

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo,
Câmpus Barretos**

Av. C- Um, 250 – Bairro - Res. Ide Daher, Barretos - SP, 14781-502

**Biofilmes Inteligentes: aproveitamento de subprodutos da indústria
alimentícia para inovações em embalagens**

Relatório do Projeto para BRAGANTEC
Nome do(s) Aluno(s): Nathalia Vieira Barroti
Início do projeto: 01/04/2025
Término do projeto: 16/08/2026

Orientador: Gisandro de Reis Carvalho
Co-orientador: Flávio Thihara Rodrigues

Barretos – SP 2025

Sumário

Resumo	2
Introdução	3
Objetivos e relevância do trabalho	4
Metodologia	5
5.1 Preparo dos biofilmes	6
5.2 Caracterização dos biofilmes	7
5.3 Cronograma	8
5.4 Custos	9
Resultados e discussões	9
Conclusão	10
Referências	11
Anexos	12
Figura A1 – BF2 com 2% de amido antes da secagem completa	12
Figura A2 – BF2 com 4% de amido totalmente seca	13
Figura A3 – BF2 com 4% de amido após remoção de pedaços	13
Figura A4 – BF2 sem adição de amido	14

1. Resumo

A geração e gerenciamento de resíduos, principalmente inorgânicos, é uma das maiores preocupações da atualidade. Os plásticos são um dos principais responsáveis pela contaminação do meio ambiente, principalmente com relação à contaminação por microplásticos. O bagaço de malte é um subproduto da indústria cervejeira que, por sua vez, tem papel fundamental no Brasil e no mundo, tanto em volume de produção quanto em valor comercial. Devido à composição do bagaço de malte, pode ser considerado uma fonte potencial de proteínas e fibras que podem ser reutilizados para a produção de biofilmes. As antocianinas são compostos bioativos que têm a capacidade de mudar de cor dependendo do pH do meio, podendo ser incorporadas em biofilmes para este fim. A casca de uva é um subproduto da indústria de suco e vinho que apresenta uma grande quantidade de antocianinas. Logo, o presente projeto visa produzir biofilmes utilizando materiais orgânicos e subprodutos da agroindústria como o bagaço de malte e a casca de uva como fonte de antocianinas. Biofilmes serão produzidos com diferentes composições de bagaço de malte, proteína do malte e antocianinas e, posteriormente caracterizados

com relação a espessura, solubilidade, transparência, propriedades mecânicas e de barreira e sensibilidade ao pH.

2. Introdução

Os plásticos promoveram uma revolução na indústria. Para a indústria de alimentos, promoveram o desenvolvimento de diversos tipos de embalagens, para diferentes tipos de produtos, de forma a reduzir os custos na produção do alimento, facilitar o transporte, a logística e o armazenamento e torná-lo mais acessível. Na categoria de embalagens plásticas, tem-se os filmes plásticos, que possuem diversas aplicações e, consequentemente, têm uma grande importância na indústria de alimentos e em geral. Entretanto, os plásticos são produzidos a partir de matérias primas inorgânicas e provenientes principalmente do petróleo, fonte não renovável e que gera materiais extremamente resistentes à degradação, podendo permanecer centenas de anos no meio ambiente (Jacobs et al., 2020), tornando o plástico o principal resíduo sólido do planeta. Por consequência, a contaminação por microplásticos é uma preocupação crescente e já está presente no solo, águas, em animais, alimentos e, inclusive, no organismo humano. Os biofilmes surgiram como alternativa para substituir os filmes plásticos habituais, pois podem ser produzidos de forma que sejam biodegradáveis, sendo essenciais para mitigar os danos ao meio ambiente e à saúde. Adicionalmente, o desenvolvimento de biofilmes a partir de matérias primas alimentícias, como o amido, proteínas e de subprodutos da indústria de alimentos e bebidas surgiu como uma alternativa, que estimula uma economia circular. A produção de biofilmes pode ser realizada a partir de matérias primas renováveis de baixo custo, subprodutos e resíduos, consequentemente tornando o processo mais sustentável. O bagaço de malte (BSG) é um subproduto da indústria cervejeira que, por sua vez, se destaca no Brasil e no mundo. Normalmente utilizado na fabricação de ração animal, o bagaço de malte apresenta uma composição rica em proteínas (15 a 25%), celulose (15 a 25%), hemicelulose (5 a 20%) e lignina (11 a 28%) (Ikram et al., 2017), podendo ser uma matéria prima com potencial para a produção de biofilmes, o que agregaria valor a este subproduto (Shrotri e Saini, 2022). Outra abordagem que pode ser utilizada é a produção de biofilmes ativos ou inteligentes, que podem ser adicionados de algum composto ou tecnologia, apresentando então uma interação com os alimentos. Isto pode melhorar a conservação ou até fornecer informações sobre a condição do produto, em relação à sua perecibilidade, qualidade e segurança para o consumo (Teixeira et al., 2021). As antocianinas são pigmentos naturalmente presentes em alimentos com atividade antioxidante e que têm apresentado uma funcionalidade promissora na aplicação em biofilmes.

As antocianinas podem apresentar variação na coloração, sendo geralmente vermelha em pH ácido, roxa/violeta em pH neutro e verde/amarela em pH básico, dependendo da fonte da qual é extraída. Dessa forma, as antocianinas podem ser utilizadas como indicativo de pH e, conseqüentemente, possíveis alterações relacionadas à deterioração do produto. Adicionalmente, as antocianinas apresentam atividade antioxidante, o que pode favorecer na conservação dos alimentos, retardando a oxidação lipídica, por exemplo. Alguns estudos aplicaram antocianinas de diferentes fontes na produção de biofilmes, obtendo resultados promissores (Vedove et al., 2021; Chumee et al., 2022; Gravier-Rodríguez et al., 2023). Além disso, as antocianinas também podem ser extraídas de subprodutos da indústria de alimentos e bebidas, como por exemplo da casca da uva, de tortas de filtro, entre outros, fazendo com que um possível resíduo tenha valor agregado e, conseqüentemente, o impacto ambiental seja reduzido. Portanto, a elaboração de biofilmes de bagaço de malte incorporados com antocianinas extraídas da casca da uva pode apresentar uma alternativa para utilização de dois subprodutos de importantes setores da indústria de alimentos e bebidas, resultando em uma aplicação tecnologicamente avançada de uma embalagem inteligente e ativa, que promove a sustentabilidade, a economia circular, além de diminuir a dependência do uso de filmes plásticos provenientes de matérias primas inorgânicas e não renováveis, reduzindo o impacto ambiental e à saúde destes produtos.

3. Objetivos e relevância do trabalho

Objetivo geral: Elaborar e avaliar biofilmes inteligentes a partir de bagaço de malte adicionados de antocianinas extraídas da casca de uva

Objetivos específicos:

1. Avaliar a extração e o potencial colorimétrico das antocianinas da casca de uva
2. Caracterizar o bagaço de malte com relação à composição
3. Elaborar biofilmes de bagaço de malte com e sem a adição de antocianinas
4. Caracterizar os biofilmes com relação às propriedades físicas e tecnológicas
5. Avaliar a aplicação do biofilme como identificador de alteração em alimentos
6. Investigar o efeito conservante do biofilme

Relevância e fundamentação

Diversos estudos têm destacado o potencial de subprodutos da indústria de alimentos e bebidas como matrizes para o desenvolvimento de biofilmes (Ikram et al., 2017; Shroti e Saini, 2022). No entanto, observa-se que o aproveitamento do bagaço de malte para essa finalidade ainda é pouco explorado, sobretudo considerando sua ampla disponibilidade no Brasil, país com forte produção cervejeira. A utilização desse resíduo, portanto, além de agregar valor a um

material subaproveitado, insere-se no conceito de economia circular e pode representar uma alternativa de menor custo em comparação a outras matérias-primas renováveis.

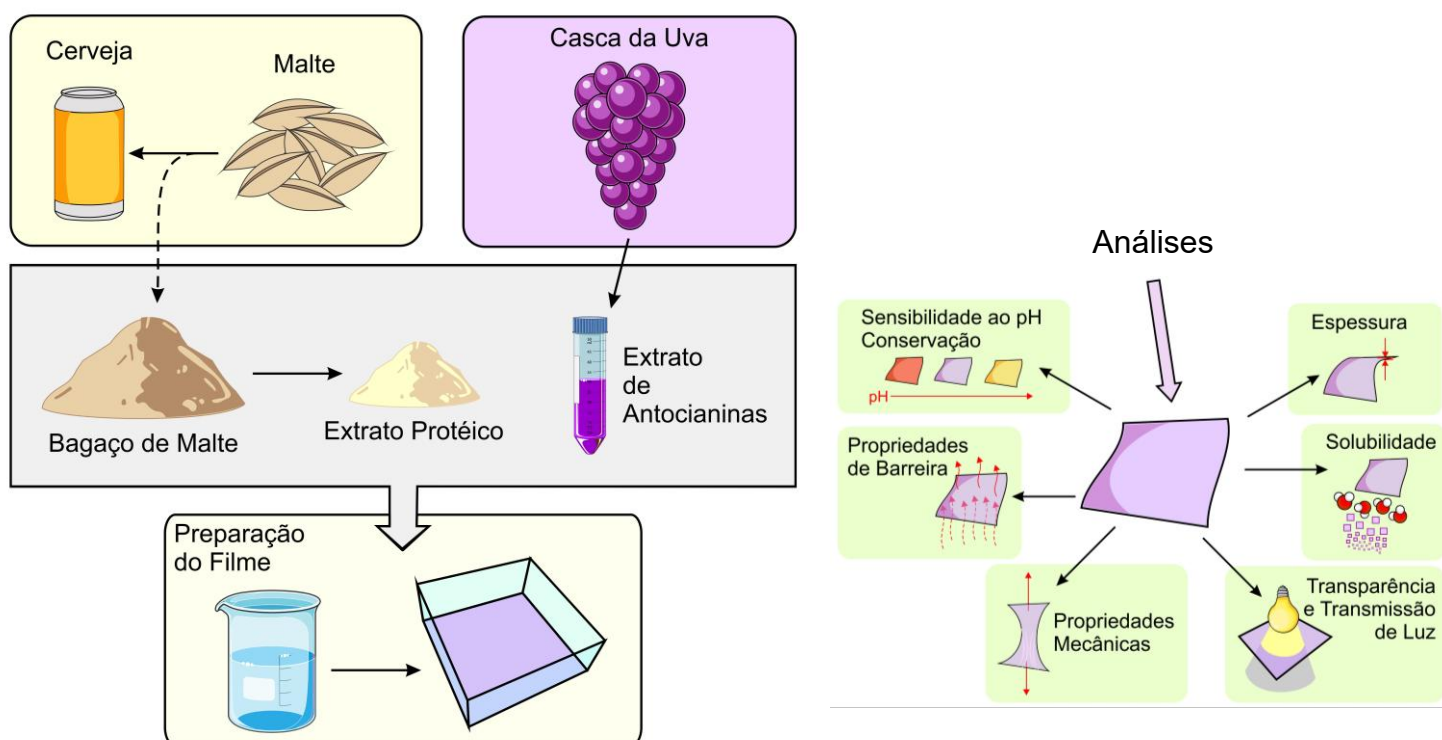
Do ponto de vista funcional, a literatura demonstra que a incorporação de compostos bioativos pode transformar biofilmes em materiais ativos ou inteligentes, capazes de interagir com os alimentos embalados (Teixeira et al., 2021). Entre os compostos estudados, as antocianinas apresentam especial destaque devido à sua sensibilidade ao pH e à capacidade de atuar como sensores colorimétricos, propriedade já validada em diferentes matrizes poliméricas (Vedove et al., 2021; Chumee et al., 2022; Gravier-Rodríguez et al., 2023). Entretanto, a aplicação conjunta de bagaço de malte e antocianinas extraídas da casca de uva ainda carece de investigação sistemática.

Dessa forma, este trabalho apresenta relevância científica ao propor a elaboração de biofilmes que unem duas frentes inovadoras: (i) a valorização de um subproduto agroindustrial abundante, o bagaço de malte, e (ii) o uso de antocianinas como agentes colorimétricos e antioxidantes em embalagens. Além de contribuir para a redução do impacto ambiental causado pelos plásticos convencionais (Jacobs et al., 2020), a proposta busca ampliar o conhecimento sobre formulações alternativas de biofilmes e oferecer uma solução viável e sustentável para a indústria de alimentos.

4. Metodologia

A Figura 1 ilustra resumidamente o que será realizado no presente projeto para a produção dos biofilmes de bagaço de malte incorporados com antocianinas.

FIGURA 1 – Representação da metodologia utilizada para produção de biofilmes e avaliação das propriedades



As matérias primas utilizadas no presente projeto serão o bagaço de malte (de preferência malte pilsen), obtido em cervejarias da cidade ou da região de Barretos-SP. Dependendo da condição em que o bagaço de malte se encontre, ele será submetido a secagem em estufa, para garantir estabilidade do material.

O bagaço de malte será caracterizado com relação ao teor de proteínas, determinado pelo método de Kjeldahl, teor de umidade, determinado pelo método gravimétrico, por secagem em estufa à 105 °C.

A preparação dos filmes de bagaço de malte será realizada seguindo duas abordagens: i) com o bagaço em sua composição integral e ii) somente com a proteína extraída do bagaço de malte.

Para a preparação dos biofilmes com o bagaço integral, este será triturado finamente, peneirado e armazenado em sacos herméticos até a utilização. Para a preparação dos biofilmes apenas com a proteína do malte, um processo de extração será realizado, de acordo com o método descrito por Shrotri e Saini (2022).

O extrato de antocianinas será obtido a partir de cascas de uvas. As cascas serão separadas da polpa, armazenadas em sacos plásticos selados e congeladas até serem utilizadas. Antes da extração, as cascas serão descongeladas à temperatura ambiente.

Para a extração, as cascas serão colocadas sob agitação em etanol 50%, em uma razão de 1:4,5 (sólido:líquido), na temperatura de 50 °C por 30 minutos. A solução será então filtrada e o extrato será liofilizado e armazenado em sacos herméticos (Corrales et al., 2009)

4.1 Preparo dos biofilmes

Os biofilmes de bagaço de malte incorporados com antocianinas serão produzidos preparando uma solução formadora contendo os constituintes mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações utilizadas nas preparações dos biofilmes de bagaço de malte incorporados com antocianinas

Formulação	BM (%)	PE (%)	AC (%)	Plastificante (%)
BF1	10	0	0	30
BF2	10	0	5	30
BF3	10	0	10	30
BF4	5	5	0	30
BF5	5	5	5	30
BF6	5	5	10	30

BF7	0	10	0	30
BF8	0	10	5	30
BF9	0	10	10	30

BM = Bagaço de malte; PE = Proteína extraída do bagaço de malte; AC = Antocianinas da casca de uva.

*As porcentagens dos constituintes serão em m/m. O agente plastificante utilizado será glicerina.

A solução formadora do filme será produzida pela dispersão do bagaço de malte e/ou da proteína e o extrato de antocianinas em água destilada à 25 °C. A solução será aquecida à 80 °C por 30 minutos, e o plastificante será adicionado. A solução final será então resfriada à 25 °C e despejada (cerca de 50 mL) em recipientes de acrílico que serão armazenados em uma superfície nivelada, onde o filme será seco à 30 °C e 55 % HR, por 24 horas. Os filmes secos serão removidos dos recipientes e acondicionados para posteriores caracterizações e análises.

Observação metodológica: durante os testes preliminares, verificou-se que as formulações iniciais não resultaram na formação adequada do filme. Dessa forma, adicionou-se amido às formulações, a fim de promover a gelatinização e conferir maior coesão à matriz polimérica, possibilitando a obtenção de biofilmes contínuos e manipuláveis.

4.2 Caracterização dos biofilmes

Os biofilmes produzidos serão caracterizados de acordo com algumas propriedades descritas a seguir.

1. Espessura do filme

A espessura será medida com um micrômetro em seis pontos aleatórios do filme. Os valores obtidos da espessura serão utilizados para calcular a permeabilidade e as propriedades mecânicas.

2. Solubilidade

A solubilidade dos filmes será determinada através da imersão de pedaços de 3 x 3 cm em água destilada sob agitação a 200 RPM por 6 horas. A solubilidade será reportada (em %) como a diferença entre a matéria seca inicial e final, com relação à matéria seca inicial.

3. Transparência

A transmissão de luz dos filmes será medida em diferentes comprimentos de onda (200 a 800 nm), usando um espectrofotômetro. A transparência é dada pela razão entre a absorbância em 600 nm (A_{600}) e a espessura do filme, em mm (Hamaguchi et al., 2007).

4. *Propriedades mecânicas*

Propriedades mecânicas dos filmes serão analisadas de acordo com o teste de tração mecânica onde será avaliado o perfil de deformação em função da tensão aplicada e o teste de punctura, avaliado a força necessária para perfuração do filme. Os dois testes serão realizados em um texturômetro, conforme metodologias específicas.

5. *Propriedades de barreira*

As propriedades de barreira do biofilme serão determinadas colocando CaCl_2 anidro em um recipiente tampado pelo biofilme com auxílio de um selante. O recipiente será colocado em um dessecador com uma solução saturada de cloreto de sódio. O dessecador será mantido à 30 °C e umidade relativa de 70 %.

O peso do recipiente contendo CaCl_2 será registrado ao longo do tempo de armazenamento. A partir do registro do peso do recipiente, a taxa de transmissão de vapor de água será determinada.

6. *Sensibilidade ao pH*

A análise dos biofilmes com relação à sensibilidade ao pH será realizada para avaliar a mudança de cor devido à presença de antocianinas na composição. Com a presença das antocianinas, em diferentes valores de pH, os biofilmes mudam de cor, atuando como indicadores de pH.

O teste será realizado colocando pedaços do biofilme em contato com soluções de diferentes pH (de ácido a básico). A cor do filme será registrada, assim como qual formulação apresentará maior sensibilidade e mudança de cor com a mudança do pH.

As antocianinas obtidas da casca de uva foram submetidas a soluções com diferentes valores de pH e a coloração apresentada foi observada. Alternativamente, foi avaliada uma fonte alternativa de antocianinas, o repolho roxo, que apesar de não ter sido o objetivo inicial do projeto, foi analisada como uma opção para diferentes colorações das antocianinas, que podem ser interessantes para embalagens de alimentos.

4.3 Cronograma:

Cronograma de execução do projeto

Etapa	Ma r	Ab r	Ma i	Ju n	Ju l	Ag o	Se t	Ou t
Definição do tema	X	X						
Pesquisa bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	
Obtenção dos subprodutos a serem utilizados no projeto		X	X	X	X			
Caracterização dos subprodutos			X	X	X			
Elaboração dos biofilmes de bagaço de malte com antocianinas					X	X		
Caracterização dos filmes					X	X	X	
Apresentação dos resultados na feira								X

4.4 Custos:

Considerando que a maior parte dos materiais e equipamentos foram disponibilizados pelo laboratório da instituição, os custos diretos do projeto se restringiram à aquisição das uvas da variedade Vitória (duas caixas, utilizadas para a extração das antocianinas), das placas acrílicas empregadas no preparo dos biofilmes, dos sacos herméticos utilizados para o armazenamento das amostras e da glicerina Synth, utilizada como plastificante. O custo estimado total foi de aproximadamente **R\$ 140,00**, caracterizando-se como um projeto de baixo investimento financeiro e alta viabilidade prática.

6. Resultados e discussões

Apesar de alguns desafios iniciais para a obtenção do bagaço de malte, parte do material já foi coletada, pré-processada para garantir estabilidade e utilizada na produção dos biofilmes. Antes da aplicação, o bagaço foi moído e uma fração reservada para posterior caracterização quanto ao teor de umidade e proteínas, parâmetros relevantes para avaliação de seu potencial como matriz biopolimérica. Estudos prévios indicam que resíduos agroindustriais ricos em fibras e proteínas, como o bagaço, podem ser aproveitados na formulação de biofilmes sustentáveis (JACOBS et al., 2020).

Nos ensaios de formulação, observou-se a necessidade de adição de amido para promover gelatinização. Na formulação BF2, foram adicionados 4% de amido, o que resultou em um biofilme espesso, de difícil manuseio e secagem prolongada. Com base nessa limitação, novas formulações foram testadas com 2% de amido, apresentando menor viscosidade da matriz e formação mais adequada do filme.

Adicionalmente, testes exploratórios realizados com a formulação BF2, contendo extrato de antocianinas, evidenciaram a mudança de coloração do biofilme após a adição de NaOH, variando para verde escuro. Esse resultado confirma a capacidade de incorporação do corante natural na matriz de bagaço e sua sensibilidade frente a variações

de pH, característica essencial para aplicação em biofilmes inteligentes de monitoramento da qualidade de alimentos (CHUMEE et al., 2022; CORRALES et al., 2009).

Outro ponto relevante foi a análise das fontes de antocianinas utilizadas. Conforme apresentado na Tabela 2, as soluções obtidas a partir da casca de uva apresentaram concentrações significativamente maiores de antocianinas em relação ao repolho roxo, o que está de acordo com dados da literatura: cascas de uvas tintas podem conter entre 30 e 750 mg de antocianinas por 100 g, enquanto o repolho roxo apresenta cerca de 63 a 100 mg por 100 g (CHUMEE et al., 2022; CORRALES et al., 2009). Essa diferença favorece o uso da casca de uva para incorporação nos biofilmes, uma vez que proporciona colorações mais intensas e variações de pH mais facilmente detectáveis.

TABELA 2. Coloração das soluções de antocianinas obtidas de Uva Vitória e de Repolho Roxo em diferentes valores de pH.

Casca de Uva Vitória	pH	3,08	4,10	5,02	5,41*	7,02	7,95	8,94	10,50	11,98
	Cor									
Repolho Roxo	pH	3,45	3,69	6,51*	7,99	9,15	12,99	13,76		
	Cor									

*pH inicial da solução

De modo geral, os resultados preliminares reforçam que o bagaço de malte apresenta potencial como material de baixo custo e sustentável para produção de biofilmes. Os principais desafios ainda se concentram na padronização da espessura e no tempo de secagem. No entanto, esses fatores que podem ser solucionados, por exemplo, com a utilização de estufa a 35 °C por dois dias, como sugerido por Jacobs et al. (2020). Assim, o aproveitamento do bagaço de malte não apenas reduz impactos ambientais, mas também amplia as perspectivas de inovação na área de embalagens biodegradáveis e inteligentes.

7. Conclusão

Embora o projeto ainda esteja em andamento, os resultados preliminares indicam que os objetivos relacionados ao aproveitamento do bagaço de malte como matriz para biofilmes foram parcialmente alcançados. A aquisição, pré-processamento e moagem do bagaço foram realizadas com sucesso, garantindo a disponibilidade da principal matéria-prima e possibilitando a produção dos biofilmes.

A hipótese de que o bagaço de malte pode ser utilizado como base para biofilmes sustentáveis e inteligentes foi parcialmente confirmada. Observou-se que a adição de amido é

essencial para promover a gelatinização e formar filmes contínuos; na formulação BF2, 4% de amido gerou filmes espessos e de difícil manuseio, enquanto 2% apresentou melhor consistência, indicando a necessidade de otimização da composição para cada aplicação. Além disso, a incorporação de antocianinas permitiu a observação de mudanças cromáticas em resposta a NaOH, demonstrando a viabilidade do desenvolvimento de biofilmes inteligentes utilizando o bagaço como matriz.

Os próximos passos do projeto incluem:

1. Otimizar a concentração de amido para padronizar a espessura e o tempo de secagem dos biofilmes.
2. Realizar caracterizações detalhadas das propriedades físico-químicas, mecânicas e de barreira dos filmes.
3. Avaliar a aplicação prática em alimentos reais, testando estabilidade, sensibilidade a pH e capacidade de indicar deterioração.

Portanto, os resultados parciais reforçam o potencial do bagaço de malte como material de baixo custo e sustentável para produção de biofilmes biodegradáveis e inteligentes, contribuindo para a inovação em embalagens alimentícias e redução do impacto ambiental associado ao uso de plásticos convencionais.

8. Referências

CHUMEE, J.; KUMPUN, S.; NIMANONG, N.; BANDITAUBOL, N.; OHAMA, P. Colorimetric biofilm sensor with anthocyanin for monitoring fresh pork spoilage. *Materials Today: Proceedings*, v. 65, p. 2467-2472, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.07.103>.

CORRALES, M.; GARCÍA, A. F.; BUTZ, P.; TAUSCHER, B. Extraction of anthocyanins from grape skins assisted by high hydrostatic pressure. *Journal of Food Engineering*, v. 90, n. 4, p. 415-421, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.003>.

GRAVIER-RODRÍGUEZ, G.; JURADO-BASANTE, S.; ARIAS-CONTRERAS, A. N.; CASTILLO, O. J. G.; PORRAS, A.; DEL PILAR SÁNCHEZ-CAMARGO, A. Ultrasound-assisted extraction of anthocyanins from Andean blackberry and their use as an indicator in sustainable smart biofilms developed with cocoa bean shells as natural fiber-filled PLA composite materials. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 40, p. 101165, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101165>.

HAMAGUCHI, P. Y.; WUYIN, W.; TANAKA, M. Effect of pH on the formation of edible films made from the muscle proteins of Blue marlin (*Makaira mazara*). *Food Chemistry*, v. 100, n. 3, p. 914-920, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.045>.

IKRAM, S.; HUANG, L.; ZHANG, H.; WANG, J.; YIN, M. Composition and nutrient value proposition of brewers spent grain. *Journal of Food Science*, v. 82, n. 10, p. 2232-2242, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13794>.

JACOBS, V.; SOUZA, F. S.; HAMM, J. B. S.; MANCILHA, F. S. Produção e caracterização de biofilmes de amido incorporados com polpa de acerola. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, v. 21, n. 3, p. 107-119, 2020.

SHROTI, G. K.; SAINI, C. S. Development of edible films from protein of brewer's spent grain: effect of pH and protein concentration on physical, mechanical and barrier properties of films. *Applied Food Research*, v. 2, n. 1, p. 100043, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100043>.

TEIXEIRA, S. C.; SOARES, N. D. F. F.; STRINGHETA, P. C. Desenvolvimento de embalagens inteligentes com alteração colorimétrica incorporadas com antocianinas: uma revisão crítica. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 24, e2021033, 2021.

VEDOVE, T. M.; MANIGLIA, B. C.; TADINI, C. C. Production of sustainable smart packaging based on cassava starch and anthocyanin by an extrusion process. *Journal of Food Engineering*, v. 289, p. 110274, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110274>.

9. Anexos



Figura A1. BF2 com 2% de amido, antes da secagem completa. Observa-se o filme ainda úmido e em processo de gelatinização.



Figura A2. BF2 com 4% de amido, totalmente seca. Filme contínuo, porém espesso, evidenciando a necessidade de otimização da concentração de amido.



Figura A3. BF2 com 4% de amido após remoção de alguns pedaços para análise. Na parte restante, foi pingado NaOH, resultando em coloração verde em alguns pontos, indicando sensibilidade ao pH devido às antocianinas.



Figura A4. BF2 sem adição de amido, seca por fora e úmida por dentro. Observa-se que a matriz não formou filme contínuo, evidenciando a importância do amido para gelatinização.