

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS

SANDRA GOMES DE AMORIN

EMBALAGENS EXPANDIDAS DE AMIDO:
INFLUÊNCIA DO BAGAÇO DE MALTE, GLICEROL E FOSFATO TRICALCICO
NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

LARANJEIRAS DO SUL

2023

SANDRA GOMES DE AMORIN

**EMBALAGENS EXPANDIDAS DE AMIDO:
INFLUÊNCIA DO BAGAÇO DE MALTE, GLICEROL E FOSFATO TRICALCICO
NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para a obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Vania Zanella Pinto

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Cláudia Simone Madruga Lima

LARANJEIRAS DO SUL

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Amorin, Sandra Gomes de

Embalagens expandidas de amido:: influência do bagaço de malte, glicerol e fosfato tricálcico nas características físicas / Sandra Gomes de Amorin. -- 2023.

51 f.

Orientadora: Doutora Vania Zanella Pinto

Co-orientadora: Doutora Cláudia Simone Madruga Lima
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laranjeiras do Sul, PR, 2023.

1. Embalagens expandidas. 2. Biodegradavel. 3. Resíduos agroindustriais. I. Pinto, Vania Zanella, orient. II. Lima, Cláudia Simone Madruga, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

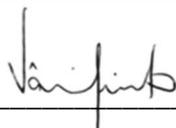
SANDRA GOMES DE AMORIN

**EMBALAGENS EXPANDIDAS DE AMIDO:
INFLUÊNCIA DO BAGAÇO DE MALTE, GLICEROL E FOSFATO TRICALCICO
NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Dissertação apresentada para o Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para a obtenção do título de mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Esta dissertação foi apresentada e aprovada pela banca em:

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Dr.^a Vania Zanella Pinto-UFFS
Orientadora

Dr.^a Barbara Biduski
Avaliadora

Prof. Dr. Ernesto Quast
Avaliador

Dedico essa dissertação ao meu marido
Rafael meu apoiador incondicional e as
minhas filhas Valentina e Isabela que
são as minhas inspirações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pela paciência e compreensão que tiveram comigo nesses últimos anos, em especial ao meu companheiro Rafael que me apoiou e incentivou para o término dessa dissertação. As minhas filhas Valentina e Isabela obrigada por existirem e serem a minha razão de viver.

Agradeço a minha orientadora Vânia, pela compreensão e apoio para a realização desse trabalho. Obrigada pelo apoio e por todo o conhecimento transmitido nesses anos.

Aos meus colegas Luan e Thayla, obrigada por toda a ajuda na realização das análises, tudo só foi possível graças à colaboração de vocês.

Agradecimento especial a minha banca pelas contribuições para melhora deste trabalho.

Meu agradecimento a Fundação Araucária pela bolsa e apoio a esta pesquisa.

Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para o que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas graças a Deus, não sou o que era antes. (Marthin Luther King)

RESUMO

As embalagens expandidas de amido são uma alternativa ao poliestireno expandido (EPS) pois são materiais renováveis e biodegradáveis. No entanto, resistência à água, boa flexibilidade e resistência à tração e flexão são necessárias para usos como embalagens alimentícias e não alimentícias, o que falta às espumas de amido, em comparação com derivados à base de petróleo. Aliado a isso, a revalorização de resíduos agroindustriais se faz necessária para a sustentabilidade da cadeia produtiva de alimentos. Os resíduos de origem vegetal são ricos em compostos lignocelulose e podem melhorar algumas das propriedades das embalagem expandidas de amido. Objetivou-se avaliar a influencia do bagaço de malte, glicerol e fosfato tricalcio na elaboração de bandejas expandidas de amido. O antiuementante fosfato tricalcico (0-5%), o plastificante glicerol (0-5%) e o reforço de bagaço de malte (0-10%) foram utilizados em um planejamento multivariado para desenvolver bandejas expandidas de amido produzidas por expansão térmica. As variáveis resposta foram a densidade (g/cm^3), higroscopicidade (%) e umidade (%), capacidade de absorção de água (CAA), resistência a flexão (MPa) e deflexão máxima (mm), por teste de ruptura de três pontos e resistência à tração (MPa), alongamento (%) e módulo de elasticidade (MPa) por tração. A densidade variou de 0,1577 a 0,2356 g/cm^3 , sendo que as bandejas sem o bagaço de malte obtiveram menor densidade. A resistência à tração variou de 0,369 MPa a 1,454 MPa, sendo influenciada pela adição do fosfato tricalcico e de bagaço de malte. O tratamento que não continha fosfato resultou em menor resistencia a tração e módulo de elasticidade. O alongamento variou de 0,45 a 1,45% e o módulo de elasticidade 46,34 a 126,64 MPa. A resistência a flexão (0,996 a 1,500 MPa) e deflexão máxima (2,09 a 3,35 mm) foram influenciadas pela quantidade de bagaço de malte, glicerol e fosfato. A CAA em 1 minuto foi influenciada principalmente pelo fosfato e bagaço de malte. As interações entre bagaço de malte, glicerol e fosfato tricalcico demandam mais estudos, pois o fosfato afetou positivamente as propriedades mecânicas, mas não afetou a higroscopicidade (%), como esperado. As bandejas expandidas de amido de mandioca reforçadas com resíduos lignocelulósicos podem ser uma boa alternativa às embalagens à base de petróleo, em especial o EPS.

Palavras chaves: antiuementante, plastificante, material de reforço.

ABSTRACT

Expanded starch-based packaging presents itself as an alternative to expanded polystyrene (EPS), given its renewable and biodegradable nature. However, water resistance, good flexibility, as well as tensile and flexural strength, are essential for both food and non-food packaging applications, qualities often lacking in starch foams when compared to petroleum-based derivatives. Additionally, the revaluation of agro-industrial waste becomes imperative for the food-chain sustainability. Plant-derived residues, rich in lignocellulosic compounds, offer the potential to enhance certain properties of expanded starch packaging. This study aimed to assess the influence of spent grains from brewing, glycerol, and tricalcium phosphate in the development of expanded starch trays. The anti-humectant desiccant tricalcium phosphate (0-5%), plasticizer glycerol (0-5%), and spent grains reinforcement (0-10%) were used in a multivariate design to fabricate expanded starch trays through thermal expansion. Response variables included density (g/cm^3), hygroscopicity (%), moisture content (%), water absorption capacity (WAC), flexural strength (MPa), maximum deflection (mm) via three-point rupture testing, and tensile strength (MPa), elongation (%), and elasticity modulus (MPa) via tension testing. Density ranged from 0.1577 to 0.2356 g/cm^3 , with trays exhibiting lower density when no spent grains were added. Tensile strength ranged from 0.369 MPa to 1.454 MPa, influenced by the addition of tricalcium phosphate and spent grains. The treatment without the phosphate resulted in lower tensile strength and elasticity modulus. Elongation ranged from 0.45 to 1.45%, and the elasticity modulus ranged from 46.34 to 126.64 MPa. Flexural strength (0.996 to 1.500 MPa) and maximum deflection (2.09 to 3.35 mm) were influenced by the quantity of spent grains, glycerol, and tricalcium phosphate. WAC up to 1 minute was mainly affected by the phosphate and the spent grains. Interactions among spent grains, glycerol, and tricalcium phosphate require further investigation, as the phosphate positively impacted mechanical properties but did not affect the hygroscopicity (%) as expected. Cassava starch-based expanded trays reinforced with lignocellulosic residues could serve as a viable alternative to petroleum-based packaging, particularly EPS.

Keywords: anti-humectant desiccant, plasticizer, reinforcing material.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Processo geral de termo prensagem e extrusão para produção de embalagens expandidas de amido	17
Figura 2. Molde em formato de bandeja utilizado para produção das embalagens.....	20
Figura 3. Preparação do bagaço de malte	25
Figura 4. Preparação e elaboração das bandejas em molde bipartido	28
Figura 5. Corpos de prova cortados em formato de gravata e equipamento realizando ensaio tração	29
Figura 6. Fotografias em microscópio óptico do corte transversal das bandejas expandidas de amidos	32
Figura 7. Fotografias das bandejas expandidas de amido das 17 formulações	33
Figura 8. Gráfico de Pareto da variável dependente densidade das bandejas expandidas de amido	35
Figura 9. Gráfico de Pareto com os efeitos do glicerol e da interação do glicerol e bagaço de malte na análise de higroscopicidade.	37
Figura 10. Gráfico de Pareto com efeitos do fosfato tricalcico, glicerol e bagaço de malte na análise de CAA em 1 minuto	38
Figura 11. Gráfico de Pareto com os efeitos do glicerol, fosfato tricalcico e bagaço de malte na resistência a flexão das bandejas.....	40
Figura 12. Gráfico de Pareto com os efeitos do glicerol e bagaço de malte na deflexão máxima das bandejas.	41
Figura 13. Gráfico de Pareto com os efeitos do fosfato tricalcico e interação entre glicerol e fosfato tricalcico na análise de tensão máxima das bandejas	42
Figura 14. Gráfico de Pareto com os efeitos da interação entre glicerol e fosfato tricalcico na análise de tensão máxima das bandejas	43
Figura 15. Gráficos de Pareto para os parâmetros L*a*b*.....	46
Figura 16. Diferença de cor das bandejas das 17 formulações do DCCR.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Principais trabalhos utilizando amido de mandioca e resíduos para elaboração de embalagens expandidas.....	19
Tabela 2. Matriz do delineamento fatorial 2^3 com três pontos centrais e seis pontos axiais para o desenvolvimento de bandejas expandidas de amido	27
Tabela 3. Composição do bagaço de malte (centesimal e fibras).....	31
Tabela 4. Resultados experimentais das densidade e espessura das bandejas expandidas de amido	34
Tabela 5. Resultados experimentais das variáveis dependentes (umidade, higroscopicidade e CAA 1 min e 30 min) para as embalagens desenvolvidas a partir do DCCR	36
Tabela 6. Resultados experimentais das variáveis dependentes (propriedade de flexão e propriedades de tração) para as embalagens desenvolvidas a partir do DCCR.....	39
Tabela 7. Resultados experimentais das variáveis dependentes (análise de cor sistema CIELAB) para as embalagens desenvolvidas a partir do DCCR	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVO GERAL	15
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS	15
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	16
2.1	EMBALAGENS.....	16
2.2	EMBALAGENS EXPANDIDAS BIODEGRADÁVEIS	16
2.3	AMIDO	20
2.3.1	Amido de mandioca.....	21
2.3.2	Plastificantes	22
2.3.3	Resíduos agroindustriais.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1	MATERIAIS	25
3.2	MÉTODOS	25
3.2.1	Preparo do bagaço de malte	25
3.2.2	Caracterização do bagaço de malte	26
3.2.2.1	Composição Centesimal.....	26
3.2.2.2	Composição das fibras	26
3.2.3	Planejamento experimental.....	27
3.2.4	Elaboração das bandejas com resíduos.....	27
3.2.5	Caracterização das bandejas.....	28
3.2.5.1	Densidade e espessura.....	28
3.2.5.2	Propriedades mecânicas	28
3.2.5.3	Umidade	29
3.2.5.4	Higroscopicidade.....	29
3.2.5.5	Capacidade de absorção de água.....	30
3.2.5.6	Morfologia.....	30
3.2.5.7	Colorimetria	30
3.2.5.8	Análise estatística.....	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	CARACTERIZAÇÃO BAGAÇO DE MALTE.....	31
4.1.2	Composição centesimal.....	31
4.2	MORFOLOGIA	32
4.3	DENSIDADE E ESPESSURA	33
4.4	UMIDADE E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA	35
4.5	PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	38

4.6	COLORIMETRIA.....	44
5	CONCLUSÃO	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Os materiais derivados do petróleo são amplamente utilizados como embalagens e conseqüentemente causam impacto ambiental, com isso embalagens de amido vêm sendo estudadas para a produção de embalagens biodegradáveis. O poliestireno expandido (EPS), também conhecido pelo seu nome comercial isopor®, é um destes materiais e por mais que seja reciclável, a sua destinação incorreta é responsável por parte do acúmulo de resíduos plásticos (BALBO; TOSTA, 2012; MARTEN; HICKS, 2018). O EPS não é biodegradável, mas apresenta elevada resistência mecânica, bom isolamento térmico e baixa densidade, sendo muito utilizado como embalagem de alimentos, em especial, as de uso único (MARTEN; HICKS, 2018; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022). Diante disso, o amido tem sido amplamente estudado como alternativa para substituir o EPS em embalagens, pois é derivado de fontes renováveis, biodegradável e facilmente produzido (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; MELLO; MALI, 2014; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

As principais vantagens de se utilizar amido de mandioca são a capacidade de expansão, versatilidade nas aplicações, não toxicidade e baixo custo. Porém, as embalagens expandidas a base de amido apresentam baixa resistência mecânica e flexibilidade e alta hidrofobicidade, o que têm limitado o seu uso para a produção de embalagens semirrígidas. Para melhorar essas características, a adição de plastificantes, além da utilização de materiais de reforço, aditivos antiulectantes e, até mesmo de recobrimentos são amplamente estudadas em diversos tipos de embalagens à base de amido (CHAIH; NGASATOL; KAEWTATIP, 2020; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

A utilização de resíduos agroindustriais como material de reforço é uma alternativa promissora para a revalorização destas matérias-primas. Além disso, os materiais lignocelulosicos contribuem para melhorar as propriedades mecânicas de embalagens expandidas de amido. Estas matérias-primas de baixo custo, renováveis e abundantes, contribuem na redução tanto do impacto ambiental passivo destes resíduos, como na redução do acúmulo de resíduos plásticos não biodegradáveis no meio ambiente (ENGEL; AMBROSI; TESSARO, 2019; FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; VERCELHEZE et al., 2012).

As embalagens tipo bandejas elaboradas a partir de amido de mandioca podem ter desempenho semelhante às bandejas de EPS, quando a sua formulação é otimizada para

garantir características alvo. Para isso, podem ser utilizados diferentes aditivos à matriz polimérica, de modo a se melhorar suas propriedades mecânicas, químicas e de maleabilidade (BERGEL; MACHADO; SANTANA, 2018; CARVALHO et al., 2017; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022). Estas embalagens podem ser uma alternativa para aplicações de uso único em alimentos, especialmente alimentos orgânicos, que apresentam maior valor agregado enquanto os produtores e consumidores têm uma preocupação com a preservação do meio ambiente. Assim, acredita-se que as embalagens expandidas de amido de mandioca possuem propriedades e características melhoradas quando adicionadas de bagaço de malte (BM) como reforço, glicerol (G) como plastificante e fosfato tricálcico (FTC) como anti-umectante, obtendo desempenho semelhante às bandejas de EPS.

Diante disso os objetivos gerais e específicos desta pesquisa são apresentados a seguir:

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar como a concentração de material de reforço, plastificante e anti-umectante, afetam as propriedades físicas de embalagens termoexpandidas de amido.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar através de planejamento multivariado completo - Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), os efeitos do bagaço de malte, glicerol e fosfato tricálcico.
- Caracterizar essas bandejas em relação às propriedades físicas.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 EMBALAGENS

As embalagens, especialmente as plásticas, são amplamente utilizadas para preservação e proteção dos alimentos, além de trazer informações como prazo de validade, informações nutricionais e condições de armazenamento. Apesar destes benefícios, devido a sua baixa degradabilidade e destinação incorreta, são relacionadas como uma das grandes responsáveis pela poluição do meio ambiente. Mais especificamente, a extração de matérias-primas que esgotam os recursos naturais, a emissão de gases de efeito estufa adicionais na atmosfera, e o processo de fabricação de embalagens, que utiliza muita água e energia e, como resultado, produzem muitos resíduos e poluição (DESHWAL; PANJAGARI; ALAM, 2019; GEUEKE; GROH; MUNCKE, 2018). Associado a isso, o reduzido volume de itens reciclados agrava severamente o acúmulo de resíduos sólidos e consequente formação de microplásticos depositados no solo e na água.

Desta forma, circularidade dos resíduos de embalagens visa desenvolver materiais reutilizáveis, retornáveis, recicláveis ou biodegradáveis visto que a maioria das embalagens de alimentos é concebida para utilização única e descartada após um curto período de tempo (GEUEKE; GROH; MUNCKE, 2018). Assim, os problemas ambientais causados pelo descarte incorreto das embalagens de alimentos impedem a sustentabilidade dos alimentos embalados, mesmo as embalagens em sua maioria sendo passíveis de reciclagem (DESHWAL; PANJAGARI; ALAM, 2019; GEUEKE; GROH; MUNCKE, 2018; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

A substituição de embalagens plásticas, principalmente as de uso único, por embalagens biodegradáveis a base de polímeros sintéticos e naturais, estão sendo estudadas como alternativa para redução do impacto ambiental causado pelos plásticos convencionais (AMIN et al., 2021; CHENG et al., 2021; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

2.2 EMBALAGENS EXPANDIDAS BIODEGRADÁVEIS

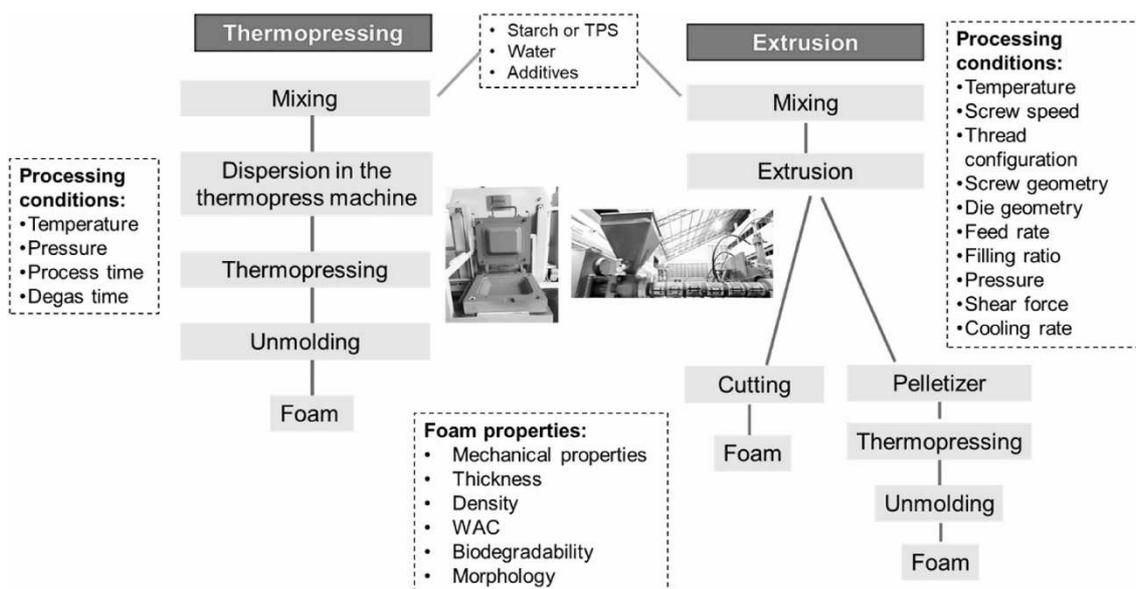
Os polímeros naturais, ou seja, de origem renovável, como proteínas (proteína de soro de leite, proteína de soja e de trigo), polissacarídeos (quitosana, celulose, amido) e

lipídios (cera de abelha, ácido láurico) são utilizados como matéria-prima para a construção de materiais biodegradáveis. Os materiais a base de amido são amplamente estudados e aplicados, para uso como embalagens (CHENG et al., 2021; SHAIKH; YAQOOB; AGGARWAL, 2021; WU; MISRA; MOHANTY, 2021).

As embalagens biodegradáveis a base de amido, são obtidas pela formação de filmes e por expansão. As embalagens expandidas, são obtidas principalmente por cozimento, moldagem e extrusão conforme Figura 1.

As embalagens expandidas de amido podem ter vários formatos como bandejas, copos, pratos e são formadas por expansão em molde fechado. Durante o cozimento, os grânulos de amido gelatinizam e a água presa evapora rapidamente, ocorrendo a expansão. Assim que a mistura de amido preenche o molde, a água residual evapora ainda mais. A embalagem expandida de amido é gradualmente seca e assume a forma do molde, como mostrado na Figura 2. Para encher o molde e obter embalagens expandidas bem formadas, são necessários uma composição e volume de massa adequados, bem como a temperatura e o tempo de cozadura (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022)

Figura 1. Processo geral de termo prensagem e extrusão para produção de embalagens expandidas de amido



Fonte: (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022)

A extrusão de espuma, ocorre pelo aquecimento e a mistura das matérias-primas sob pressão, essa mistura é forçada através de uma extrusora de parafuso que através do

aquecimento, atrito e aumento da pressão da massa produzem a expansão. O amido é gelatinizado em condições de baixa umidade dentro da extrusora, com o aumento da temperatura e das forças de cisalhamento, as regiões cristalinas do amido são destruídas e transformadas em zonas amorfas (WANG et al., 2021). Quando a massa é submetida repentinamente à pressão atmosférica na saída da extrusora, os gases dissolvidos se expandem, formando bolhas que ficam presas na matriz de amido. Na formação de espuma por extrusão, as condições operacionais (como velocidade e temperatura da rosca) e a proporção de amilose para amilopectina do amido utilizados afetam as propriedades mecânicas dessas espumas (CHENG et al., 2021; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

Na tabela 1 estão apresentados os principais resíduos utilizados para elaboração de bandejas expandidas de amido e as implicações nas propriedades das embalagens.

Tabela 1. Principais trabalhos utilizando amido de mandioca e resíduos para elaboração de embalagens expandidas

Resíduo	Principais resultados	Referência
Nanoargilas modificadas	Densidade (0,2809 a 0,3075 g/cm ³) CAA (após 1 min: 44,92 a 60,09 g de água/100 g de produtos)	(MATSUDA et al., 2013)
Bagaço de malte	Densidade (0,415 a 0,450 g/cm ³) Cor (coloração amarelada, indicada pelo aumento do parâmetro <i>b</i> *) Propriedades mecânicas 58%UR (10,37 a 12,10 MPa e tensão de ruptura 1,10 a 1,8 %) a incorporação de bagaço de malte em uma determinada concentração (10%, p/p) resultou em uma diminuição na higroscopicidade das espumas de amido, mas concentrações mais baixas ou mais altas não tiveram efeito	(MELLO; MALI, 2014)
Torta de gergelim	Densidade (0,23 a 0,30 g/cm ³) A adição de resíduos resultou numa ligeira diminuição na densidade Propriedades mecânicas (Tensão de ruptura:0,43 a 1,34 MPa, Alongamento: 2,0 a 4,9%, módulo elástico:17,8 a 44,3 MPa Resistencia máxima a Flexão: 1,9 a 7,4 MPa, Deflexão máxima:1,1 a 1,9 %) Capacidade de absorção 1min : 14% a 22% Capacidade de absorção 30 min: 105 a 154%	(MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017)
Revestimento o poli(ácido láctico) (PLA)	Cor (aumento dos parâmetros <i>a</i> * e <i>b</i> * , indicando um aumento no aspecto vermelho e amarelo, respectivamente) Densidade (0,11 a 0,24 g/cm ³) Propriedades Mecânicas (Resistência a tração:1,092 a 1,422 MPa, alongamento 0,88 a 1,58 %, Módulo de elasticidade (39,06 a 84,87 MPa) Quanto maior a concentração de PLA, mais rígido e resistente se torna o material e diminuição do alongamento na ruptura	(BERGEL; MACHADO; SANTANA, 2018)
Engaço de uva	Densidade (0,18 a 0,21 g/cm ³)	(ENGEL; AMBROSI; TESSARO, 2019)
Amido acetilado e casca de amendoim	Densidade (0,22 a 0,43 g/cm ³) Propriedades Mecânicas (Resistência a flexão:3,8 a 5 MPa) Capacidade de absorção de água 1min: 11 a 15% Capacidade de absorção de água 30 min:52 a 57%	(MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2020a)
Casca de amendoim	Densidade (0,21 a 0,27 g/cm ³) Propriedades Mecânicas (Resistência a tração:1,1 a 1,0 MPa, alongamento 3,9 a 4,9 %, Módulo de elasticidade (25 a 26 MPa)	(MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2020b)

Farinha semente de abacate	espuma controle (espuma sem adição de casca de amendoim; tensão de flexão de $4,2 \pm 0,7$ MPa e módulo de elasticidade de 252 ± 44 MPa)	
	tensão flexural e o módulo de elasticidade da espuma contendo 24% (p/p) de casca de amendoim foram $3,9 \pm 0,5$ MPa e 276 ± 43 MPa	
	Teor de umidade (9,0 a 9,7 %)	
	Densidade (0,6 a 0,9 g/cm ³)	
	Propriedades mecânicas (Tensão de ruptura:1,3 a 2,9 MPa, Alongamento: 0,7 a 1,3%, módulo elástico:200,1 a 266,9 MPa	(AGUILAR ; TAPIA- BLÁCIDO, 2023)
	Resistencia máxima a Flexão: 40,4 a 55,3 N, Deflexão máxima:1,4 a 2,2 mm)	
Umidade: 10,9 a 11,3 %		
Capacidade de absorção de água 5min: 40,7 a 59,4 %		
Capacidade de absorção de água 30 min: 149,9 a 251,2 %		

Fonte: Autora (2023)

Figura 2. Molde em formato de bandeja utilizado para produção das embalagens



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

2.3 AMIDO

O amido é um polímero natural, organizado em grânulos compostos por dois tipos de α -glicanas, a amilose e amilopectina, nas quais, os monômeros de glicose são unidos por ligações α -1,4 e α -1,6-glicosídicas (HSIEH et al., 2019; WANG et al., 2021). A amilose é formada por cadeias longas lineares e consiste em monômeros de α -D-glicose unidos por ligações α -1,4, é o menor dos dois polímeros. A amilopectina é uma macromolécula altamente ramificada com cadeias lineares, a estrutura da cadeia linear é

caracterizada como A, B e C, dependendo do seu comprimento e ligação, consistem em unidades de glicose unidas por ligações α -1,4-glicosídeo e cadeias laterais consistem nas ramificações, com ligações α -1,6 nos pontos de ramificação (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; WANG et al., 2021).

A maioria dos amidos contém cerca de 20–28% de amilose e 72–80% de amilopectina, porém isso pode variar de acordo com o tipo de amido, alguns podem conter menor ou maior quantidade de amilose (WANG et al., 2021). O grânulo de amido tem regiões amorfas e cristalinas, as cadeias de amilopectina são principalmente responsáveis pela cristalinidade do amido e a amilose está presente na estrutura amorfa (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015). Os grânulos de amido de plantas diferentes, podem ter estruturas esféricas ovais ou poliédricas e tem diferentes diâmetros (BERTOFT, 2017).

Os grânulos de amido são insolúveis em água fria, mas se forem aquecidos acima de uma certa temperatura em excesso de água, eles absorvem água e se expandem, e parte da amilose é liberada deles (LIU et al., 2020).

As regiões amorfas do amido são menos densas, sendo mais suscetíveis a reações químicas e enzimáticas, absorvendo mais água em temperaturas abaixo da temperatura de gelatinização. A presença de amilose reduz o ponto de fusão das regiões cristalinas e a energia necessária para iniciar a gelatinização, requerendo mais energia para dissociar completamente as cadeias longas de amilopectina do que a requerida para cadeias mais curtas das duplas hélices. Isso indica que amidos com maiores teores de amilose possuem maiores regiões amorfas e perdem cristalinidade em menores temperaturas de gelatinização (LIU et al., 2020; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

2.3.1 Amido de mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertencente à família da Euphorbiaceae, também conhecida como aipim, macaxeira, tapioca e *cassava*, de origem sul-americana, sendo cultivada em regiões tropicais e subtropicais (BLAGBROUGH et al., 2010; ZHU, 2015). Sendo o amido o principal componente da mandioca e pode representar 80% do peso seco das raízes. Ele é obtido após lavagem, descascamento, trituração, das raízes de mandioca, seguido do peneiramento, centrifugação ou decantação e secagem (BREUNINGER; PIYACHOMKWAN; SRIROTH, 2009; ZHU, 2015). O conteúdo de

amilose variou de 15,2 a 26,5% em 4.050 genótipos de mandioca estudados (SÁNCHEZ et al., 2009).

A alta capacidade de expansão do amido de mandioca na presença de água ao sofrer um aquecimento, fez com que fosse amplamente estudado para desenvolvimento de espumas (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; WANG et al., 2021).

As espumas feitas de amido apresentam baixas propriedades mecânicas, sendo quebradiças e limitadas para o uso como embalagens de uso único. Para isso se faz necessário a utilização de plastificantes, aditivos e reforço como fibras (CHAIREH; NGASATOOL; KAEWTATIP, 2020; MARENGO; VERCELHEZE; MALI, 2013; MELLO; MALI, 2014; VERCELHEZE et al., 2012). A água tem sido normalmente usada como um agente de expansão, além de agir como um plastificante para espumas à base de amido. O uso da água é favorável devido à sua disponibilidade e baixo custo. O estearato de magnésio é normalmente adicionado à massa como um agente de desmoldagem e a goma de guar é adicionada para evitar sedimentação do amido (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

A adição de fibras, como resíduos agroindustriais, pode melhorar a resistência e a flexibilidade das espumas reforçadas. Porém, os mecanismos de espuma e reforço são de alguma forma influenciados pelo tipo de fibra, sua característica, seu comprimento e diâmetro (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

2.3.2 Plastificantes

Os plastificantes são adicionados ao amido para melhorar a flexibilidade das bandejas produzidas. A adição de plastificante também permite a fusão de um amido plastificado abaixo de sua temperatura de decomposição, levando a uma melhoria significativa na processabilidade do amido como termoplástico (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015). Os plastificantes como glicerol, sorbitol e álcool poli-vinílico (PVA), são estudados para melhorar as características das espumas de amido, sendo que o glicerol é o mais utilizado (CHENG et al., 2021; STOFFEL et al., 2019).

O glicerol, também chamado de glicerina, é um poli álcool com 3 carbonos (propano-1,2,3-triol) é um composto orgânico com função álcool. Em temperatura ambiente, é um líquido incolor, higroscópico, inodoro, com gosto adocicado e muito

viscoso. É derivado de fontes naturais e encontrado na forma combinada, como glicerídeos em óleos e gorduras animais e vegetais ou de fonte petroquímica. A presença de três grupos hidroxila na estrutura do glicerol é responsável pela solubilidade em água e sua natureza higroscópica. É uma molécula altamente flexível formando ligações de hidrogênio tanto intra como intermoleculares (BEATRIZ; ARAÚJO; DE LIMA, 2011).

O glicerol pode enfraquecer a força das ligações de hidrogênio internas da amilose e aumentar a fluidez das cadeias de amido, melhorando o alongamento na ruptura de materiais biodegradáveis à base de amido (CHENG et al., 2021). Desta forma, o glicerol é amplamente utilizado como plastificante durante a formação de materiais biodegradáveis à base de amido, com grande destaque na produção de filmes finos (AMIN et al., 2021; STOFFEL et al., 2019).

2.3.3 Resíduos agroindustriais

A fim de melhorar as propriedades mecânicas de embalagens de espuma de amido, muitos estudos utilizam resíduos agroindustriais como bagaço de malte, bagaço de cana, farelo de trigo, palhada e sabugo de milho, engaço de uva, pele e casca de amendoim, bagaço de laranja. Esses resíduos são compostos por carboidratos (celulose, hemicelulose e lignina), fibras e proteínas, são renováveis e sustentáveis, com baixo valor agregado. Devido as semelhanças da estrutura química dos resíduos com o amido, esses materiais lignocelulósicos interagem bem com as matrizes de amido melhorando assim a resistência à água e as propriedades mecânicas (BÉNÉZET et al., 2012; CHAIREH; NGASATOOL; KAEWTATIP, 2020; ENGEL; AMBROSI; TESSARO, 2019; FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; MELLO; MALI, 2014).

O bagaço de malte é composto em média por 74% de carboidratos, 13% de proteína, 63% de fibras alimentares sendo em sua maioria de fibras insolúveis. O teor de celulose encontrado em estudos varia de 11% a 13%, hemicelulose de 22% a 29% e lignina de 24% a 27%. Essa variação em sua composição se deve à variedade, época de colheita e condições de fabricação durante o processo de fermentação, que é exclusivo de cada cervejaria (MELLO; MALI, 2014; STEINMACHER et al., 2012).

Em estudos utilizando bagaço de malte, foi relatado que para melhor formação das espumas de amido é necessário maior teor de água, para manter a fluidez da pasta de amido, quando aumentado o teor de bagaço. A maior concentração de bagaço de malte

necessitou de um maior tempo de cozimento, quando comparadas as de menor concentração (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; MELLO; MALI, 2014). Outros estudos utilizando resíduos, mostraram que o baixo teor de água nas pastas de amido as tornava muito viscosas e resultavam em embalagens menos expansíveis e de maior densidade. A presença de fibras e outros sólidos nas formulações causaram aumento da viscosidade da mistura, diminuindo assim a capacidade de formação da embalagem expandida_ (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023; ENGEL; LUCHESE; TESSARO, 2021; KAISANGSRI; KERDCHOECHUEN; LAOHAKUNJIT, 2012; VERCELHEZE et al., 2012).

Machado et al. (2020b) relataram que a utilização de pele de amendoim, reduziu a hidrofobicidade das espumas, pois resultou em materiais com menos vazios e mais células de tamanhos maiores. Esta morfologia mostra o efeito de reforço deste enchimento para formar a estrutura da espuma. A redução da hidrofobicidade também pode estar relacionada com a formação de uma região próxima à superfície mais densa do que a encontrada nas espumas sem a pele de amendoim.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

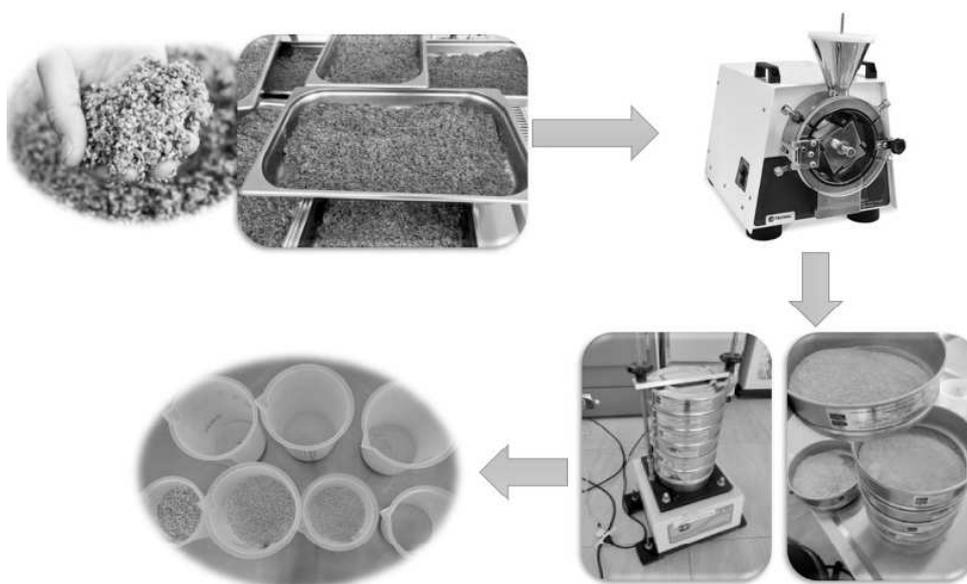
Para elaborar as espumas, foi utilizado amido de mandioca comercial, bagaço de malte de cevada e reagentes de grau analítico, glicerol/glicerina, estereato de magnésio (desmoldante) e fostato tricálcico (antiumectante).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparo do bagaço de malte

Os resíduos de bagaço de malte foram doados por microcervejaria local, secos em estufa a 105 °C e depois moídos em moinho de facas conforme Figura 3. Após a moagem, os resíduos foram peneirados em equipamento de peneira vibratória (16, 25, 40, 60, 100 e 200 mesh) para padronização do tamanho das partículas. As partículas menores que 0,25 mm foram utilizadas para elaboração das embalagens de amido.

Figura 3. Preparação do bagaço de malte



Preparação do bagaço de malte

Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.2 Caracterização do bagaço de malte

3.2.2.1 Composição Centesimal

Os teores de umidade, cinzas, lipídios, proteína bruta e carboidratos totais foram determinados utilizando protocolos estabelecidos da AOAC (AOAC, 2000).

O teor de umidade foi realizado por secagem direta em estufa a 105 °C até peso constante. As cinzas cinzas foram quantificadas pela massa do resíduo após incineração em mufla a 550 °C até o desaparecimento de todos os pontos pretos. A determinação de lipídios foi por extração a quente em Soxhlet com solvente éter de petróleo. O teor de proteína bruta foi quantificado pelo método de Kjeldahl utilizando o fator 6,25 para a conversão de nitrogênio em proteína. E a determinação de carboidratos totais foi feita pela subtração da porcentagem de umidade, cinzas, lipídios e proteína bruta do total de 100% demonstrado na equação 1.

$$CT\% = 100\% - (U\% + C\% + L\% + PB\%) \quad \text{Eq. 1}$$

CT: Carboidratos totais

U: Umidade

C: Cinzas

L: Lipídios

PB: Proteína bruta

3.2.2.2 Composição das fibras

A umidade, cinzas, extrativos, lignina total e carboidrato do bagaço de malte foi determinado pelo Métodos analíticos descrito pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável. Para a determinação de lignina, celulose e hemiceluloses, foram adicionados 3,0 mL de ácido sulfúrico (72% vol/vol) para cada 0,3 g de amostra. As amostras foram colocadas em banho termostático a 30 °C por 1 h para realizar a hidrólise ácida, sendo homogeneizadas a cada 5-10 min. Após o tempo da hidrólise ácida concentrada, as amostras foram retiradas do banho e a concentração do meio foi diluída para 4% utilizando 84 mL de água destilada. Para a hidrólise completa dos oligômeros, os frascos foram selados e autoclavados por 1 h a 121°C e 1,1 bar. Por fim, as fases sólida e líquida foram separadas por filtração a vácuo. Para a quantificação de carboidratos e produtos de

decomposição, foi utilizado cromatógrafo (HPLC) modelo LC-MS 2020 da marca Shimadzu, equipado com detector de índice de refração (RID-1, Shimadzu) e coluna para análise orgânica (DRESCH et al., 2023).

3.2.3 Planejamento experimental

O delineamento composto central rotacional (DCCR) foi feito com 3 variáveis independentes (bagaço de malte, glicerol e fostato tricálcico), e três repetições no ponto central, conforme matriz apresentada na Tabela 2. As bandejas foram caracterizadas quanto a densidade, flexão, resistência a tração, umidade, higroscopicidade capacidade de absorção de água, morfologia e parâmetros de cor.

Tabela 2. Matriz do delineamento fatorial 2^3 com três pontos centrais e seis pontos axiais para o desenvolvimento de bandejas expandidas de amido

Tratamentos	Bagaço de malte (g)	Glicerol (g)	Fosfato Tricálcico (g)
1	-1 (0,24)	-1(0,12)	-1(0,12)
2	1(0,96)	-1(0,12)	-1(0,12)
3	-1 (0,24)	1(0,48)	-1(0,12)
4	1(0,96)	1(0,48)	-1(0,12)
5	-1 (0,24)	-1(0,12)	1(0,48)
6	1(0,96)	-1(0,12)	1(0,48)
7	-1 (0,24)	1(0,48)	1(0,48)
8	1(0,96)	1(0,48)	1(0,48)
9	-1,682 (0)	0 (0,3)	0 (0,3)
10	1,682(1,2)	0 (0,3)	0 (0,3)
11	0 (0,6)	-1,682 (0)	0 (0,3)
12	0 (0,6)	1,682(0,6)	0 (0,3)
13	0 (0,6)	0 (0,3)	-1,682 (0)
14	0 (0,6)	0 (0,3)	1,682 (0,6)
15	0 (0,6)	0 (0,3)	0 (0,3)
16	0 (0,6)	0 (0,3)	0 (0,3)
17	0 (0,6)	0 (0,3)	0 (0,3)

Fonte: Autora (2022)

3.2.4 Elaboração das bandejas com resíduos

As bandejas foram elaboradas a partir de 17 tratamentos, (Tabela 2), com massa de amido de mandioca (12 g), água (16,5 mL) e estereato de magnésio (1% em massa do amido) fixos. Os componentes foram misturados manualmente por 1 minuto, e dispostos

em molde bipartido com dimensões de 117 x 64 x 20 mm, a 180 °C, por 5 minutos. As embalagens foram moldadas em formato de bandejas, formadas por expansão térmica, conforme Figura 4. Para cada tratamento foram feitas 25 bandejas, elaboradas uma de cada vez no molde.

Figura 4. Preparação e elaboração das bandejas em molde bipartido



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.5 Caracterização das bandejas

3.2.5.1 Densidade e espessura

A densidade aparente foi determinada pela razão entre a massa (g) e o volume (cm^3). A espessura foi determinada por micrômetro digital em 8 pontos diferentes.

3.2.5.2 Propriedades mecânicas

As bandejas, foram acondicionadas por 5 dias em temperatura de 25°C em embalagens flexíveis de polietileno e 2 dias em dessecador em umidade de 58%, para estabilização das bandejas para realizar os ensaios.

Para avaliar as propriedades mecânicas foram realizados ensaios de flexão das espumas expandidas conforme a norma ASTM D790-02 (ASTM, 2002), utilizando método de flexão em três pontos, com separação dos apoios de 4,5 cm. Os corpos de prova para os ensaios foram recortados em retângulos de 100 mm de comprimento por 25 mm de largura, utilizando bisturi. Após os ensaios, foram mensuradas a máxima resistência à flexão, módulo de ruptura na flexão, módulo de elasticidade.

Os testes de resistência à tração foram realizados em corpos de prova cortados em formato de gravata conforme figura 5, medindo 100 mm de comprimento por 25 mm de largura nas bases e 15 mm no centro, com uma separação de garra inicial de 70 mm e uma velocidade de ensaio de 1 mm/s, de acordo com a norma D882-18. As curvas tensão-deformação foram registradas durante a extensão e os valores de tensão e deformação na ruptura foram determinados. Cada formulação foi testada 10 vezes. Após as análises foram mensuradas a tensão máxima de ruptura, a tensão máxima de alongação, a alongação máxima.

Figura 5. Corpos de prova cortados em formato de gravata e equipamento realizando ensaio tração



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

3.2.5.3 Umidade

O teor de umidade foi determinado usando amostras medindo 30 mm × 30 mm. As amostras foram pesadas e secas em estufa a 105 ° C por 24 h. Essas amostras foram pesadas novamente após arrefecimento, depois de retiradas da estufa. A massa perdida durante a secagem na estufa, foi calculada (SUNDUM; MÉSZÁROS; KAEWTATIP, 2018).

3.2.5.4 Higroscopicidade

A higroscopicidade foi determinada utilizando amostras de 30 mm x 30 mm. As amostras foram pesadas e colocadas em dessecadores contendo cloreto de sódio com umidade relativa de 75%. O dessecador foi armazenado em temperatura de 25 °C e a

massa foi aferida durante 9 dias ate estabilização das amostras. A higroscopicidade foi calculada pela diferença de massa da amostra final e inicial e expressa em porcentagem.

3.2.5.5 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água foi determinada conforme a norma ABNT NBR NM ISO 535:1999 para papel (ABNT, 1999) com modificações (MELLO; MALI, 2014). As amostras (25 x 25 mm) foram pesadas e submersas em 100 mL de água destilada, com temperatura de $25 \pm 1^\circ\text{C}$, por 1e 30 min. Em seguida, o excesso de água foi retirado com auxílio de papel toalha. Então foi calculada a absorção de água como a quantidade (g) de água absorvida por 100 g de amostra. Os ensaios foram realizados em triplicata.

3.2.5.6 Morfologia

A análise morfológica das bandejas foi realizada em microscópio óptico (SZ51 Olympus, Japão), foram capturadas imagens avaliando a superfície e a seção transversal das embalagens. As amostras foram cortadas com bisturi para capturar imagem da transversal.

3.2.5.7 Colorimetria

A cor das bandejas foi determinada com o auxílio do colorímetro portátil Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta Optics Inc., Japão) operando no sistema CIE (L^* , a^* , b^*), em que L^* é a luminosidade e varia entre preto e branco, a^* é a variação entre vermelho e verde e b^* é a variação entre azul e amarelo. As medidas foram realizadas em 3 pontos em cada bandeja, as análises foram realizadas em triplicata.

3.2.5.8 Análise estatística

Com os resultados obtidos, foi realizada análise de regressão para avaliar o efeito das variáveis e quando aplicável, foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) com auxílio do software Protimiza.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO BAGAÇO DE MALTE

4.1.2 Composição centesimal

O bagaço de malte é composto principalmente por carboidratos e proteínas conforme Tabela 3. Estes valores estão de acordo com os encontrados por outros autores que avaliaram a composição do bagaço de malte (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; REIS et al., 2014) .

Tabela 3. Composição do bagaço de malte (centesimal e fibras)

Composição Bagaço de malte (%)	
Umidade	3,37 ± 0,06
Cinzas	3,29 ± 0,05
Lipídeos	10,19 ± 0,27
Proteínas	12,72 ± 3,05
Carboidratos totais	73,80
Extrativos	27,34 ± 0,28
Lignina Total	21,16
Celulose	19,25 ± 0,61
Hemicelulose	8,18 ± 0,35

*Média ± desvio padrão

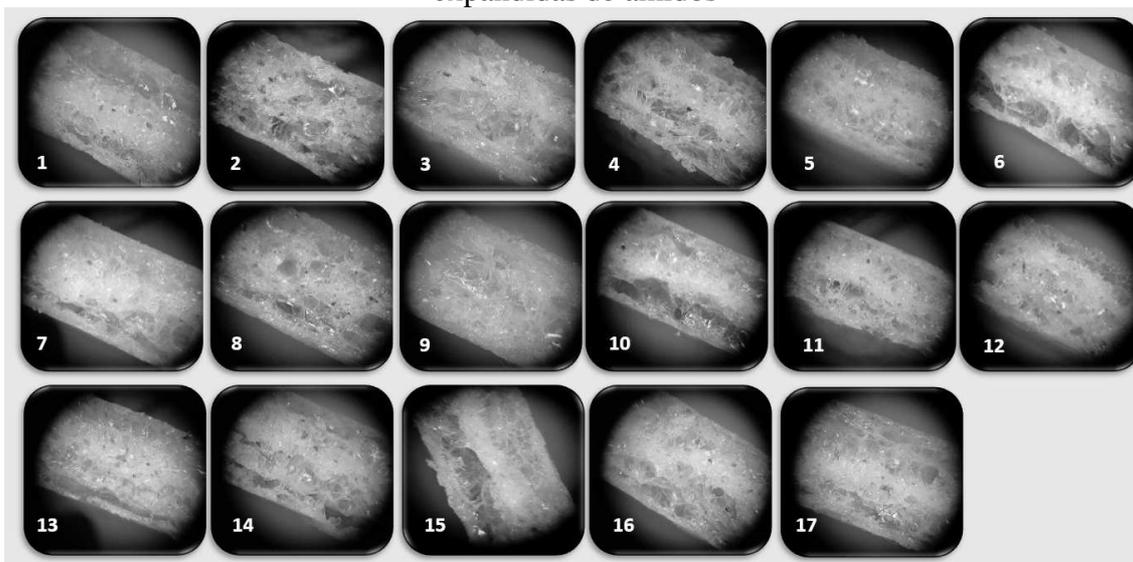
Fonte: Autora (2023)

Na Tabela 3, estão apresentados os resultados para a composição das fibras presentes no bagaço de malte. O teor de celulose encontrado em estudos variou de 11% a 13%, hemicelulose de 22% a 29% e lignina de 24% a 27% (MELLO; MALI, 2014; STEINMACHER et al., 2012). Porém, neste trabalho os valores encontrados para celulose, hemicelulose e lignina foram 19,25, 8,18 e 21,16 %, respectivamente. Essa diferença pode ter ocorrido devido ao tipo de malte (cevada, trigo ou centeio) utilizado na produção das cervejas.

4.2 MORFOLOGIA

A partir das figuras 6 e 7, é possível observar o comportamento, das embalagens de amido, após a expansão térmica. Na figura 6 estão as imagens do corte transversal das 17 formulações do delineamento experimental DCCR. Na figura 7 podemos observar as bandejas já formadas para cada uma das formulações do modelo.

Figura 6. Fotografias em microscópio óptico do corte transversal das bandejas expandidas de amidos

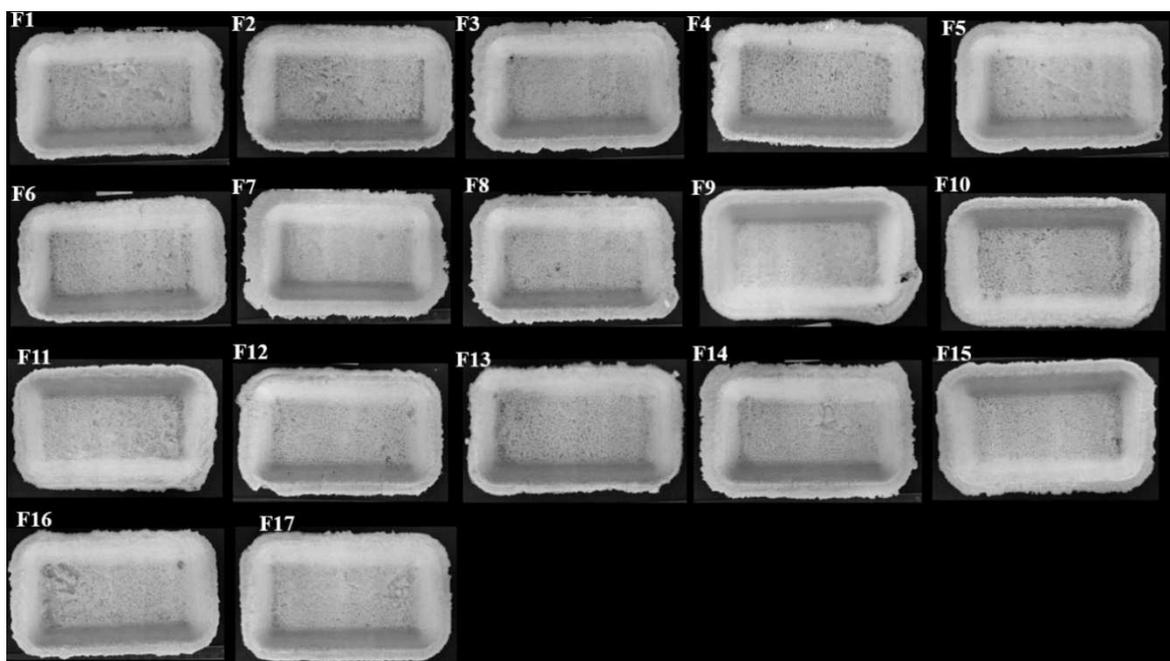


Fonte: Elaborado pela autora (2023)

As embalagens que contém maior quantidade de bagaço de malte (2, 4, 6, 8 e 10) apresentaram no seu interior uma parte mais densa e próximo as superfícies bolhas que na expansão se romperam. Essa estrutura mais densa também foi observada na formação de espumas com fibra de algodão, casca de amendoim e farinha de semente de abacate (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023; MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2020b; SANHAWONG et al., 2017). A formulação 9 que não contém bagaço de malte apresentou uma estrutura uniforme formada por células menores em toda a sua extensão.

Na Figura 6 é possível observar que a adição de bagaço de malte resultou em bandejas com células de maior tamanho, sugerindo o efeito de reforço deste componente para a formação da estrutura da espuma. Também é possível observar alguns pontos com defeitos na formação da rede pela presença de alguns buracos nas paredes celulares das bandejas.

Figura 7. Fotografias das bandejas expandidas de amido das 17 formulações



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

As bandejas de amido apresentaram visualmente pontos porosos e com má formação. Além disso, como as fibras possuem uma estrutura mais rígida que o amido, as bandejas expandidas de amido com maior quantidade de bagaço de malte geraram uma massa que se espalhou menos no molde de termoprensagem contribuindo também para a formação de uma estrutura com mais pontos porosos e com defeitos.

4.3 DENSIDADE E ESPESSURA

As densidades e espessuras encontradas neste trabalho estão apresentadas na Tabela 4. O modelo foi significativo (p -valor $<0,05$) para a análise de densidade, sendo que 91,29% dos dados podem ser explicados através desse modelo. A partir do modelo é possível identificar as variáveis que tiveram efeito sobre a densidade.

A análise de espessura não apresentou modelo significativo apresentando um p -valor maior que 0,05. O molde em que são produzidas as bandejas possuem dimensões fixas, porém é possível observar que as formulações com maiores quantidades de bagaço de malte e menores quantidades de glicerol, apresentaram menores valores de espessura, afetando assim a densidade.

Tabela 4. Resultados experimentais das densidades e espessura das bandejas expandidas de amido

Tratamentos	Densidade (g/cm ³)	Espessura (mm)
1	0,2004 ± 0,0113	4,2950 ± 0,1943
2	0,2356 ± 0,0053	3,9875 ± 0,0817
3	0,1959 ± 0,0088	4,5625 ± 0,1256
4	0,2077 ± 0,0056	4,3383 ± 0,1870
5	0,1950 ± 0,0067	4,3758 ± 0,0897
6	0,2298 ± 0,0151	4,0675 ± 0,1923
7	0,1802 ± 0,0031	4,7258 ± 0,3222
8	0,2041 ± 0,0047	4,4067 ± 0,1037
9	0,1577 ± 0,0260	4,4250 ± 0,2365
10	0,2133 ± 0,0159	4,2108 ± 0,0615
11	0,2122 ± 0,0254	4,3092 ± 0,2070
12	0,1984 ± 0,0101	4,4008 ± 0,1505
13	0,2085 ± 0,0150	4,3500 ± 0,1040
14	0,1995 ± 0,0055	4,4833 ± 0,0486
15	0,2153 ± 0,0167	4,0675 ± 0,1330
16	0,2063 ± 0,0024	4,4408 ± 0,1268
17	0,2063 ± 0,0065	4,3583 ± 0,1222
p- valor	0,0057	0,2281
Falta de ajuste (p-valor)	0,282	0,7965
R ²	0,9129	0,6968

Média ± desvio padrão. Modelo estatisticamente significativo p-valor < 0,05

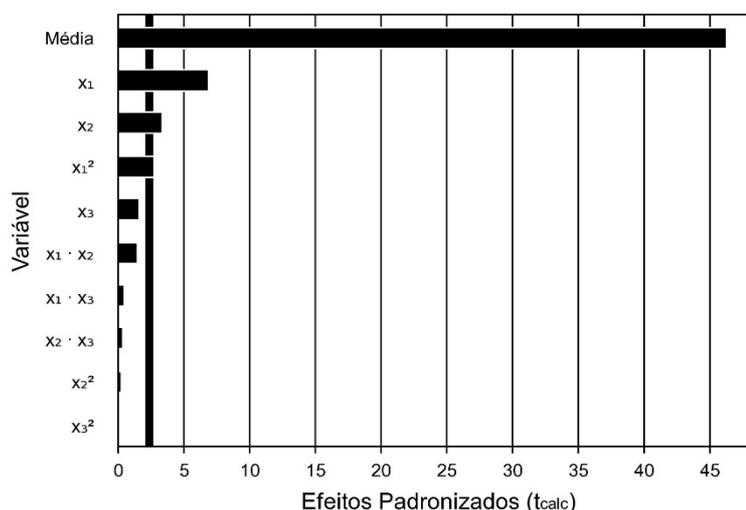
Fonte: Autora (2023)

Uma das características desejadas na produção das bandejas de amido é a baixa densidade, visto que o EPS possui densidades que variam de 0,02 a 0,06 g/cm³, resultados inferiores aos encontrados neste trabalho (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023; ENGEL; LUCHESE; TESSARO, 2021; TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022). As fibras presente nos resíduos proporcionam esse aumento na densidade, devido ao aumento de sólidos presentes na solução.

A densidade das embalagens expandidas foi afetada pela adição de bagaço de malte e glicerol, conforme figura 8, que mostra os efeitos causados pelas variáveis através do gráfico de Pareto. As embalagens da formulação 2 e 6 que continham 0,96 g de bagaço de malte e 0,12 g de glicerol resultaram em densidades maiores, 0,2356 e 0,2298 g/cm³. As formulações com maiores quantidades de G e menores quantidades de BM, apresentaram menores densidades. Devido a interação das fibras do bagaço de malte com

o glicerol, durante a expansão a estrutura ficou mais compacta, obtendo menor espessura e conseqüentemente maior densidade.

Figura 8. Gráfico de Pareto da variável dependente densidade das bandejas expandidas de amido



X₁=Bagaço de Malte, X₂=Glicerol e X₃=Fosfato tricalcico
 Fonte: Autora (2023)

A formulação 9 que não continha bagaço teve o menor resultado para densidade conforme Tabela 3. Os resultados de densidade encontrados neste trabalho (0,1577 a 0,2356 g/cm³), foram melhores quando comparados aos trabalhos com adição de bagaço de malte (0,415–0,450 g/cm³, e outros resíduos como torta de gergelim (0,23 a 0,30 g/cm³), subprodutos de sorgo (0,64 a 0,19 g/cm³) e farinha de semente de abacate (0,70 para 0,86 g/cm³) (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023; LUNA et al., 2021; MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017; MELLO; MALI, 2014).

4.4 UMIDADE E CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

As análises de umidade, higroscopicidade e CAA (1 e 30 min) estão apresentadas na Tabela 5. O modelo foi significativo (p-valor <0,05), apenas para a capacidade de absorção de água no tempo 1 minuto, sendo que 87,76% dos dados podem ser explicados através desse modelo. A partir da regressão foi possível identificar as variáveis independentes (BM, G e FTC) que tiveram efeito sobre as variáveis respostas.

Tabela 5. Resultados experimentais das variáveis dependentes (umidade, higroscopicidade e CAA 1 min e 30 min) para as embalagens desenvolvidas a partir do DCCR

Tratamentos	Umidade %	Higroscopicidade % (75 %)	CAA (%)	
			1 min	30 min
1	3,8 ± 0,02	3,82 ± 0,88	19 ± 2	291 ± 22
2	4,4 ± 0,38	3,02 ± 0,31	32 ± 1	444 ± 4
3	2,0 ± 0,25	4,59 ± 1,16	20 ± 1	464 ± 17
4	3,8 ± 0,14	5,07 ± 0,72	22 ± 2	376 ± 19
5	2,8 ± 0,45	3,55 ± 0,25	20 ± 2	348 ± 9
6	3,5 ± 0,26	2,43 ± 1,40	21 ± 1	320 ± 23
7	3,0 ± 0,40	3,40 ± 1,37	22 ± 4	387 ± 25
8	2,4 ± 0,16	5,06 ± 0,31	18 ± 4	492 ± 29
9	5,7 ± 0,60	5,24 ± 0,20	20 ± 1	352 ± 28
10	4,0 ± 0,21	3,84 ± 1,40	25 ± 1	413 ± 33
11	4,6 ± 0,15	3,72 ± 0,12	19 ± 2	329 ± 47
12	2,2 ± 0,16	4,80 ± 0,46	23 ± 1	369 ± 2
13	5,4 ± 0,13	4,25 ± 0,67	27 ± 1	462 ± 14
14	4,3 ± 0,26	4,49 ± 0,09	19 ± 4	333 ± 63
15	2,6 ± 0,20	4,32 ± 0,13	18 ± 3	362 ± 17
16	4,3 ± 0,43	4,52 ± 0,82	18 ± 2	366 ± 13
17	3,4 ± 0,27	4,54 ± 0,31	17 ± 2	372 ± 8

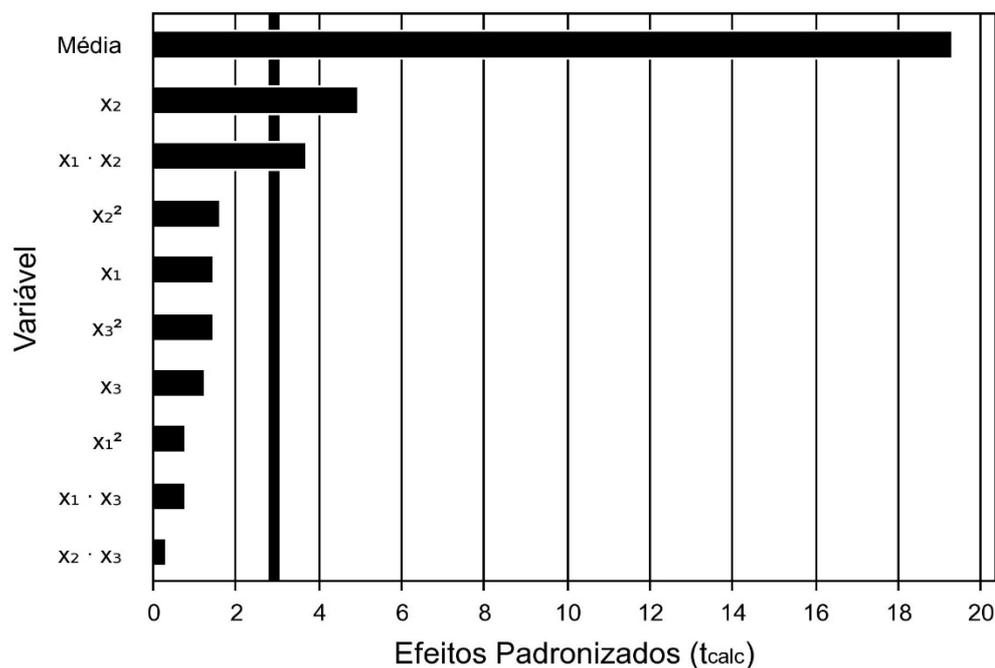
CAA= Capacidade de Absorção de Água. Média ± desvio padrão

Fonte: Autora (2023)

As umidades encontradas neste trabalho (2,0 a 5,7%), não apresentaram diferença significativa, ou seja, não sendo possível identificar os efeitos causados pelas variáveis independentes (BM, G e FTC). As umidades baixas são de interesse, pois quanto menor a umidade mais fácil é o armazenamento a longo prazo. Autores relataram umidades superiores às encontradas neste trabalho. Em trabalhos utilizando resíduo de casca de amendoim e resíduo de caroço de abacate as umidade variaram de 9,0 a 9,7% e 10,9 a 11,3% , respectivamente (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023; MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2020b).

Os resultados para a análise de higroscopicidade variaram de 2,43 a 5,24 %, sendo que a formulação 9 (sem BM) foi a que mais absorveu água 5,24 % , esta formulação também apresentou a maior umidade quando armazenada em temperatura e umidade ambiente. Na Figura 9, é observado que o glicerol (p-valor 7,15E-06) e a interação do bagaço de malte e glicerol (p-valor 0,0005) tiveram efeito sobre essa análise.

Figura 9. Gráfico de Pareto com os efeitos do glicerol e da interação do glicerol e bagaço de malte na análise de higroscopicidade.

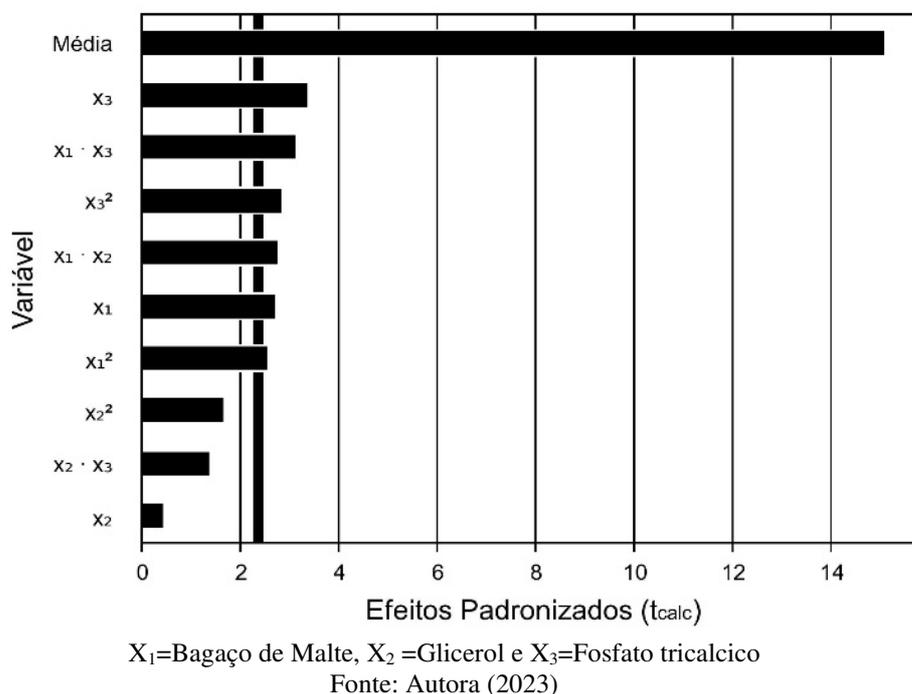


X₁=Bagaço de Malte, X₂=Glicerol e X₃=Fosfato tricalcico

Fonte: Autora (2023)

Na Figura 10 é possível observar que as variáveis independentes BM, G e FTC tiveram efeitos sobre a CAA no tempo 1 minuto. As interações entre essas variáveis também afetaram a CAA. As embalagens dos pontos centrais 0,6 g BM, 0,3 g de G e 0,3 g de FTC absorveram menos água no primeiro minuto, sendo que a formulação 8 (0,96 g BM, 0,48 g G e 0,48 g FTC) também apresentou 18 % de absorção de água. O fosfato tricalcico atuou como antiumedecante nessas formulações, porém não foi possível verificar esse efeito na análise de higroscopicidade.

Figura 10. Gráfico de Pareto com efeitos do fosfato tricalcico, glicerol e bagaço de malte na análise de CAA em 1 minuto



A capacidade de absorção de água variou de 17 a 32 % em 1 minuto, sendo que a formulação 2 (0,96 g BM, 0,12 g de G e FTC) e formulação 13 (0,6 g BM, 0,3 g G e sem fosfato tricálcico) foram as embalagens que mais absorveram água, 32% e 27%, respectivamente. Os resultados encontrados nesse trabalho, foram semelhantes aos encontrados em bandejas feitas com resíduo de gergelim, que resultaram em capacidade de absorção de água de 14% a 22%. Após, 30 minutos a capacidade de absorção de água variou de 291 a 492% conforme tabela 4, resultado superior aos encontrados pelos autores que utilizaram resíduo de gergelim que foi de 105 a 154% (MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017). Os autores observaram que a adição de resíduo de torta de gergelim resultou em diminuição significativa na absorção de água na maior parte do tempo avaliado, porém neste trabalho as formulações com maiores quantidades de BM e menores quantidades de FTC, resultaram em CAA maior.

4.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas das embalagens expandidas de amido estão apresentadas na Tabela 6. Através da análise de regressão realizadas para no mínimo 4

replicatas genuínas, foi possível observar as variáveis que tiveram efeito nas propriedades mecânicas.

Tabela 6. Resultados experimentais das variáveis dependentes (propriedade de flexão e propriedades de tração) para as embalagens desenvolvidas a partir do DCCR

Tratamentos	FLEXÃO		Tensão máxima MPa	TRAÇÃO	
	Resistência máxima MPa	Deflexão máxima mm		Alongamento máximo %	Módulo elástico MPa
1	1,50 ± 0,27	2,33 ± 0,45	1,14 ± 0,27	1,24 ± 0,6	103,79 ± 6,27
2	1,44 ± 0,38	2,47 ± 0,57	1,24 ± 0,25	1,22 ± 0,4	106,22 ± 8,00
3	1,25 ± 0,20	2,31 ± 0,49	1,14 ± 0,34	1,18 ± 0,3	105,56 ± 15,92
4	1,12 ± 0,19	2,37 ± 0,64	0,49 ± 0,13	0,45 ± 0,1	90,86 ± 16,10
5	1,49 ± 0,29	2,55 ± 0,55	1,26 ± 0,28	1,19 ± 0,2	105,49 ± 11,08
6	1,32 ± 0,32	2,81 ± 0,59	0,97 ± 0,20	1,25 ± 0,5	95,76 ± 12,97
7	1,14 ± 0,18	2,60 ± 0,30	1,08 ± 0,25	1,45 ± 0,3	86,75 ± 12,69
8	1,00 ± 0,28	2,26 ± 0,66	1,44 ± 0,47	1,44 ± 0,6	126,64 ± 3,61
9	1,23 ± 0,47	3,05 ± 0,55	1,00 ± 0,27	1,25 ± 0,5	84,77 ± 5,58
10	1,06 ± 0,17	2,09 ± 0,60	1,45 ± 0,40	1,43 ± 0,6	112,12 ± 4,87
11	1,22 ± 0,20	3,35 ± 0,48	0,80 ± 0,33	1,00 ± 0,1	80,20 ± 28,47
12	1,29 ± 0,20	2,70 ± 0,36	1,20 ± 0,27	1,14 ± 0,1	104,59 ± 14,23
13	1,34 ± 0,28	2,69 ± 0,69	0,37 ± 0,17	0,90 ± 0,3	46,34 ± 21,43
14	1,15 ± 0,14	2,52 ± 0,44	1,38 ± 0,25	1,15 ± 0,3	115,57 ± 12,74
15	1,08 ± 0,24	2,12 ± 0,21	1,18 ± 0,18	1,23 ± 0,2	99,55 ± 13,15
16	1,15 ± 0,27	2,56 ± 0,53	1,17 ± 0,44	1,28 ± 0,5	97,36 ± 11,99
17	1,09 ± 0,17	2,73 ± 0,34	1,19 ± 0,33	1,25 ± 0,5	99,01 ± 8,29

*Média ± desvio padrão

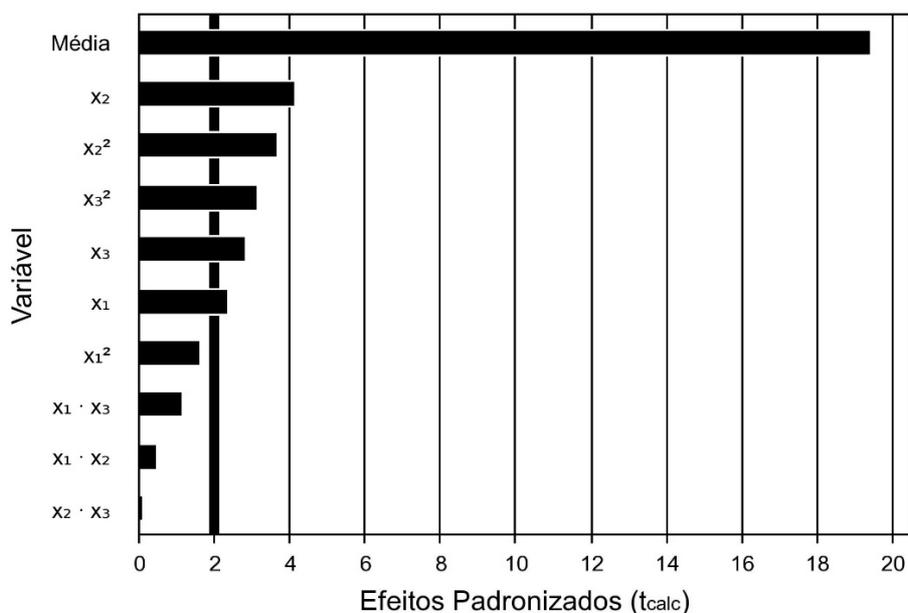
Fonte: Autora (2023)

Na análise de resistência a flexão, os valores máximos encontrados foram 1,50 e 1,49 MPa para as formulações 1 e 5, respectivamente. Através do gráfico de Pareto da Figura 11, foi observado os efeitos causados pelo glicerol, fosfato tricalcico e bagaço de malte nas bandejas. O glicerol apresentou p-valor de 8,03E-05 para X2 (linear) e 0,0004 para X2² (quadrático). Devido seu caráter plastificante, o glicerol influenciou nos resultados de flexão, pois ele enfraquece as ligações de hidrogênio internas da amilose, aumentando assim a fluidez das cadeias de amido, melhorando a flexibilidade e alongamento na ruptura de materiais biodegradáveis à base de amido (CHENG et al., 2021).

As amostras que continham 1% (0,12g) de glicerol, apresentaram os valores máximos encontrados para flexão, porem maiores quantidades de glicerol não melhoraram os valores encontrados para essa análise. Nas formulações 1 e 5 a quantidade de bagaço de malte e glicerol foi mínima, mostrando que a presença desses materiais em

pequenas quantidades pode influenciar a resistência a flexão, porém em maiores quantidades não foi observado melhora na resistência a flexão, devido à falta de ajuste do modelo.

Figura 11. Gráfico de Pareto com os efeitos do glicerol, fosfato tricalcico e bagaço de malte na resistência a flexão das bandejas.

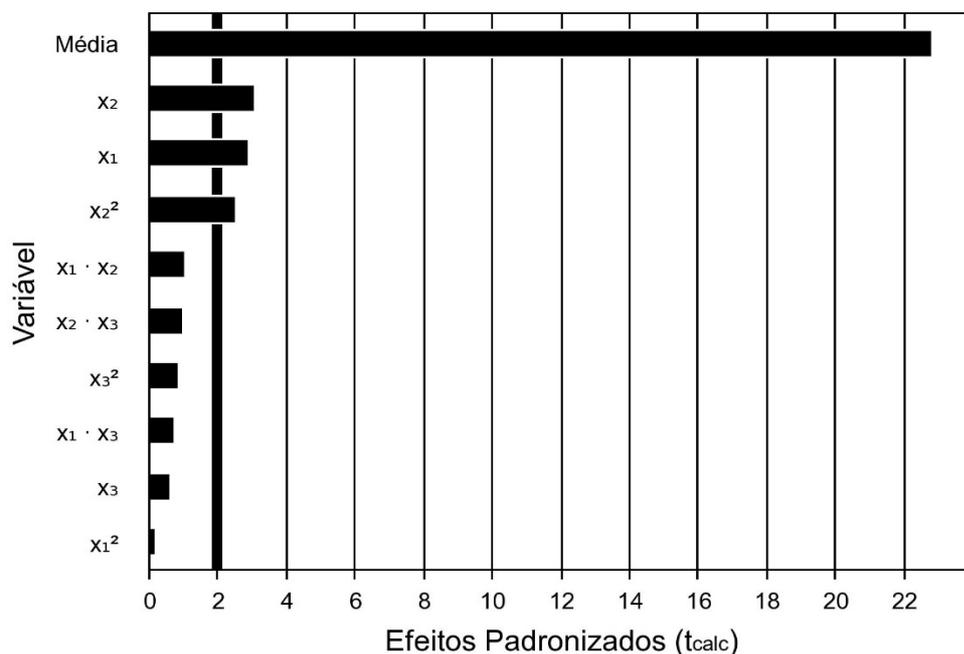


X₁=Bagaço de Malte, X₂=Glicerol e X₃=Fosfato tricalcico

Fonte: Autora (2023)

Na Figura 12 que apresenta o gráfico de Pareto para a deflexão máxima, observa-se a influência do glicerol e bagaço de malte, com p-valor de 0,0026 para X₂, 0,005 para X₁ e 0,014 para X₂². A formulação 9 (sem BM) e 11 (sem glicerol), apresentaram os maiores valores de deflexão máxima 3,0540 e 3,3503 mm, respectivamente, a água pode ter atuado como um plastificante, reduzindo as ligações internas de hidrogênio entre as cadeias poliméricas melhorando sua deflexão, essa melhor na mobilidade também foi observado em trabalhos com bagaço de malte e com casca de amendoim (MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2020b; MELLO; MALI, 2014).

Figura 12. Gráfico de Pareto com os efeitos do glicerol e bagaço de malte na deflexão máxima das bandejas.

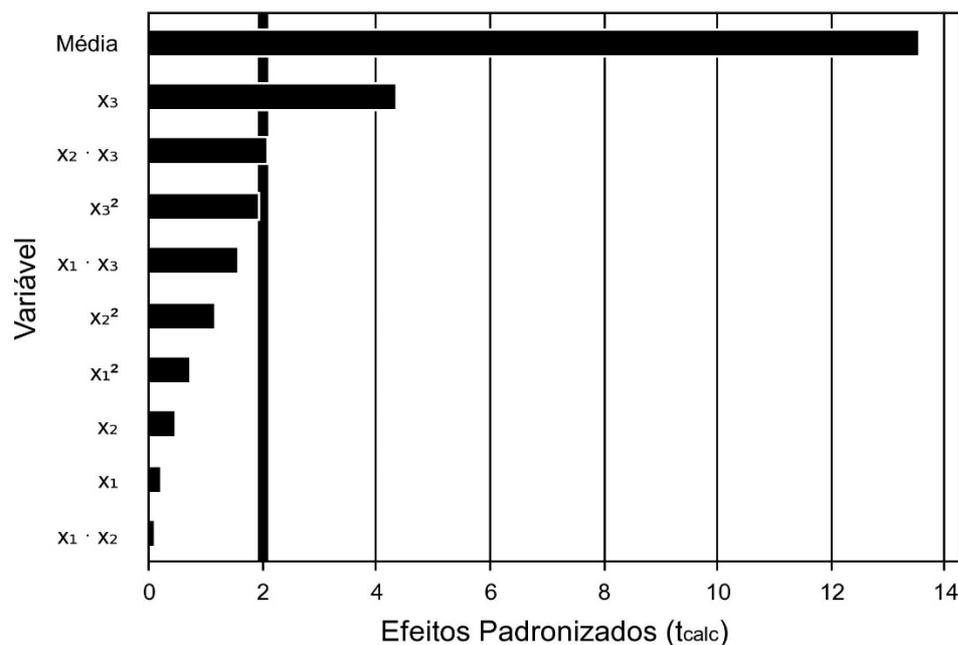


X₁=Bagaço de Malte, X₂=Glicerol e X₃=Fosfato tricalcico
 Fonte: Autora (2023)

A presença de bolhas, rugosidades e uma superfície mais porosas como mostrado nas Figuras 6 e 7, podem ter influenciado nas propriedades mecânicas. Machado; Benelli; Tessaro (2020b) identificaram a presença de furos e porosidade em embalagens de amido reforçadas com casca de amendoim, que podem ter alterado as propriedades mecânicas, resultando em um ponto de fragilidade para ocorrer a ruptura desses materiais. Esses pontos de fragilidade, podem ter afetado negativamente os resultados, podendo ser um dos motivos para a falta de ajuste do modelo.

Na análise de resistência a tração, os valores máximos encontrados foram de 1,44 e 1,45 MPa, formulações 8 e 10 respectivamente. As variáveis que tiveram efeitos conforme Figura 13 foram o fosfato tricalcico e a interação entre glicerol e fosfato tricalcico, com p-valor de 5,62E-05 e 0,04.

Figura 13. Gráfico de Pareto com os efeitos do fosfato tricalcico e interação entre glicerol e fosfato tricalcico na análise de tensão máxima das bandejas



X₁=Bagaço de Malte, X₂=Glicerol e X₃=Fosfato tricalcico

Fonte: Autora (2023)

A formulação 13 que não continha fosfato tricalcico obteve o menor módulo elástico e menor resistência a tração tornando o material mais fraco. A adição do fosfato tornou o material mais rígido e mais resistente no ensaio de tração, sendo corroborado por estudos para fazer próteses, onde a adição de fosfato tricalcico torna as próteses mais rígidas e mais resistentes (CARBAJAL; CABALLERO; SAINZ, 2012; MARTÍNEZ; VELÁSQUEZ; DE AZA, 2010).

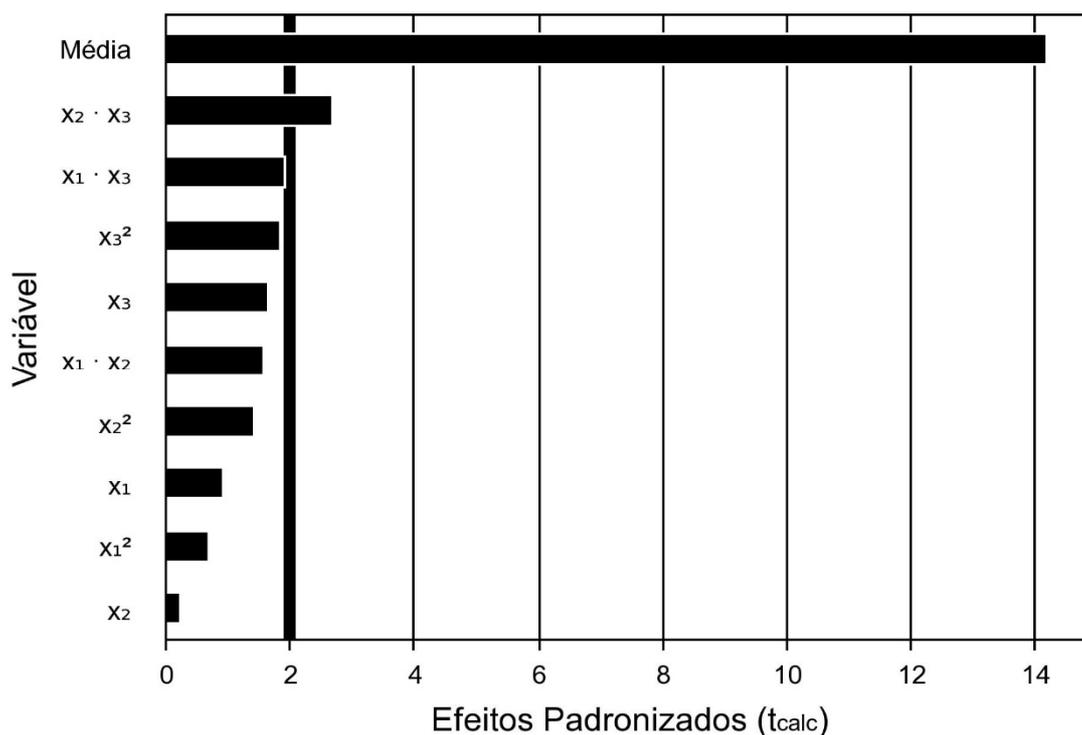
As formulações 8 e 10 adicionadas de bagaço de malte (0,96 e 1,2 g), glicerol (0,48 e 0,3g) e fosfato tricalcico (0,48 e 0,3g), resultaram em tensões de ruptura 1,4367 e 1,4536 MPa, respectivamente. As bandejas foram mais resistentes e rígidas ao rasgo, porém mais frágeis e menos flexíveis resultando em menor resistência a flexão 0,9956 e 1,0550 Mpa e menor deflexão 2,2620 e 2,0856 mm, respectivamente. No trabalho de Aguilar; Tapia-Blacido (2023) em que as bandejas de amido foram reforçadas com farinha de caroço de abacate, os autores observaram que o aumento na concentração da farinha de semente de abacate melhorou a resistência a tração das bandejas (1,3 a 2,1 MPa), porém diminuiu valores de resistência a flexão (50,8 a 40,4 N) outra observação dos autores foi que a bandeja controle (sem resíduo) obteve uma resistência a tensão de

2,9 MPa superior as com resíduos, o mesmo ocorreu com a resistência a flexão (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023).

Em bandejas elaboradas com resíduos de gergelim os autores encontraram resistência a tração de 0,43 a 1,34 Mpa. Esses autores também avaliaram bandejas de EPS comercial que resultaram em resistência a tração de 0,75 Mpa, inferior ao relatado neste trabalho e resistência a flexão de 2,6 MPa, resultado superior ao encontrado neste trabalho (MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017).

O alongamento máximo (%) variou de 0,45 a 1,45 %, na Figura 14 em que é apresentado o gráfico de Pareto, é possível observar que a interação entre o fosfato tricálcico e o glicerol tiveram efeitos sobre essa análise. Quanto maior a quantidade de fosfato tricalcico e Glicerol melhor foi o alongamento máximo. Quanto maior o alongamento máximo, mais elástico é o material.

Figura 14. Gráfico de Pareto com os efeitos da interação entre glicerol e fosfato tricalcico na análise de tensão máxima das bandejas



X₁=Bagaço de Malte, X₂=Glicerol e X₃=Fosfato tricalcico

Fonte: Autora (2023)

O alongamento máximo encontrado em alguns trabalhos variou de 3,9 a 4,0 % (resíduo de casca de amendoim) e de 0,7 a 1,3 % (resíduo de caroço de abacate), sendo

que quantidades maiores de fibras diminuiu o alongamento máximo (AGUILAR; TAPIA-BLÁCIDO, 2023; MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2020b). Por mais que quantidades maiores de FTC e G, podem ter melhorado o alongamento máximo, a interação com o BM pode ter prejudicado a estrutura e conseqüentemente diminuído o alongamento das bandejas. Autores também observaram que, a adição de resíduos agroindustriais com alto teor de fibras na matriz de amido, diminuiu as propriedades mecânicas de tração das bandejas, como no caso da adição de resíduo de malte e resíduo de torta de gergelim (MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017; MELLO; MALI, 2014).

4.6 COLORIMETRIA

Os resultados experimentais da análise de cor do sistema CIELAB estão apresentadas na Tabela 7. O modelo foi estaticamente significativo com p-valor menor que 0,05 para os parâmetros L^* , a^* e b^* . Sendo que pelos coeficientes de determinação mais de 95% dos resultados experimentais estão ajustado ao modelo.

O parâmetro L^* , que indica a luminosidade, variou de 67,06 a 79,86. Pela Figura 15a) gráfico de Pareto, é possível observar que o BM e o FTC tiveram efeitos sobre a luminosidade das embalagens. Desta forma, quanto maior a quantidade de FTC e menor a quantidade de BM, maior foi o parâmetro L^* . A formulação 9 que não possui BM, resultou em uma luminosidade maior, indicada pelo maior valor do parâmetro L^* . Em trabalho com a adição de bagaço de malte, o parâmetro L^* variou de 59 a 79, sendo que a formulação que não continha resíduo resultou na maior luminosidade (MELLO; MALI, 2014). Os autores observaram que quanto maior a quantidade de resíduo adicionado, menor foi o valor do parâmetro L^* , o que ocorreu nesse trabalho também.

O parâmetro a^* variou de -0,24 a 3,50. Pela figura 15b) gráfico de Pareto, é possível observar que o BM, G e FTC influenciaram no resultado o parâmetro a^* . Quanto maior a adição de BM e G nas formulações, maior foi o parâmetro a^* . As interações com o FTC também influenciaram nos valores desse parâmetro. Esse parâmetro indica o espaço de cor entre vermelho(+) e verde (-). A formulação 9 que não continha BM, resultou no parâmetro a^* de -0,24. No trabalho em que os autores adicionaram BM as bandejas, o parâmetro a^* variou de -0,2 (sem BM) a 5,3 (MELLO; MALI, 2014).

Tabela 7. Resultados experimentais das variáveis dependentes (análise de cor sistema CIELAB) para as embalagens desenvolvidas a partir do DCCR

Tratamentos	L*	a*	b*
1	75,80 ± 1,45	0,69 ± 0,31	10,36 ± 0,88
2	70,92 ± 1,41	1,99 ± 0,22	15,30 ± 0,69
3	74,12 ± 1,14	1,12 ± 0,19	11,73 ± 0,77
4	67,06 ± 0,83	3,50 ± 0,28	19,90 ± 0,90
5	78,26 ± 1,33	0,47 ± 0,19	9,81 ± 0,61
6	71,01 ± 1,66	1,86 ± 0,21	16,55 ± 0,56
7	76,23 ± 0,87	0,91 ± 0,12	10,84 ± 1,16
8	72,12 ± 0,95	2,17 ± 0,25	16,47 ± 1,45
9	79,86 ± 2,94	-0,24 ± 0,07	4,38 ± 0,43
10	68,21 ± 1,58	2,86 ± 0,26	18,95 ± 1,01
11	74,17 ± 1,19	1,29 ± 0,29	11,56 ± 0,38
12	71,95 ± 1,23	2,21 ± 0,21	15,14 ± 1,53
13	69,13 ± 1,25	2,46 ± 0,17	16,47 ± 0,65
14	73,24 ± 0,84	2,03 ± 0,24	15,05 ± 1,18
15	73,64 ± 1,16	1,61 ± 0,36	14,19 ± 1,19
16	71,06 ± 1,19	2,13 ± 0,11	15,17 ± 1,00
17	72,85 ± 1,19	1,77 ± 0,13	13,60 ± 0,82
p- valor	0,0008	0,0004	0,0003
Falta de ajuste (p-valor)	0,7252	0,5400	0,3321
R ²	0,9527	0,9606	0,9630

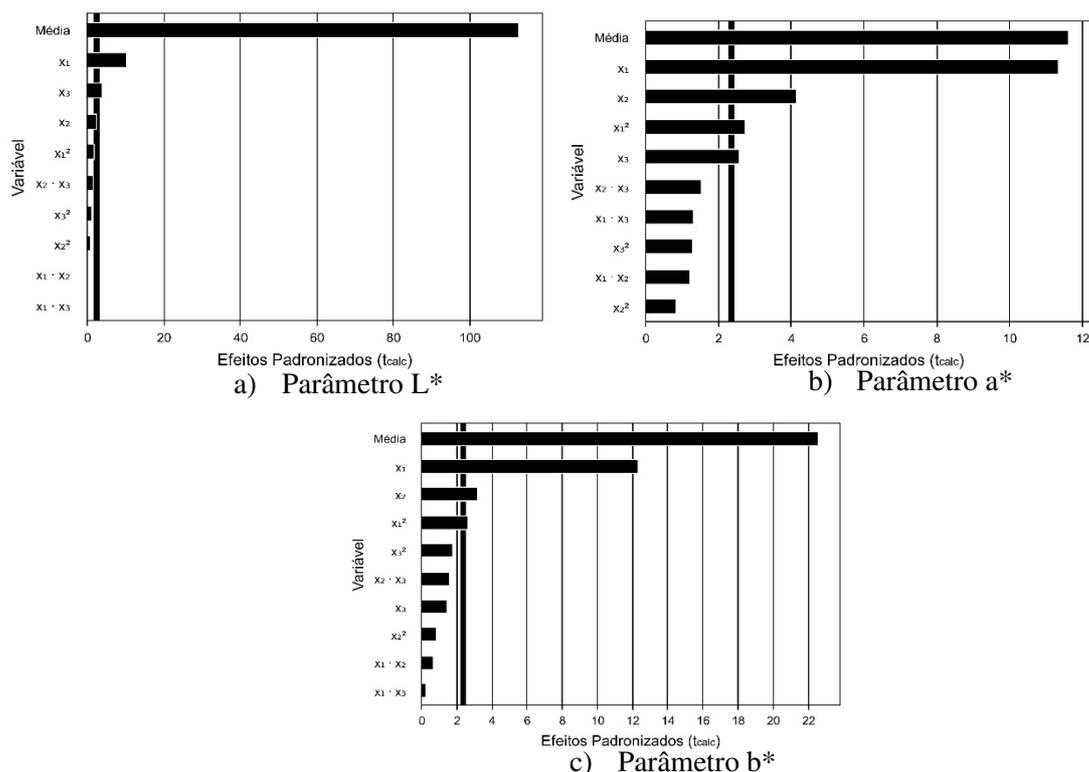
Média ± desvio padrão

Modelo estatisticamente significativo p-valor < 0,05

Fonte: Autora (2023)

O efeito visual mais pronunciado nas bandejas foi a coloração amarelada, indicada pelo aumento do parâmetro b^* . As alterações de cor das espumas podem estar relacionadas com a cor inerente do resíduo adicionado, pois o bagaço de malte possui essa cor tendendo para um amarelo/marrom. Esses valores estão de acordo com os resultados relatados por outros autores, que observaram maior coloração amarela em compósitos de amido contendo fibra (MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017; MELLO; MALI, 2014).

As formulações que foram adicionadas de bagaço de malte apresentaram coloração amarelada. Apenas a formulação 9 que não continha bagaço de malte apresentou uma coloração mais clara (branca). As formulações 1, 3, 5 e 7 adicionadas de 0,12 g de BM apresentaram coloração amarelo mais claro conforme figura 16, resultando em valores menores do parâmetro b^* conforme tabela 6.

Figura 15. Gráficos de Pareto para os parâmetros $L^*a^*b^*$ 

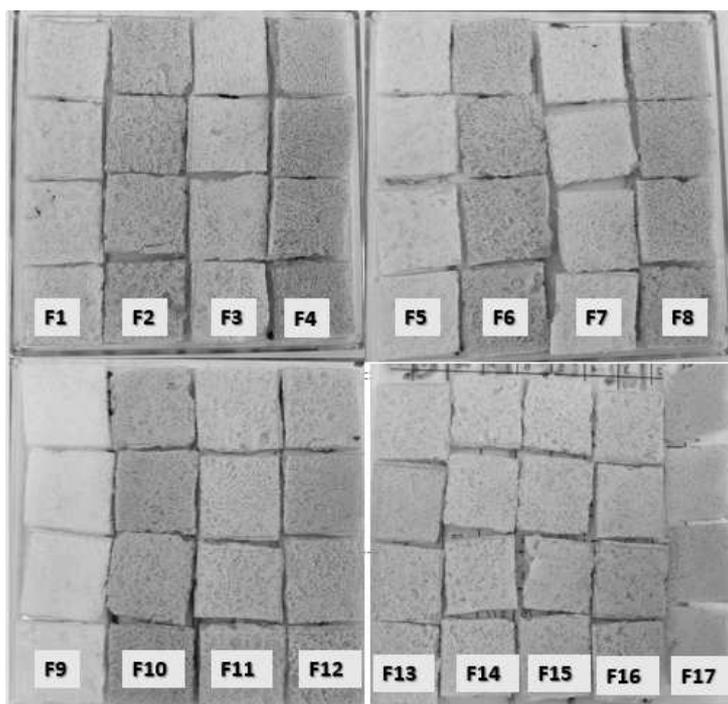
X_1 =Bagaço de Malte, X_2 =Glicerol e X_3 =Fosfato tricalcico

Fonte: Autora (2023)

A figura 15c mostra que o BM e G, afetaram o parâmetro b^* . O glicerol também influenciou em valores maiores de b^* . Ou seja, quanto maior a quantidade de BM e G, maior foi o resultado do parâmetro b^* . Neste trabalho a formulação 12 que continha a maior quantidade de BM (1,2 g), não apresentou o maior valor para o parâmetro b^* , pois continha quantidade intermediária de G.

Machado et al. (2017), ao estudarem bandejas de amido com resíduo de gergelim encontraram parâmetros de cor L^* (59 a 66), a^* (1,9 a 5,3) e b^* (14,1 a 19,6) e observaram que quanto maior a quantidade de resíduo adicionado maior foi o parâmetro b^* . O resíduo de gergelim possui coloração semelhante ao BM, demonstrando que a coloração das bandejas é influenciada pela quantidade de resíduos adicionadas. Alguns autores relataram que essa cor amarelada, pode ser devido à alta temperatura utilizada no processo e possivelmente está associada à ocorrência de reações de Maillard devido ao alto teor de carboidratos e proteínas na matéria-prima (MACHADO; BENELLI; TESSARO, 2017; MELLO; MALI, 2014).

Figura 16. Diferença de cor das bandejas das 17 formulações do DCCR



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

5 CONCLUSÃO

Através de um delineamento multivariado foi possível verificar os efeitos causados pelo bagaço de malte, glicerol e fosfato tricalcico, nas propriedades físicas das bandejas expandidas de amido. A partir deste trabalho foi possível otimizar uma formulação para o desenvolvimento de bandejas expandidas e amido.

O fosfato tricalcico diminuiu a CAA 1 min das bandejas, porém esse efeito não foi observado na higroscopicidade, como esperado. Porém observou-se que o fosfato tricalcico influenciou positivamente nas propriedades mecânicas, melhorando a resistência à tração e o alongamento a ruptura, mostrando que o material ficou mais resistente, necessitando de mais força para a ruptura.

A presença do bagaço de malte em quantidades de 2% em relação ao amido é suficiente para atuar como reforço, porém em maiores quantidades acaba deixando a embalagem mais quebradiça e menos flexível. Quantidades altas de bagaço de malte aumentam a densidade das embalagens, não sendo desejável para aplicações que visam substituir o EPS.

O glicerol influenciou na flexão e na resistência à tração das embalagens, sendo necessário apenas 1% de glicerol em relação ao amido para melhorar estas propriedades. Elevadas concentrações de glicerol não melhoraram a flexibilidade das bandejas. A

As embalagens expandidas de amido de mandioca, tem grande potencial como alternativa as embalagens de EPS. Porém, como observado neste trabalho ainda maiores é necessário o estudo destas embalagens na substituição nas aplicações de uso único.

Para trabalhos futuros acredita-se que a otimização de uma nova formulação e aplicação das bandejas como embalagem em diferente alimentos e temperaturas é necessária, considerando outros insumos e matérias-primas, bem como estudar a biodegradação das embalagens.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, G. J.; TAPIA-BLÁCIDO, D. R. Evaluating how avocado residue addition affects the properties of cassava starch-based foam trays. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 240, n. January, 2023.
- AMIN, U. et al. Potentials of polysaccharides , lipids and proteins in biodegradable food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, n. February, p. 2184–2198, 2021.
- ASTM, -AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D790-02 Métodos de teste padrão para propriedades de flexão de plásticos não reforçados e reforçados e materiais de isolamento elétrico**. West Conshohocken, PA: 2002, 2002.
- BALBO, T. D.; TOSTA, Y. A. N. F. Análise da opinião do consumidor em relação ao descarte de EPS e seus impactos ambientais. **Revista ciências do Ambiente on-line**, v. 8, p. 22–27, 2012.
- BEATRIZ, A.; ARAÚJO, Y. J. K.; DE LIMA, D. P. Glicerol: Um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, n. 2, p. 306–319, 2011.
- BÉNÉZET, J. et al. Mechanical and physical properties of expanded starch , reinforced by natural fibres. **Industrial Crops & Products**, v. 37, n. 1, p. 435–440, 2012.
- BERGEL, B. F.; MACHADO, L.; SANTANA, M. R. C. Progress in Organic Coatings E ff ect of poly (lactic acid) coating on mechanical and physical properties of thermoplastic starch foams from potato starch. **Progress in Organic Coatings**, v. 118, n. January, p. 91–96, 2018.
- BERTOFT, E. Understanding Starch Structure : Recent Progress. **Agronomy**, v. 7, p. 1–29, 2017.
- BLAGBROUGH, I. S. et al. Phytochemistry Cassava : An appraisal of its phytochemistry and its biotechnological prospects. **Phytochemistry**, v. 71, n. 17–18, p. 1940–1951, 2010.
- BREUNINGER, W. F.; PIYACHOMKWAN, K.; SRIROTH, K. **Tapioca / Cassava Starch : Production and Use**. Third Edit ed. [s.l.] Elsevier Inc., 2009.
- CARBAJAL, L.; CABALLERO, A.; SAINZ, M. A. Design and processing of ZnO doped tricalcium phosphate based materials : Influence of B/a polymorph phase assemblage on microstructural evolution. **Journal of the European Ceramic Society**, v. 32, n. 3, p. 569–577, 2012.
- CARVALHO, F. A. DE et al. Baked Foams Based on Cassava Starch Coated with Polyvinyl Alcohol with a Higher Degree of Hydrolysis. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 0, n. 0, p. 0, 2017.
- CHAIREH, S.; NGASATOOL, P.; KAEWTATIP, K. Novel composite foam made from starch and water hyacinth with beeswax coating for food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, p. 1382–1391, 2020.
- CHENG, H. et al. Trends in Food Science & Technology Starch-based biodegradable packaging materials : A review of their preparation , characterization and diverse applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, n. February, p. 70–82, 2021.
- DESHWAL, G. K.; PANJAGARI, N. R.; ALAM, T. An overview of paper and paper based food packaging materials: health safety and environmental concerns. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 10, p. 4391–4403, 2019.
- DRESCH, A. P. et al. Different Treatments of Pearl Millet Biomass for Cellulose Recovery:

Effects on Lignocellulosic Composition. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 57, n. 3–4, p. 227–236, 2023.

ENGEL, J. B.; AMBROSI, A.; TESSARO, I. C. Development of biodegradable starch-based foams incorporated with grape stalks for food packaging. **Carbohydrate Polymers**, v. 225, n. May, p. 115234, 2019.

ENGEL, J. B.; LUCHESE, C. L.; TESSARO, I. C. Food Hydrocolloids How are the properties of biocomposite foams influenced by the substitution of cassava starch for its residual sources? **Food Hydrocolloids**, v. 118, n. March, p. 106790, 2021.

FERREIRA, D. C. M.; MOLINA, G.; PELISSARI, F. M. Biodegradable trays based on cassava starch blended with agroindustrial residues. **Composites Part B**, v. 183, n. November 2019, p. 1–10, 2020.

GEUEKE, B.; GROH, K.; MUNCKE, J. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 491–505, 2018.

HSIEH, C. F. et al. Structure, properties, and potential applications of waxy tapioca starches – A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 83, n. November 2018, p. 225–234, 2019.

KAISANGSRI, N.; KERDCHOECHUEN, O.; LAOHAKUNJIT, N. Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan. **Industrial Crops & Products**, v. 37, n. 1, p. 542–546, 2012.

LIU, Y. et al. New insights into starch gelatinization by high pressure : Comparison with. **Food Chemistry**, v. 318, n. February, p. 126493, 2020.

LUNA, P. et al. Biodegradable foams based on extracted fractions from sorghum by-products. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 749, n. 1, 2021.

MACHADO, C. M.; BENELLI, P.; TESSARO, I. C. Sesame cake incorporation on cassava starch foams for packaging use. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 115–121, 2017.

MACHADO, C. M.; BENELLI, P.; TESSARO, I. C. Effect of acetylated starch on the development of peanut skin-cassava starch foams. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, p. 1706–1716, 2020a.

MACHADO, C. M.; BENELLI, P.; TESSARO, I. C. Study of interactions between cassava starch and peanut skin on biodegradable foams. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 1343–1353, 2020b.

MARENGO, V. A.; VERCELHEZE, A. E. S.; MALI, S. Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 680–685, 2013.

MARTEN, B.; HICKS, A. Expanded Polystyrene Life Cycle Analysis Literature Review: An Analysis for Different Disposal Scenarios. **Sustainability (United States)**, v. 11, n. 1, p. 29–35, 2018.

MARTÍNEZ, I. M.; VELÁSQUEZ, P. A.; DE AZA, P. N. Synthesis and stability of α -tricalcium phosphate doped with dicalcium silicate in the system $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-Ca}_2\text{SiO}_4$. **Materials Characterization**, v. 61, p. 761–767, 2010.

MATSUDA, D. K. M. et al. Baked foams of cassava starch and organically modified nanoclays. **Industrial Crops & Products**, v. 44, p. 705–711, 2013.

MELLO, L. R. P. F.; MALI, S. Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. **Industrial Crops & Products**, v. 55, p. 187–193, 2014.

REIS, H. F. et al. Conservação pós-colheita de alface crespa, de cultivo orgânico e

convencional, sob atmosfera modificada. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 303–309, 2014.

SÁNCHEZ, T. et al. Screening of Starch Quality Traits in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Starch**, v. 61, p. 12–19, 2009.

SANHAWONG, W. et al. Effect of concentrated natural rubber latex on the properties and degradation behavior of cotton-fiber-reinforced cassava starch biofoam. **Industrial Crops and Products**, v. 108, n. July, p. 756–766, 2017.

SHAIKH, S.; YAQOOB, M.; AGGARWAL, P. An overview of biodegradable packaging in food industry. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 503–520, 2021.

SOYKEABKAEW, N.; THANOMSILP, C.; SUWANTONG, O. A review: Starch-based composite foams Nattakan. **COMPOSITES PART A**, v. 78, p. 246–263, 2015.

STEINMACHER, N. C. et al. Bioconversion of brewer ' s spent grains by reactive extrusion and their application in bread-making. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 542–547, 2012.

STOFFEL, F. et al. Influence of Plasticizers in Enzymatic Degradation and Water Resistance of Starch Foam Trays Obtained by Thermal Expansion. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 0, n. 0, p. 0, 2019.

SUNDUM, T.; MÉSZÁROS, K.; KAEWTATIP, K. Preparation and characterization of thermoplastic starch composites with fly ash modified by planetary ball milling. **Carbohydrate Polymers**, v. 191, n. February, p. 198–204, 2018.

TAPIA-BLÁCIDO, D. R. et al. Trends and challenges of starch-based foams for use as food packaging and food container. **Trends in Food Science and Technology**, v. 119, n. December 2021, p. 257–271, 2022.

VERCELHEZE, A. E. S. et al. Properties of baked foams based on cassava starch , sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1302–1310, 2012.

WANG, Y. et al. A review of structural transformations and properties changes in starch during thermal processing of foods. **Food Hydrocolloids**, v. 113, n. December 2020, p. 106543, 2021.

WU, F.; MISRA, M.; MOHANTY, A. K. Challenges and new opportunities on barrier performance of biodegradable polymers for sustainable packaging. **Progress in Polymer Science**, v. 117, n. april, p. 1–40, 2021.

ZHU, F. Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 122, p. 456–480, 2015.