em temperatura ambiente cis-bixina e trans-norbixina são instáveis, enquanto em temperaturas mais altas são mais estáveis (PIMENTEL, 1995).

Figura 7 - Estrutura química da Bixina e Norbixina



Fonte: Souza (2011).

Segundo Ghiraldi, (2015), o urucum é utilizado como matéria-prima para preparação de corantes naturais principalmente na indústria alimentícia, representando cerca de 70% dos tipos de condimentos utilizados na culinária brasileira. Conforme supracitado, a bixina é principal da semente de urucum. (RAMAMOORTHY *et al.*, 2010) e do ponto de vista econômico vem ocupando o segundo lugar entre os aditivos coloridos naturais utilizados na indústria (SILVA; LEITE 2010).

Santana *et al.*, (2013), elaboraram filmes ativos contendo 1,5% de quitosana, 0,15% de glicerol e 0,25 a 1,0% de extrato de urucum por meio da técnica de extrusão. Observou-se que a capacidade antioxidante do filme preparado com 1% de urucum foi maior que as demais formulações, apresentando um teor de fenólicos totais de $89,41 \pm 1,21\%$.

Pagno *et al.*, (2016), desenvolveram recipientes biodegradáveis e ativos à base de amido de mandioca, nanocápsulas de bixina incorporadas em diferentes concentrações. Os filmes com maiores concentrações de nanocápsulas exibiram uma diminuição significativa na resistência a tração, solubilidade em água e aumento do alongamento na ruptura e aumentou a permeabilidade ao vapor de água, além de uma melhoria significativa na proteção contra raios UV e luz visível. Esse material bioativo foi utilizado para embalar o óleo de girassol, e observou-se que os recipientes com maior

concentração de nanocápsulas de bixina retardaram a oxidação lipídica, o que indica seu uso na conservação de alimentos.

8 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE FILMES

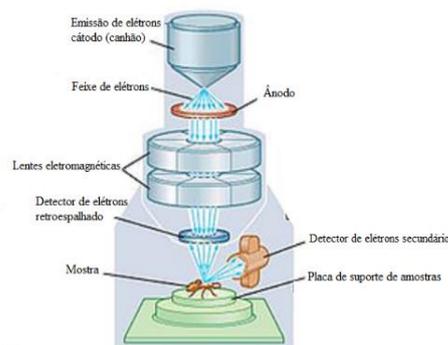
A caracterização dos polímeros é realizada para entender ou prever as propriedades dos materiais, análises como: físico-química, térmica, mecânica, microscopia, permeabilidade à água e espectroscopia e infravermelho. Os análise definem a área de aplicação e uso do envase ativo, assim como a qualidade do material (SEIDEL, 2008).

8.1 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

De acordo com Albuquerque *et al.*, (2018), a microscopia tem um papel importante no avanço de diferentes campos da ciência. Seu uso varia em algumas áreas como: biomédica, materiais, aplicações, produtos farmacêuticos, têxteis, cosméticos, criminalística, produtos químicos e petroquímicos, representando uma importante tecnologia.

Estudos de Campos *et al.*, (2019), na preparação de um envase ativo com propriedades antioxidantes e antimicrobianas para proteger o óleo de chia, utilizou (poli (adipato-co-tereftalato) PBAT / amido termoplástico de mandioca (TPCS) como matriz biopolimérica, ácido cítrico (plastificante / compatibilizador) e curcumina como aditivos naturais. Os resultados espectroscópicos (MEV) indicaram uma menor hidrólise ácida das ligações glicosídicas do amido promovido pelo ácido cítrico quando a curcumina estava presente. Ação do ácido cítrico foi inibido pela curcumina em (TPCS) devido à competição dos grupos hidroxila para formar ligações de hidrogênio, e mostrou que o filme ativo era eficiente na preservação da oxidação lipídica na amostra de óleo chia.

Figura 8 - Microscópio óptico



Fonte: Linan, (2017).

Nesse contexto, pode-se inferir que o uso da microscopia eletrônica de varredura para a caracterização de vários materiais e principalmente para amostras poliméricas como envases ativos é cada vez mais desenvolvido na indústria e nos centros de pesquisa. Novas técnicas para preparação de amostras, programas recentes para processamento de imagens, sistemas mais robustos para gerenciamento de operações e detectores de alta resolução são instrumentos oferecidos para facilitar o trabalho de pesquisadores que procuram produzir novos e melhores materiais para benefício da sociedade (DEDAVID, 2007).

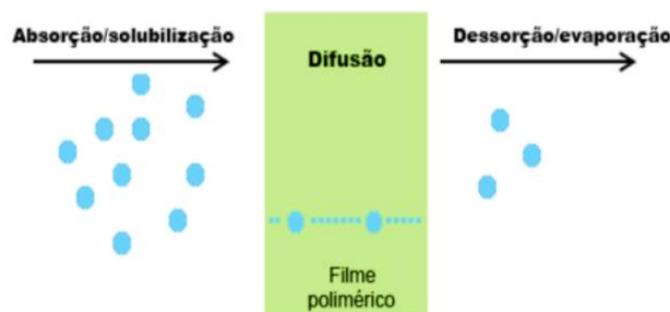
8.2 PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA (PVA)

A qualidade sensorial e a durabilidade no armazenamento de alimentos estão diretamente relacionadas à migração do vapor de água. A influência desses fatores causa alterações físicas e químicas, principalmente na proliferação de microrganismos de alto risco. Portanto, esses recipientes ativos devem ser redutores e estáveis à interação com a água (SANTOS; YOSHIDA, 2011).

Segundo a American Society for Testing and material (ASTME96-95), a permeabilidade é a taxa de transmissão de vapor de água por unidade de área através do filme de espessura conhecida, induzida por um gradiente de pressão entre duas superfícies específicas, de umidade relativa e temperatura especificada (ASTM, 1995).

A facilidade com que um soluto migra de um lado para o outro do filme é conhecida como permeabilidade. A transferência de água é causada por difusão molecular. Esse processo ocorre em três fases: primeiro o movimento do permeante (gás ou vapor) para a superfície do filme e sua absorção dentro da matriz polimérica. Após a difusão, ocorre através dos poros e, finalmente, a evaporação da água, a partir da superfície do filme, como mostra a Figura 9. O tamanho, a forma e a polaridade das moléculas penetrantes determinam a difusibilidade, assim como o segmento da cadeia polimérica na matriz do material (WOLF, 2007).

Figura 9 -Transferência de água é causada por difusão molecular



Fonte: Horn (2012).

Diferentes autores mediram a permeabilidade ao vapor de água (PVA) da matriz PBAT com a adição de antioxidantes e antimicrobianos naturais como recipientes ativos. Leal *et al.*, (2019), na preparação de filmes flexíveis para aplicação em manga *Tommy Atkins* recém-cortada, utilizando amido de mandioca e poli (adipato-co-tereftalato de butila) PBAT, glicerol, nanocelulose de coco, urucum e ácido cítrico em diferentes concentrações. A formulação com concentração (40 g de amido, 60 g de PBAT, 20 g de glicerol, 0,55 g de celulose, 1,0 g de urucum e 1,0 de ácido cítrico) apresentou a melhor resposta à permeabilidade ao vapor de água (PVA) ($0,41 \pm 0,49 \text{ g mm h}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ kPa}$). Pode-se inferir nesse estudo que a cristalinidade da nanocelulose reduz esse parâmetro, tornando-se um biofilme degradável de interesse para a conservação de alimentos com alto teor de água.

Outro estudo foi realizado por Suazo (2018), na preparação da embalagem ativa biodegradável com zeólito (0,5 e 1,5%), amido (39,99%),

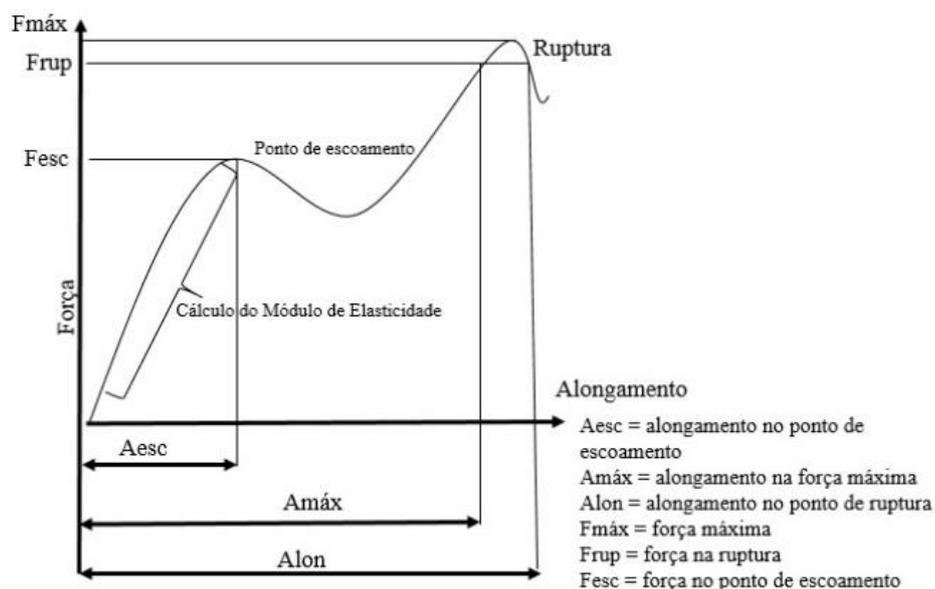
glicerol a 30% e adipato de poli (butileno co-tereftalato) 30% PBAT. As embalagens de zeólito 2% apresentaram melhor permeabilidade ao vapor de água ($4,63 \pm 3,64$ PVA g / m · dia · dia) e Módulo de elástico ($18,53 \pm 2,47$ Mpa). Provavelmente, a estrutura de tetraedro do zeólito impede o fluxo de vapor de água.

8.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas determinam o desempenho dos materiais quando submetidos a tensões mecânicas. O produto está diretamente relacionado à embalagem, permitindo selecionar o melhor material para sua aplicabilidade, favorecendo o transporte e manuseio do produto (SANTOS; YOSHIDA, 2011).

A resistência à tração e a porcentagem de alongamento são os principais parâmetros mecânicos. A resistência à tração máxima (MPa ou N/m²) do material determina a extensão da deformação, o deslocamento do filme é conhecido como porcentagem de alongamento ou Young (MPa ou N/m²). Os parâmetros estabelecidos na produção são decisivos para obter materiais resistentes à ruptura, abrasão e preservar as características internas do produto (HORN, 2012). A Figura 10 representa o comportamento dos polímeros e suas principais propriedades de tração.

Figura 10 - Curva característica da relação de tração versus deformação ou de tração versus alongamento.



Fonte: Sarantópoulos *et al.*, 2002.

Os autores López *et al.*, (2019), ao produziram fibras poliméricas biodegradáveis na proporção 40:60 de ácido láctico (PLA) / poli (adipato-butileno tereftalato) PBAT como matriz polimérica, quitosana e óleo de pinho como aditivos naturais. As propriedades mecânicas apresentaram melhores respostas nas concentrações de 10% óleo de pinho + 1% CH ($22,42 \pm 2,66$ MPa, $26,17 \pm 8,77$ E%) e 14% PineEO + 1% CH ($16,72 \pm 0,80$ MPa, $27,54 \pm 10,54$ E%). Os parâmetros mecânicos foram afetados positivamente pela adição de óleo de pinho, e as características deste material o tornam ideal para a interação com produtos vegetais.

8.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS

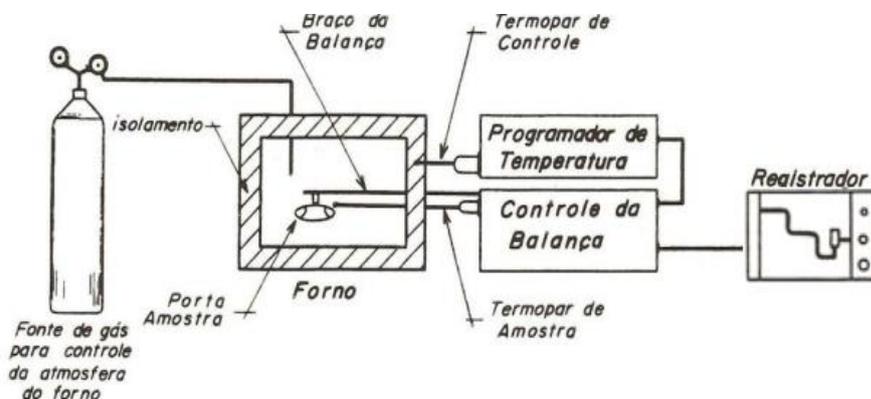
De acordo com a Confederação Internacional de Análises Térmicas e Calorimétricas (ICTAC), entre as técnicas térmicas mais utilizadas estão análise de termogravimétrica (TGA) e calorimetria diferencial de varredura (DSC). As análises térmicas determinam a capacidade de aquecimento e indicam a capacidade de absorção de calor do material. Essas técnicas permitem medir as propriedades físicas de uma substância em relação à temperatura. As vibrações térmicas dos átomos do material podem mudar de forma ou tamanho. As técnicas permitem conhecer o ponto de fusão, o ponto de ebulição, a transição vítrea, a variação de massa e a estabilidade térmica, interpretando as curvas geradas como respostas pelos equipamentos (IONASHIRO, 2004).

Parâmetros como: controle da velocidade do fluxo de calor, atmosfera, e redução ou aumento de massa, são parâmetros que estimam a deformação do material e suas características finais. Esses controles permitem avaliar os processos de polimerização, degradação térmica e vaporização através da interpretação dos eventos (TUREK; STINTZING, 2013). A Figura 11 mostra um diagrama de como o processo térmico dos materiais acontece, enquanto a Tabela 8 apresenta as vantagens e desvantagens dessa técnica.

Estudo realizado por Leal *et al.*, (2019), na elaboração de embalagens bioativas de PBAT, urucum e ácido cítrico em diferentes proporções. Encontraram variação termogravimétrica a $51,6$ a $60,3$ ° C respectivamente para todas as formulações, enquanto a amostra de urucum analisada apresentou uma

perda de massa representativa para os dois eventos em temperaturas de 118 °C a 429 °C.

Figura 11- Diagrama de um equipamento para análises termogravimétricas TG



Fonte: Horn (2012).

Tabela 8 - Características das técnicas de análise térmica

Técnica	Vantagens	Desvantagens	Notas
Calorimetria de varredura diferencial (DSC)	Fácil de usar. Métodos padronizados use em materiais com baixa viscosidade como solventes. Não requer preparação especial de amostra	Em amostras com muitos aditivos ou reforços, só permite medir uma certa porção da curva de fluxo de calor. São utilizados ciclos curtos de aquecimento e resfriamento.	É necessária uma boa transferência de calor entre sensor e amostra. Pode ocorrer sobreposição devido a outros efeitos como o relaxamento
Análise termogravimétrica (TGA)	Fácil de usar. Métodos padronizados não requer preparação especial da amostra.	Precisa combinar com o DSC	Escolha adequada geometria da amostra. A preparação da amostra pode ser lenta.

Fonte: García (2014).

Campos *et al.*, (2019), produziram filmes de amido termoplástico de mandioca / PBAT por adição curcumina por extrusão. Os resultados mostram que em concentrações de 5 a 7,5 g de curcumina, a temperatura inicial de degradação foi de 397 °C para ambas as amostras. Acredita-se que o amido reticulado aumenta a estabilidade à degradação térmica.

9 PERSPECTIVA FUTURA NA ÁREA DE EMBALAGENS ATIVAS BIODEGRADÁVEIS

As embalagens de alimentos desempenham um papel fundamental durante o armazenamento, transporte e aumento da vida útil dos produtos alimentícios, evitando danos físicos, ambientais, químicos e microbiológicos. Proteger e preservar os alimentos é essencial para manter sua qualidade, promover e garantir a segurança do consumidor. Embora existam vários estudos como os mencionados anteriormente nesta pesquisa sobre embalagens ativas biodegradáveis com incorporação de substâncias ativas e diferentes técnicas de produção, ainda são necessários padrões com maior precisão e correlação da migração controlada dos compostos ativos do recipiente para o produto. (INGRAO; GIGLI; SIRACUSA, 2017; RESTUCCIA *et al.*, 2010; YOUSSEF AND EL-SAYED, 2018).

Os consumidores são cada vez mais atraídos por essas novas tecnologias que lhes permitem interagir diretamente com produtos alimentícios (DOBRUCKA; CIERPISZEWSKI, 2014). A tendência de usar embalagens ativas e inteligentes aumenta veementemente, devido à necessidade de transportar alimentos preparados e prontos para o consumo. Diante de todas essas avaliações, sugere-se a incorporação de substâncias derivadas de vegetais como a bixina e o ácido cítrico em matrizes poliméricas biodegradáveis que permitem a aceleração da degradabilidade desses recipientes, reduzem as oxidações lipídicas, mantêm propriedades sensoriais, impedem o crescimento de microrganismos e favorecem a vida útil dos alimentos (RESTUCCIA *et al.*, 2010).

Pode-se concluir, a partir dos resultados encontrados nesta revisão, que a produção de embalagens ativas através da inserção de substâncias naturais poderia melhorar representativamente as propriedades do biomaterial, como por exemplo, a permeabilidade ao vapor de água, sendo este um fator fundamental para a preservação e conservação principalmente em alimentos com alto teor de água. O que é desejável no setor de embalagens, uma vez que essas tecnologias biofuncionais são de grande interesse devido à lucratividade e facilidade de degradação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRE- Associação Brasileira de Embalagens, Disponível em:< <http://www.abre.org.br/>> Acesso em 25 de março de 2019.

ALBUQUERQUE, P.C.; E FONSECA, B.P.F.; GIRARD-DIAS, W.; ZICKER, F.; DE SOUZA, W.; MIRANDA, K. Mapping the Brazilian Microscopy Landscape: a bibliometric and network analysis. **The International Research and Review Journal for Microscopy**, v.4328, n.18, p.30381-0, 2018.

American Society for Testing and Materials – ASTM. (2009). **Designation D882-09: standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting**. Philadelphia: ASTM. Annual book of ASTM standards.

American Society for Testing and Materials - ASTM. ASTM E 96/E 96M-05: **Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials**. Philadelphia: ASTM, 2005. p. 11.

ANDRADY, A.L. Microplastics in the marine environment. **Marine Pollution Bulletin**, v.62 n.8, p.1596–1605, 2011.

BAGHERI, L.; YARMAND, M.; MADADLOU, A.; E MOUSAVI, M.E. Transglutaminase-induced or citric acid-mediated cross-linking of whey proteins to tune the characteristics of subsequently desolvated sub-micron and nano-scaled particles. **Journal of Microencapsulation**, v.31, n.17, p. 636-643, 2014.

BALDINO, L.; CARDEA, S.; REVERCHON, E. Smart Membranes Production by Supercritical Phase Inversion to Increase Food Shelf-life, **Chemical Engineering Transactions**, v.57, p.1873-1878, 2017.

BASTARRACHEA, L.; DHAWAN, S.; SABLANI, S.S.; MAH, J.H.; DONG-HYUN KANG, D.H.; ZHANG, J.; E TANG, J. Biodegradable Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Films Incorporated with Nisin: Characterization and Effectiveness against *Listeria innocua*. **Journal of Food Science**, v.75, n.4, p.215–E224, 2010.

BERENICE, A. D.; CARMEM, I. G.; GIOVANNA, M. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores [recurso eletrônico] /Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

BRANDELERO, R. P. H.; GROSSMANN, M. V.; YAMASHITA, F. “Hidrofilicidade de Filmes de Amido/Poli (Butileno Adipato Co-Tereftalato) PBAT. Adicionados de Tween 80 e Óleo de Soja”, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 270-275, 2013.

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

CIRIMINNA, R.; MENEGUZZO, F.; DELISI, R.; E PAGLIARO, M. Citric acid: Emerging applications of key biotechnology industrial product. **Chemistry Central Journal**, v.11, p.22, 2017.

CLAVIJO, J. Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). Universidad de América. **Revista Elementos**, v.1, n.3, 2013.

CORREIA, P.R.C.; RAMOS, I.G.; VIANA, A.C.; MASCARENHAS, A.J.S.; SANTANA, A.E.G.; GOULART, H.F.; DRUZIAN, J.I. Development of composite membrane PBAT: Zeolite Y for application as rhynchophorol release system. **Journal of Applied Polymer Science**, v.135, n.5, p.45757, 2017.

COSTA, E.K.C.; DE SOUZA, C.O.; DA SILVA, J.B.A.; DRUZIAN, J.I. Hydrolysis of part of cassava starch into nanocrystals leads to increased reinforcement of nanocomposite films. **Journal of Applied Polymer Science**, v.134, n.41, p.45311, 2017.

DE CAMPOS, S. S.; DE OLIVEIRA, A.; MOREIRA, T. F. M.; DA SILVA, T. B. V.; DA SILVA, M. V.; PINTO, J. A.; BILCK, A.P.; GONÇALVES, O.H.; FERNANDES, I.P.; BARREIRO, M.F.; YAMASHITA, F.; VALDERRAMA, P.; SHIRAI, M.A.; LEIMANN, F.V. TPCS/PBAT blown extruded films added with curcumin as a technological approach for active packaging materials. **Food Packaging and Shelf Life**, v.22, n.1, p100424, 2019.

DE SANTANA, M.C.C.B.; MACHADO, B.A.S.; DA SILVA, TAMARA DO NASCIMENTO.; NUNES, I.L.; DRUZIAN, J.I. The incorporation of annatto as antioxidant additive based biodegradable packaging chitosan. **Ciência Rural**, v.43, n. 3, p. 544-550, 2013.

DEQUIGIOVANNI, G.; RAMOS, S.L.F.; ALVES PEREIRA, A.; FABRI, PICANCO-RODRIGUES, E.G.; D.; CLEMENT, C.R.; GEPTS, P.; VEASEY, E.A. Highly structured genetic diversity of *Bixa orellana* var. *urucurana*, the wild ancestor of annatto, in Brazilian Amazonia, **Open Science Journal** v.13, n.1, p. 2018.

DOBRUCKA, R.; CIERPISZEWSKI, R.; Active and intelligent packaging food – research and development – a review. Polish. **Journal of Food and Nutrition Sciences**, v.64, p. 7–15, 2014.

DOMÍNGUEZ, R.; BARBA, F. J.; GÓMEZ, B.; PUTNIK, P.; BURSAĆ KOVAČEVIĆ, D.; PATEIRO, M.; LORENZO, J. M. Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. **Food Research International**, v.113, n.1, p.93–101, 2018.

FANG, Z.; ZHAO, Y.; WARNER, R. D.; JOHNSON, S. K. Active and intelligent packaging in meat industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 61, n. 2, p. 60–71, 2017.

FRANCO, C. F. O. Mercado de urucum (*Bixa orellana* L.) no Brasil. Artigo da Empresa Estadual de Pesquisa Agropecuária da Paraíba. Disponível em: Acesso em: 14 set. 2019.

GALGANO, F. Biodegradable packaging and edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. **Italian Journal of Food Science**, v. 27, n.1, 2015.

GEYER, R., JAMBECK, J. R., LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v.3, n7, p.700782, 2017.

GHIRALDI, E. Corantes naturais mais comumente usados na indústria de alimentos.

GIRIDHA, P.; VENUGOPALAN, A.; E PARIMALAN, R. Review on annatto dye extraction, analysis and processing: A Food Technology Perspective. **Journal of Scientific Research e Reports**, v. 3, n.2, p. 327-348, 2014.

GIRIDHAR, P.; VENUGOPALAN, A.; E PARIMALAN, R. A Review on Annatto Dye Extraction, Analysis and Processing – A Food Technology Perspective. **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 3, n. 2, p. 327-348, 2014.

HORN, M. M. Blendas e filmes de quitosa/amido: estudo da influência da adição de polióis, oxidação do amido e razão amilose/amilopectina nas suas propriedades. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química de São Carlos – Universidade de São Paulo – São Carlos, p.147, 2012.

IBGE.Instituto ((Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2015.

INGRAO, C.; GLIGLI, M.; E SIRACUSA, V. An attributional life cycle assessment application experience to highlight environmental hotspot in the production of foamy polylactid acid trays for fresh-food packaging usage. **Journal of cleaner production**, v. 150, p. 93-103, 2017.

JAMSHIDIAN, M.; TEHRANY, E. A.; IMRAN, M.; AKHTAR, M. J.; CLEYMAND, F.; E DESOBRY, S. Structural, mechanical and barrier properties of active PLA–antioxidant films. **Journal of Food Engineering**, v.110, n.3, p.380–389, 2012.

KLOSS, J. R. Síntese e caracterização de poliuretanos biodegradáveis à base de poli (ϵ -caprolactona), 203f. Dissertação (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

KONRAD, E.C.G.; TARSITANO, M.A.A.; COSTA, S.M.A.L. Análise econômica da cultura do urucum (bixa orellana) em adamantina, sp. **Cultura Agrônômica**, v.24, n.1, p.93-102, 2015.

LEAL, I. L.; DA SILVA ROSA, Y. C.; DA SILVA PENHA, J., CRUZ CORREIA, P. R.; DA SILVA MELO, P.; GUIMARÃES, D. H.; BARBOSA, J.D.V.; DRUZIAN, J.I.; MACHADO, B. A. S. Development and application starch films: PBAT with additives for evaluating the shelf life of Tommy Atkins mango in the fresh-cut state. **Journal of Applied Polymer Science**, v.136, n.1, p. 48150, 2019.

LEAL, I. L.; SILVA, R. Y. C.; SILVA, P. J.; CRUZ, C. P. R.; SILVA, M. P.; GUIMARÃES, D.H.; BARBOSA, J. D. V.; DRUZIAN, J. I.; MACHADO, B. A. S. Development and application starch films: PBAT with additives for evaluating the shelf life of Tommy Atkins mango in the fresh-cut state. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 1, n. 1, p. 1-19, 2019.

LEIMANN, F. V.; GONÇALVES, O. H.; SAKANAKA, L. S.; AZEVEDO, A. S. B.; LIMA, M. V.; BARREIRO, F.; E SHIRAI, M. A. Active Food Packaging From Botanical, Animal, Bacterial, and Synthetic Sources. **Food Packaging and Preservation**, v.1, p.87–135, 2018.

LEMMA, F.; PUOCI, F.; VINCI, G.; PICCI, N. New EU regulation aspects and global market of active and inteligente packaging for food industry applications. **Food Control**, v.21, n.1, p.1425– 1435, 2010.

LÓPEZ, M.H.; PACHECO, Z.N.C.; BAÑOS, S.B.; AVEJAR, L.Z.; JIMÉNEZ, J.J.B.; GUTIÉRREZ, M.A.S.; E GUDIÑO, P.O. Bio-based composite fibers from pine essential oil and PLA/PBAT Polymer blend. Morphological, physicochemical, thermal and mechanical characterization. **Materials Chemistry and Physics**, v.234, n.1, p.345–353, 2019.

LUSIANA, R. A.; SISWANTA, D.; E MUDASIR, M. Preparation of Citric Acid Crosslinked Chitosan/Poly (Vinyl Alcohol) Blend Membranes for Creatinine Transport. *Indonesian Journal of Chemistry*, v.16, n.2, p.144–150, 2016.

MAJID, I.; AHMAD NAYIK, G.; MOHAMMAD DAR, S.; E NANDA, V. Novel food packaging technologies: Innovations and future prospective. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, 2016.

MENSITIERI, G.; DI MAIO, E.; BUONOCORE, G.G.; NEDI, I.; OLIVIERO, M.; SANSONE, L.; IANNACE, S. Processing and shelf-life issues of selected food packaging materials and structures from renewable resources. **Trends in Food Science and Technology**, v. 22, p. 72–80, 2011.

MERCADANTE, A.; PFANDER, H. Carotenoids from annatto: a review. *Recent Research Developments in Agriculture and Food Chemistry*, v.2, n.1, p.79-91,1998.

MONDAL, D.; BHOWMICK, B.; MOLLICK, M. M. R.; MAITY, D.; RANJAN SAHA, N.; RANGARAJAN, V.; RANA, D.; SEN, R.; CHATTOPADHYAY, D. Antimicrobial activity and biodegradation behavior of poly (butylene adipate-co-terephthalate)/clay nanocomposites. **Journal of Applied Polymer Science**, v.131, n.7, p. 40079, 2013.

MOREIRA, P.A.; LINS, J.; DEQUIGIOVANNI, G.; VEASEY, E.A.; CLEMENT, C.R. The mestication of annatto (*Bixa orellana*) from *Bixa urucurana* in Amazonia, **Economic Botany**, v.69, p.127–135, 2015.

MOREIRA, P.A.; LINS, J.; DEQUIGIOVANNI, G.; VEASEY, E.A.; E CLEMENT, C.R. The Domestication of Annatto (*Bixa orellana*) from *Bixa urucurana* in Amazonia.

MOURA, L. E.; DE SOUZA, C. O.; DE OLIVEIRA, E. A. S.; LEMOS, P. V. F.; E DRUZIAN, J. I. Bioactive efficacy of low-density polyethylene films with natural additives. **Journal of Applied Polymer Science**, v.135, n.34, p.46461, 2018.

MOUSTAFA, H.; EL KISSI, N.; ABOU-KANDIL, A.I.; ABDEL-AZIZ, M.S.; DUFRESNE, A. PLA/ PBAT bionanocomposites with antimicrobial natural rosin

for green packaging. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v.9, p.20132–20141, 2017.

NAVARRO-BAENA, I.; SESSINI, V.; DOMINICI, F.; TORRE, L.; KENNY, J. M.; E PEPONI, L. Design of biodegradable blends based on PLA and PCL: From morphological, thermal and mechanical studies to shape memory behavior. **Polymer Degradation and Stability**, v.132, n.1, p. 97–108, 2016.

New microsatellite loci for annatto (*Bixa orellana*), a source of natural dyes from Brazilian Amazonia. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 18(1), 116–122. (2018).

OMRANA, M.M.; KIANI, F.; SARAEI, A.G-H.; KOOHYAR, F.; ROSTAMI, A.M. Determination and study on refractive indices and viscosities of aqueous solutions of citric acid, (citric acid+glycerol), and (citric acid+D-sorbitol) at T=293.15 K–323.15 K and atmospheric pressure. **Food Chemistry**, v.289, p.436–442, 2019.

PAGNO, C.H.; DE FARIAS, Y.B.; COSTA, T.M.H.; RIOS, A. DE OLIVEIRA.; FLORES, S.H. Synthesis of biodegradable films with antioxidant properties based. **Journal of Food Science and Technology**, v.53, n.8, p.3197–3205,2016.

PIMENTEL, F.A. Avaliação de métodos de obtenção e da estabilidade de pigmentos de sementes de urucum (*Bixa orellana* L.) 1995. 132p. **Dissertação** (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa.1995.

POLTRONIERI, M.C.; BOTELHO, S.M. Situação atual e potencialidades da cultura do urucum (*Bixa orellana* L.) na Região Norte do Brasil. In: SIMBRAU - **Simpósio Brasileiro do Urucum**. João Pessoa. 2006.

PRABHAKARA RAO. P.G.; JYOTHIRMAYI, T.; BALASWAMY, K.; SATYANARAYANA, A.; RAO, D.G. Effect of processing conditions on the stability of annatto (*Bixina orellana* L.) dye incorporated into some foods. **LWT-Food Science and Technology**, v.38, n.7, p.779-784,2005.

RAMAMOORTHY, S.; DOSS, F.P.; KUNDU, K.; SATYANARAYANA, V.S.V.; KUMAR, V. Molecular characterization of bixin – an important industrial product. **Industrial Crops and Products**, v. 32, p. 48–53, 2010.

RAMOS, F.L.S.; MIJARES, E.M. Introducción a la ciencia de los polímeros. México, Universidad de Guadalajara, ISBN: 978-607-742-418-5,2015.

REIS, M.O.; ZANELA, J.; OLIVATO, J.; GARCIA, P.S.; E GROSSMANN, M.V.E. Microcrystalline Cellulose as Reinforcement in Thermoplastic Starch/Poly (butylene adipate-co-terephthalate) Films. **Journal of Polymers and the Environment**, v.22, n.1, p. 545–552, 2014.

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

RIOS, A. DE O.; ANTUNES, L.M.G.; BIANCHI, M. DE L.P. Bixin and lycopene modulation of free radical generation induced by cisplatin–DNA interaction. **Food Chemistry** v.113, n.1, p.1113–1118, 2009.

ROBERTSON, G. L. Food Packaging Principles and Practice. CRC Press, Boca Raton, FL, 2013.

ROCHA, D.B.; DE CARVALHO, J.S.; DE OLIVEIRA, S.A.; DOS SANTOS ROSA, D. A new approach for flexible PBAT/PLA/CaCO₃ films into agriculture. **Journal of Applied Polymer Science**, v.10, n.1, p.46660, 2018.

SANTOS, A.M.P.; YOSHIDA, C.M.P. Técnico em alimentos: Embalagens. Recife: UFRPE, 2011.

SCHNEIDER, J.; MANJURE, S.; NARAYAN, R. J. reactive modification and compatibilization of poly(lactide) and poly (butylene adipate-co-terephthalate) blends with epoxy functionalized-poly(lactide) for blown film applications, **journal of applied polymer science**. v.133, n.16 p. 1-19 2016

SCOTTER, M. J.; WILSON, L. A.; APPLETON, G. P.; E CASTLE, L. Analysis of annatto (*Bixa orellana*) food coloring formulations. 1. Determination of coloring components and colored thermal degradation products by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, n.3, p.1031–1038,1998.

SEIDEL, A. Characterization and Analysis of Polymers. Wiley. <https://books.google.com.mx/books?id=IWqmp9oMTolC>, 2008.

SHANKAR, S.; RHIM, J.W. Tocopherol-mediated synthesis of silver nanoparticles and preparation of antimicrobial PBAT/silver nanoparticles composite films. **LWT - Food Science and Technology**, v.72, n.1, p.149-156, 2016.

SILVA, D. G. E LEITE, V. C. A importância da embalagem como vantagem logística: um estudo de caso. **Tekhne e Logos**, v.3, p.113-129, 2010.

SILVA, J. B. S.; SANTANA, J. S.; LUCAS, A. A.; PASSADOR, F. R.; COSTA, L. A. S. C.; PEREIRA, F. V. P. PBAT/TPS-nanowhiskers blends preparation and application as food packaging. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 26, p. 5-10, 2019.

SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; ROSA, M. D. Biodegradable polymers for food packaging: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 19, p. 634–643, 2008.

SIRIPATRAWAN, U.; E 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.

SUAZO, A. M.B. *Desarrollo de un empaque activo biodegradable para aguacate (Persea americana)*. **Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras**, 2018.

TIRIMANNA, A.S.L. Study of the carotenoid pigments of Bixa Orellana L. Seeds by thin layer chromatography. **Mikrochimica Acta**, v.76, n.1-2, p.11-16, 1981.

TORO, O.J.S.; BURITICÁ, M.C.O.; E GARCÉS, A.L.B. Citric acid production from whey by fermentation using *Aspergillus* spp. **Revista Colombiana de Biotecnología**, v.1, n.1, p.43-54, 2004.

VENKATESAN, R.; E RAJESWARI, N. ZnO/PBAT nanocomposite films: Investigation on the mechanical and biological activity for food packaging. **Polymers for Advanced Technologies**, v.28, n.1, p.20-27, 2016.

VIEIRA, M. G. A.; DA SILVA, M. A.; DOS SANTOS, L. O.; E BEPPU, M. M. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. **European Polymer Journal**, v.47, n.3, p. 254–263, 2011.

WRIGHT, S.L.; KELLY, F.J. Plastic and human health: a micro issue? **Environmental Science & Technology**. v.51, n.12, p.6634–6647, 2017.

WRONA, M.; BLASCO, S.; BECERRIL, R.; NERIN, C.; SALES, E.; ASENSIO, E. Antioxidant and antimicrobial markers by UPLC®–ESI-Q-TOF-MSE of a new multilayer active packaging based on *Arctostaphylos uva-ursi*. **Talanta**, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.12.057>.

YOUSSEF, A. M.; ASSEM, F. M.; ABDEL-AZIZ, M. E.; ELAASER, M.; IBRAHIM, O. A.; MAHMOUD, M.; E EL-SALAM, M. H. A. Development of bionanocomposite materials and its use in coating of Ras cheese. **Food chemistry**, v.270, p.467-475, 2019.

YU, Z.; LI, B.; CHU, J.; E ZHANG, P. Silica in situ enhanced PVA/chitosan biodegradable films for food packages. **Carbohydrate polymers**, v.184, p.214-220, 2018.

ZEHETMEYER, G.; MEIRA, S.M.M.; SCHEIBEL, J.M.; DE OLIVEIRA, R.V.B.; BRANDELLI, A.; E SOARES, R.M.D. Influence of melt processing on biodegradable nisin-PBAT films intended for active food packaging applications. **Journal of Applied Polymer Science**, v.133, n.13, p. 43212, 2015.

ZEMBOUAI, I.; KACI, M.; BRUZAUD, S.; BENHAMIDA, A.; CORRE, Y.M.; GROHENS, Y. A study of morphological, thermal, rheological and barrier properties of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate)/polylactide blends prepared by melt mixing. **Polymer Testing**, v. 32, p. 842– 851, 2013.

ZHONG, Y.; GODWIN, P.; JIN, Y.; E XIAO, H. Biodegradable Polymers and Green-based Antimicrobial Packaging Materials. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, Research, Research**, <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2019.11.002>.