



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS LARANJEIRAS DO SUL
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

JULIANA CABRAL DA CRUZ

**ELABORAÇÃO DE BANDEJAS EXPANDIDAS DE AMIDO DE BATATA
REFORÇADAS COM BAGAÇO DE MALTE**

**LARANJEIRAS DO SUL
2019
JULIANA CABRAL DA CRUZ**

**ELABORAÇÃO DE BANDEJAS EXPANDIDAS DE AMIDO DE BATATA
REFORÇADAS COM BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos
pela Universidade Federal da Fronteira Sul.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vânia Zanella Pinto

LARANJEIRAS DO SUL

2019

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Cruz, Juliana Cabral da
Elaboração de Bandejas Expandidas de Amido Reforçadas
com Bagaço de Malte / Juliana Cabral da Cruz. -- 2019.
39 f.:il.

Orientador: Doutora Vânia Zanella Pinto.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Engenharia de Alimentos, Laranjeiras do Sul, PR , 2019.

1. Bandejas Expandidas de Amido. 2. Bagaço de Malte.
I. Pinto, Vânia Zanella, orient. II. Universidade
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

JULIANA CABRAL DA CRUZ

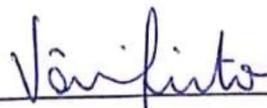
**ELABORAÇÃO DE BANDEJAS EXPANDIDAS DE AMIDO DE BATATA
REFORÇADAS COM BAGAÇO DE MALTE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Alimentos na Universidade Federal da Fronteira Sul – Campus Laranjeiras do Sul-PR.

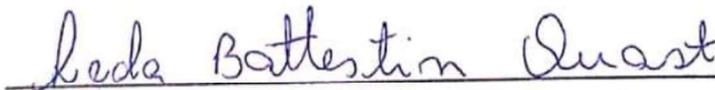
Orientador: Professora Dr^a. Vânia Zanella Pinto

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em: 16/12/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Vânia Zanella Pinto



Prof^a. Dr^a. Leda Battestin Quast



Eng^a. de Alimentos Elisangela Vanessa Hadlich

Dedico a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a elaboração deste trabalho. Aos meus pais, amigos e mestres pelo carinho e amor.

L'essentiel Est Invisible Aux Yeux - Le Petit Prince

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus por ter me permitido chegar até aqui, mesmo não sendo fácil.

Agradeço aos meus pais Raquel Cabral e Adilson Toledo por todo o suporte, amor, proteção, dedicação e cuidado ao longo destes 6 anos em que estive longe de casa. Obrigado por sempre acreditarem em mim e me incentivarem, durante toda a minha vida, a nunca desistir dos meus sonhos. Isto me tornou quem eu sou hoje. Amo-os de todo o meu coração e não imagino como seria esta jornada sem vocês na minha vida.

Agradeço também a todos os meus amigos, que no final acabaram se tornando a minha família quando estive longe de casa. Agradeço a Naiara Nobre – my little angel-, Anna Flávia Moraes, Daniele Marcheseli – minha eterna companheira de Laboratório -, Larissa Schlichting e a Larissa Alves por sempre estarem ao meu lado, mesmo nos momentos mais difíceis pelos quais passei na graduação. Vocês não tem ideia do quanto são importantes para mim e em como me ajudaram a me tornar uma pessoa cada vez melhor. Desejo que tudo de melhor e maravilhoso aconteça na vida de vocês e sei que mesmo estando longe sempre estaremos conectadas de alguma maneira. Enfim, MUITO OBRIGADO!!

Aos meus veteranos favoritos, Mayara Kuasnei e Eduardo Leonarski, agradeço por toda a ajuda e suporte que me deram durante a graduação. Vocês são pessoas incríveis se tornaram meus grandes amigos. Desejo tudo de mais lindo que esta vida pode proporcionar a vocês e que se tornem mestres e doutores excelentes.

A Vanessa Cunha, Letícia Duglokenski, Edlaine Costa e Davi Koester, desejo uma boa continuidade na graduação. Que vocês nunca desistam de chegar onde almejam, mesmo diante das dificuldades, pois elas nos moldam pessoas melhores e mais fortes. Ao Davi Koester agradeço por toda ajuda e diversão no laboratório.

Agradeço aos professores Gustavo Fidelis e Larissa Bertan por todo o ensinamento e ajuda que me deram quando precisei entrar em regime domiciliar. Agradeço de coração por não desistirem de mim e me incentivarem a concluir o curso. Vocês não foram apenas mestres, mas sim anjos que a vida me enviou. Amo vocês!!

Agradeço a professora Vânia Zanella por toda a orientação, suporte e paciência durante a elaboração deste trabalho. Por sempre estar à disposição para me auxiliar e não medir esforços para a realização deste trabalho. Obrigado por todo o conhecimento compartilhado.

Agradeço a todos os professores que tive na graduação por todo conhecimento transmitido a longo destes anos. Não tenho dúvidas que tive os melhores ao longo dessa caminhada.

Por fim, agradeço a Unicentro pela doação das batatas necessárias para a realização deste trabalho e Bárbara Biduski pela realização da análise de flexão das espumas expandidas.

RESUMO

O amido é um polímero renovável e biodegradável que vem sendo foco de diversas pesquisas cuja proposta é o desenvolvimento de estruturas capazes de substituir materiais produzidos a partir de polímeros sintéticos, em especial embalagens de uso único como o poliestireno expandido (EPS), de modo a reduzir os problemas ambientais causados pelo descarte inapropriado de resíduos plásticos. Entretanto, a elevada hidrofobicidade e fragilidade do amido limitam sua aplicabilidade. A adição de plastificantes e materiais ricos em fibras lignocelulósicas, como o bagaço de malte são abordagens aplicadas para reverter estes problemas. Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e caracterizar espumas expandidas à base de amido de batata reforçadas com bagaço de malte, obtidas por expansão térmica em molde fechado, segundo um planejamento experimental do tipo composto central. O foco do planejamento experimental foi avaliar o efeito dos fatores de controle (concentrações de glicerol e de bagaço de malte) nas variáveis de resposta (umidade, atividade de água, espessura, densidade e capacidade de absorção de água (CAA)). Os resultados mostraram que a adição de bagaço de malte resultou em espumas com menores espessuras e conseqüentemente maiores densidades, enquanto espumas com maiores teores de glicerol apresentaram os maiores teores de CAA. Neste experimento, foi possível verificar que dentro dos parâmetros estudados o ensaio 3 (30% m/m de resíduo e 2,5 % m/m de glicerol) se mostrou mais favorável para ser aplicado em alimentos, pois apresentou uma umidade de $9,424 \pm 0,073\%$, espessura de $3,655 \pm 0,301$ mm, densidade de $0,330 \pm 0,004 \text{ g.cm}^{-3}$, atividade de água de $0,477 \pm 0,002$, L* de $60,04 \pm 1,22$, C* de $21,52 \pm 1,23$ e H de $75,85 \pm 0,74$, estando dentro dos parâmetros adequados. Para a CAA foi realizada a análise do intervalo de confiança para 95% e apresentou um resultado de $(\pm 40,14)$ que indica a margem de incerteza da análise, mostrando que o intervalo entre o limite inferior e superior contém o verdadeiro parâmetro para a CAA. Com relação a análise de flexão das amostras, foi constatado que as mesmas não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$), mostrando que a adição do bagaço e do glicerol não afetaram os resultados.

Palavras-chave: amido de batata, bagaço de malte, espumas, planejamento experimental, embalagem para alimentos.

ESPECIFICAÇÕES DA REVISTA QUE SERÁ ALVO PARA A SUBMISSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi redigido em forma de um artigo de acordo com as normas da revista *Journal of Foods Processing and Preservation*. As normas das revistas que foram utilizadas como base para a formatação e se encontram no ANEXO 1.

EXPANDED POTATO TRAYS REINFORCED WITH MALTE BAGASSE

HIGHLIGHTS

- O amido utilizado apresentou teor de amilose de 22%, indicado para materiais expandidos;
- O teor de proteína bruta e fibra bruta do bagaço de malte mostraram potencial aplicação como material de reforço;
- A incorporação do bagaço de malte, em excesso, causou redução da espessura média e aumento da densidade das bandejas expandidas;
- A CAA das bandejas expandidas foi diretamente influenciado pelo aumento da concentração de plastificantes às formulações;
- O ensaio com 30% (m/m) de resíduo e 2,5 % (m/m) de glicerol mostrou-se favorável para aplicação em alimentos.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Delineamento experimental para elaboração de bandejas expandidas de amido com as variáveis independentes concentração de bagaço de malte e plastificante.	17
Tabela 2. Delineamento experimental composto central rotacional (DCCR) completo.	17
Tabela 3. Teor de umidade, cinzas, capacidade de absorção de água (CAA), capacidade de absorção de óleo (CAO) e teor de amilose do amido de batata cultivar Asterix.....	21
Tabela 4. Resultado das análises de umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, fibra bruta, CAA e CAO do bagaço de malte.	23
Tabela 5. Umidade, espessura, densidade, atividade de água, luminosidade (L*), cromaticidade (C*) e ângulo <i>hue</i> (H) das diferentes formulações das bandejas expandidas.	25
Tabela 6. ANOVA para as variáveis resíduo e plastificante em função da CAA das bandejas durante 30 minutos de exposição.....	30
Tabela 7. Dados da flexão para as bandejas expandidas segundo delineamento experimental.	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama representando o espaço de cor(a) CIE ($L^*a^*b^*$) e (b) CIE $L^*C^*h^*$	19
Figura 2. Relação da quantidade de resíduo de malte e a densidade das bandejas expandidas.	27
Figura 3. Capacidade de absorção de água das bandejas de amido de batata expandidas reforçadas com bagaço de malte em diferentes tempos de imersão em água.....	29
Figura 4. Superfície de resposta para o efeito das concentrações de resíduo (%) e plastificante (%) em função da absorção das amostras durante 30 minutos.	31
Figura 5. Imagem do corte transversal das bandejas expandidas de amido reforçadas com bagaço de malte. (A) Formulação controle, elaborada com amido (43%), plastificante (5%), desmoldante (1%); (B) Ensaio 1 bandeja reforçada com bagaço de malte (10%), plastificante (2,5%); (C) Ensaio 2 bandeja reforçada com bagaço de malte (30%), plastificante (7,5%); (D) Ensaio 3 bandeja reforçada com bagaço de malte (30%), plastificante (2,5%); (E) Ensaio 4 bandeja reforçada com bagaço de malte (10%), plastificante (7,5%); (F) Ensaio 5 bandeja reforçada com bagaço de malte (20%), plastificante (5%).....	33

Sumário

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo geral.....	14
1.1.2. Objetivos Específicos.....	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1. MATERIAIS	15
2.2. MÉTODOS	15
2.2.1 Extração do Amido de Batata.....	15
2.2.2. Determinação do Teor de Amilose do Amido.....	15
2.2.3. Preparo do bagaço de malte	16
2.2.4. Granulometria do bagaço de malte.....	16
2.2.5 Composição química do amido e do bagaço de malte	16
2.2.6 Elaboração e Caracterização das Bandejas Expandidas.....	17
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
3.1. Caracterização das Matérias-Primas	21
3.1.1. Amido.....	21
3.1.2. Bagaço de Malte.....	22
3.2. Caracterização das Bandejas Expandidas	24
3.2.1. Umidade, Espessura, Densidade e Capacidade de Absorção das Bandejas	24
3.2.2. Análise Colorimétrica	31
3.2.3. Análise Morfológica.....	32
3.2.4. Flexão das Espumas	33
4. CONCLUSÃO	34
5. AGRADECIMENTOS	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXO 1	39

1. INTRODUÇÃO

O poliestireno expandido (EPS) comercialmente conhecido como Isopor® é um polímero derivado do petróleo que foi descoberto em 1949 por Fritz Stastny e Karl Buchholz e as principais aplicações são como embalagens industriais, para transporte e para alimentos devido as suas características isolantes, leveza, resistência mecânica, baixo custo, facilidade de manuseio, dentre outros (OLIVEIRA, 2013; ENGEL et al, 2014). A sua expansão ocorre pela aplicação de pentano ou cloreto de metila através de aquecimento a vapor (ENGEL, 2018).

A espuma de poliestireno é amplamente utilizada na indústria de alimentos para o acondicionamento de carnes, ovos, frutas, hortaliças, alimentos refrigerados e outros (MORAES & BRASIL, 2015). Entretanto, as embalagens de EPS são frequentemente descartadas em aterros sanitários, pois são de uso único, gerando um enorme volume de lixo e tornando-se um problema ambiental para a sociedade. Uma vez que as embalagens oriundas do petróleo não são biodegradáveis e apresentam dificuldade na reciclagem, a alternativa é promover, pelo menos em parte, a utilização de materiais biodegradáveis, como os polissacarídeos amido e celulose. Estes polissacarídeos são recursos renováveis, abundantes e de baixo custo (DEBIAGI et al., 2010; STOFFEL, 2015; ESPINA et al, 2016).

Os amidos são um homo polissacarídeo composto basicamente por cadeias de amilose e amilopectina, apresentando temperatura de gelatinização em torno de 58 – 85 °C e constituem o carboidrato de reserva mais abundante nas plantas superiores, representando cerca de 80% do teor de matéria seca e 70 a 80% das calorias consumidas pelo homem. Os depósitos permanentes do amido nas plantas ocorrem nos órgãos de reserva como é o caso de grãos em cereais (milho, arroz) e de tubérculos e raízes (batata e mandioca) (GARCIA, 2013; ENGEL, 2018). Na indústria de alimento é muito utilizado na elaboração de produtos processados, uma vez que contribui para diversas propriedades de textura, agente geleificante, espessante; além de fazer parte da composição de embalagens biodegradáveis (DENARDIN & SILVA, 2009).

Kaewtatip et al (2018) e Carvalho et al., (2018), afirmam que as embalagens biodegradáveis à base de amido são de elevado interesse, uma vez que apresentam baixo custo, além de serem baseadas em um recurso renovável. O amido, em contato com a água apresenta a capacidade de se expandir, quando aquecido, e formar espumas, num processo conhecido como expansão térmica (STOFFEL, 2015). Em suma, a formação de espumas elaboradas por termoexpansão ou expansão térmica ocorre em três etapas. Na

primeira etapa, ao se adicionar a massa no molde aquecido e fechado, a temperatura da mistura de amido com a água aumenta até atingir a temperatura de gelatinização do amido. Em seguida, com a elevação da temperatura, a água livre (que não foi utilizada para a gelatinização) evapora. Com a gelatinização do amido se inicia a formação de uma pasta viscosa que aprisiona o vapor permitindo sua expansão e fazendo com que o molde seja preenchido. Por fim, com a saída do vapor através da exaustão ocorre o ressecamento da massa e seu endurecimento (STOFFEL, 2015; MACHADO, 2016).

Entretanto, a produção de embalagens contendo apenas amido apresenta limitações relacionadas à baixa resistência à umidade e pouca flexibilidade. Estas características podem ser limitantes para a aplicação destas embalagens. Dessa forma, o uso de materiais de reforço promovem melhorias nas propriedades mecânicas da espuma de amido (SCHIMIDT, 2006; ENGEL, 2018; KAEWTATIP, 2018; CARVALHO et al, 2018).

Os materiais de reforço incorporados às espumas de amido são provenientes principalmente de atividades agroindustriais, que apresentam grande quantidade de fibras lignocelulósicas (DEBIAGI et al, 2010; SCHIMIDT, 2006; MACHADO, 2016). Estes materiais têm a finalidade de melhorar as propriedades mecânicas das espumas de amido, como a tensão, resistência, densidade e flexibilidade (ESPINA et al, 2016; KAEWTATIP, 2018). Bagaço de cana de açúcar (DEBIAGI et al., 2011), palha de trigo (BÉNÉZET et al., 2012), bagaço de malte (MELLO & MALI, 2013), resíduo do processo de gergelim (MACHADO, 2016), engaço de uva (ENGEL, 2018) e cascas de camarão e ovos (KAEWTATIP et al, 2018), são exemplos de alguns resíduos agroindustriais já incorporados a sistemas poliméricos.

Os plastificantes são adicionados ao amido com finalidade de melhorar a flexibilidade da espuma, além de melhorar sua processabilidade (ENGEL, 2018; MACHADO, 2016). Se for compatível com a matriz polimérica ao qual for inserido, o plastificante altera a viscosidade do sistema aumentando a mobilidade das macromoléculas (ENGEL, 2018; MACHADO, 2016; STOFFEL, 2015). Em suma, os plastificantes atuam como agente de lubrificação, permitindo que as cadeias poliméricas deslizem umas sob as outras (KAEWTATIP, 2018). Dentre os plastificantes mais utilizados, se destacam o sorbitol, xilitol, glicóis e principalmente o glicerol, que é coproduto da reação de transesterificação que dá origem ao biodiesel, sendo um líquido viscoso, inodoro e incolor (ENGEL, 2018; MACHADO, 2016).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Desenvolver e caracterizar espumas expandidas à base de amido de batata reforçadas com bagaço de malte, obtidas por expansão térmica em molde fechado.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar as matérias-primas utilizadas para a formulação das espumas – amido de batata e bagaço de malte quanto à composição físico-química;
- Desenvolver e caracterizar as espumas expandidas em relação às propriedades mecânicas e físicas, avaliando a influência da concentração de reforço e plastificante;

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. MATERIAIS

Os tubérculos de batata, cultivar Astérix, foram cedidos pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Unicentro, Guarapuava, PR. O bagaço de malte foi cedido pela cervejaria Brauheim localizada em Saudade do Iguaçu, PR. Todos os reagentes utilizados no experimento foram de grau analítico.

2.2. MÉTODOS

2.2.1 Extração do Amido de Batata

Inicialmente os tubérculos de batata, foram descascados em descascador industrial (Metvisa, modelo DB622M60N5, São Paulo), e submersas em solução de 2% de ácido cítrico e 1% de ácido ascórbico por uma hora. Após, a solução foi descartada e os tubérculos foram moídos em liquidificador industrial (Vitalex, modelo LI-6I, São Paulo), na proporção de 1:3 com água filtrada. Em seguida, a massa homogênea foi passada em filtro de tecido, sendo o resíduo retido lavado novamente com água, na mesma proporção, até se obter um filtrado incolor, sem presença de amido.

A suspensão líquida foi filtrada em peneira de 200 mesh e decantada por 12 h. Após este período, o sobrenadante foi drenado e o amido decantado foi ressuspenso em água filtrada e deixado para decantar por mais 12h. Este procedimento foi repetido duas vezes. O amido resultante foi seco em estufa com renovação e circulação de ar a 40°C por uma noite e, em seguida moído em moinho de martelo.

2.2.2. Determinação do Teor de Amilose do Amido

A determinação do teor de amilose foi realizada de acordo com o método proposto por Martinez & Cuevas (1989), com adaptações. As amostras foram pesadas (0,025 g), acrescentadas de 0,25mL de álcool etílico e 2,25mL de solução de NaOH 1M e aquecidas em banho Dubnoff a 97°C por 10 minutos. Após, as amostras foram resfriadas e diluídas com água em balão volumétrico de 25 mL.

Em seguida, retirou-se alíquotas de 1,25 mL para outro balão de 25 mL e foi acrescentado 0,25 mL de ácido acético glacial e 0,5 mL de solução de iodo 1% e o volume do balão aferido. Uma curva padrão foi construída utilizando 0,01g de amilose, seguindo o mesmo procedimento da amostra, utilizando-se alíquotas de 0,25; 0,5; 0,75; 1 e 1,25 mL, acrescidos de 0,05; 0,1; 0,15; 0,2 e 0,25 mL de ácido acético e 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 e 0,5 mL de iodo, respectivamente, completando o volume de 25 mL com água destilada. O mesmo procedimento foi empregado para a determinação do branco. Após as reações, as

amostras foram analisadas em espectrofotômetro em comprimento de onda de 610 nm. A determinação do teor de amilose das amostras foi realizada pela Equação 1.

$$\% \text{ Amilose} = \frac{FC \times 20}{A} \quad \text{Equação 1}$$

em que: A = resultados das absorvâncias e FC = concentração de amilose das diluições da curva padrão.

2.2.3. Preparo do bagaço de malte

O bagaço, coletado úmido, foi seco em forno combinado (Prática Technicook, modelo C20, São Paulo) a 100 °C por 48 horas. Após a secagem, o bagaço foi moído em moinho de martelos (Fortinox, modelo FT - 53, Piracicaba) e acondicionado em saco plástico a temperatura ambiente para posterior análise e elaboração das bandejas.

2.2.4. Granulometria do bagaço de malte

Após a moagem, o bagaço de malte foi fracionado através de um sistema composto por peneiras de 500 µm, 425 µm, 106 µm e 38 µm utilizando uma potência 12 por dez minutos. A granulometria foi calculada com base na diferença entre a fração retida em cada peneira pela massa total e o resultado foi expresso em porcentagem.

2.2.5 Composição química do amido e do bagaço de malte

A determinação da umidade foi realizada por secagem à 105°C até peso constante, conforme descrito no método 012/IV (ZENEBON et al, 2008). A análise de umidade ocorreu 7 dias após o armazenamento das mesmas em dessecador contendo sílica. A determinação do teor de resíduo mineral fixo (cinzas) foi realizada com incineração em mufla a 550 °C por 24h conforme descrito no método 018/IV (ZENEBON et al, 2008).

A determinação da capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) seguiu a metodologia descrita por Engel (2018), com modificações. O procedimento consistiu em adicionar 10 mL de água destilada ou óleo de soja em 1 g de amostra dentro de tubos de centrifuga de 25 mL. Em seguida, as amostras foram agitadas por 2 minutos em agitador de tubos tipo vortex (Marconi, Modelo NA162, Piracicaba) e centrifugadas por 10 minutos a 5000 rpm em centrífuga de bancada (Esteio, Gerber Simplex II, ITR, Brasil). Após, sobrenadante foi removido e o sedimento úmido teve sua massa mensurada. A CAA e a CAO foram determinadas

através da razão entre a massa de água/óleo no sedimento úmido e a massa inicial de matéria seca.

Para o bagaço também foram quantificados os teores de proteínas bruta e lipídeos totais. A determinação de proteína bruta foi realizada conforme método de Kjeldahl 037/IV, com fator de conversão de nitrogênio em proteína de 6,25 (ZENEBOON et al, 2008). A determinação de lipídeos foi realizada através de extração direta em Soxhlet com éter de petróleo conforme método 032/IV do Instituto Adolf Lutz (ZENEBOON et al, 2008).

2.2.6 Elaboração e Caracterização das Bandejas Expandidas

2.2.6.1. Planejamento Experimental

A elaboração das bandejas expandidas, seguiu um delineamento composto central rotacional (DCCR) com planejamento fatorial 2^2 , com 3 repetições no ponto central, totalizando 7 ensaios. Os níveis codificados e decodificados encontram-se descritos na Tabela 1. O planejamento experimental com as variáveis reais e codificadas para avaliar a influenciada concentração de resíduo em relação à concentração do plastificante está detalhado na Tabela 2. Todos as concentrações foram calculadas fixando a quantidade de amido, sendo os demais componentes adicionados em relação à massa de amido em base seca. Um tratamento contendo apenas amido, 5% de plastificante, 1% de goma guar, 1% de desmoldante estearato de magnésio e 53,6% de água, todos em relação ao conteúdo de amido, foi elaborado e utilizado como controle. As variáveis dependentes analisadas foram densidade aparente e espessura, cor instrumental, solubilidade em água, resistência à flexão e à perfuração. As proporções de resíduo e plastificante utilizados no delineamento foram baseadas em testes preliminares.

Tabela 1. Delineamento experimental para elaboração de bandejas expandidas de amido com as variáveis independentes concentração de bagaço de malte e plastificante.

Variáveis	Níveis		
	-1	0	+1
Independentes			
Bagaço de malte (%)	10	20	30
Plastificante (%)	2,5	5	7,5

Tabela 2. Delineamento experimental composto central rotacional (DCCR) completo.

Ensaio	Codificadas / reais	
	Bagaço de malte (%)	Plastificante (%)
1	-1 (10)	-1 (2,5)
2	+1 (30)	+1 (7,5)
3	+1 (30)	-1 (2,5)
4	-1 (10)	+1 (7,5)
5	0 (20)	0 (5)
6	0 (20)	0 (5)
7	0 (20)	0 (5)

2.2.6.2. Elaboração das Bandejas

Os ingredientes foram pesados e misturados com o auxílio de um agitador mecânico de hélice (Marconi, Modelo MA039, Piracicaba) por 1 minuto. A suspensão foi disposta em molde bipartido com dimensões de 117 x 64 x 20 mm, pré-aquecido a 180°C. O molde foi fechado e a expansão do material resultou na formação das bandejas após 4 minutos de aquecimento. Em seguida, as amostras foram retiradas do molde, resfriadas a temperatura ambiente, acondicionadas em sacos plásticos e armazenadas em dessecadores para posterior análise.

2.2.6.2.1. Determinação da Atividade de Água (aw)

A atividade de água das bandejas foi determinada com o auxílio do analisador de atividade de água Novasina AG (CH8863, Novasina AG Lanchem Lab Master, Suíça) operando na faixa de 0 a 1 na temperatura de 25°C.

2.2.6.2.2. Determinação da Densidade Aparente e Espessura

A espessura foi determinada segundo Stoffel (2015), em cinco pontos diferentes de cada amostra com paquímetro digital. A determinação de densidade aparente foi realizada de acordo com metodologia proposta por Machado (2016), que analisa a razão entre a massa e o volume das espumas de amido.

2.2.6.2.3 Análise Colorimétrica

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. A intensidade e a pureza da cor, Cromo (C^*) foi calculada pela Equação 2 e a tonalidade da cor, ângulo *hue* foi

determinada pela Equação 3. O ângulo 0° representa o vermelho puro, 90° amarelo puro, 180° verde puro e 270° azul puro (ROCHA, 2008).

$$Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 2}$$

$$hue = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Equação 3}$$

A Figura 5 apresenta o diagrama de espaço de cores CIE $L^*a^*b^*$ que expressa a cor dos objetos. Esse sistema permite a avaliação de atributos de cor, comunicando seus resultados de maneira clara e precisa. O parâmetro L^* representa a luminosidade, que varia de $L^* = 0$ (preto) e $L^* = 100$ (branco), a^* e b^* são as coordenadas de cores responsáveis pela cromaticidade da amostra: ($+a^* =$ vermelho e $-a^* =$ verde, $+b^* =$ amarelo e $-b^* =$ azul). A cromaticidade é uma expressão da saturação ou intensidade e claridade da cor, variando na direção radial e representa a pureza de uma cor com relação ao cinza. O ângulo de tom ou “hue” varia de $0^\circ \leq hue \leq 360^\circ$ e é a cor observável que varia na direção angular e representa as diferentes cores existentes (PHIL & CRUSE, 1997).

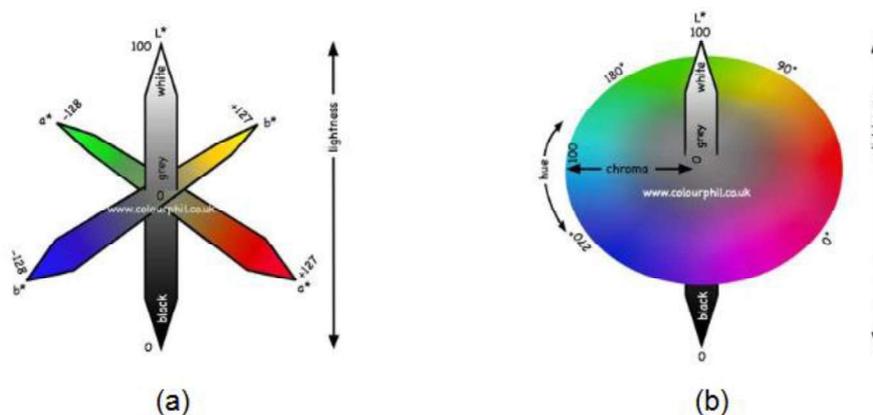


Figura 1. Diagrama representando o espaço de cor (a) CIE ($L^*a^*b^*$) e (b) CIE $L^*C^*h^*$.

Fonte: Phil Cruse (1997).

2.2.6.2.4. Capacidade de Absorção de Água

A capacidade de absorção de água foi realizada de acordo com metodologia proposta por Carvalho et al., (2018), em que amostras de 2 x 2 cm foram submersas em 100 mL de água destilada a temperatura de 20°C nos tempos 1, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min. A capacidade de absorção de água foi calculada através da diferença entre o peso inicial e o final da amostra e expressa em porcentagem.

2.2.6.2.5. Análise Morfológica

A análise morfológica das bandejas foi avaliada pela visualização de corpos de prova de 2 x 2 cm em microscópio óptico, em diferentes ampliações.

2.2.6.2.6. Análise de Flexão

Os ensaios de flexão foram realizados conforme norma ASTM D 790-02 (ASTM, 2003b), utilizando método de flexão em três pontos, com separação dos apoios de 4,5 cm.

2.2.6.2.7. Análise Estatística

Para a validação dos modelos utilizou-se a análise de variância (ANOVA), avaliando a significância de 5% da regressão pelo teste t-student, e o ajuste do modelo aos dados experimentais pelo coeficiente de determinação (R^2). Todas as análises estatísticas do planejamento experimental foram realizadas utilizando software adequado. Todas as análises de caracterização das formulações foram realizadas em triplicata e os resultados foram expressos com o valor médio \pm desvio padrão da média. Sendo que, as médias obtidas foram avaliadas através de análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com nível de significância de 5%, utilizando software adequado. Para a CAA, foi realizada a análise através do intervalo de confiança de 95%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das Matérias-Primas

3.1.1. Amido

A composição química do amido isolado está descrita na Tabela 3. Após a extração e secagem o amido de batata da cultivar Asterix apresentou teor de umidade $17,34 \pm 0,109\%$. Este teor é considerado elevado para estocagem prolongada, porém em conformidade com o que preconiza a legislação brasileira, que estabelece que o teor máximo de 21% (BRASIL, 2005). O teor de cinzas foi de $0,091 \pm 0,026\%$ e indica a riqueza mineral das amostras. Além disso, para a comercialização de amidos, a legislação brasileira estabelece teor máximo de 0,5% para a fécula de batata (ANVISA, 1978). Além disso, elevadas concentrações de minerais presente no amido resulta em dificuldade na formação das espumas expandidas, devido a possíveis interações destes compostos com a amilose e o plastificante presentes na formulação (ENGEL, 2018).

Tabela 3. Teor de umidade, cinzas, capacidade de absorção de água (CAA), capacidade de absorção de óleo (CAO) e teor de amilose do amido de batata cultivar Asterix.

Amido de Batata*	Percentual (% m/m)
Umidade	$17,339 \pm 0,109$
Cinzas	$0,091 \pm 0,026$
CAA	$1,634 \pm 0,067$
CAO	$1,518 \pm 0,025$
Amilose	$20,44 \pm 0,026$

*Média \pm desvio padrão de três determinações.

A capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) do amido foram $1,634 \pm 0,067$ e $1,518 \pm 0,025$, respectivamente. De acordo com Denardin & Silva (2009), a suscetibilidade dos grânulos de amido à água fria e a pequenas moléculas é devido à expansão reversível das regiões amorfas, que penetram pela estrutura por difusão durante a hidratação formando uma fase contínua. No entanto, durante o aquecimento ocorre a hidratação, inchamento irreversível com o processo de gelatinização, com consequente retrogradação após o resfriamento (JACOBSON et al, 1997).

O teor de amilose dos tubérculos de batata da cultivar Astérix foi de 20,83 %. O teor de amilose tem influência em várias propriedades dos amidos, como no inchamento do grânulo, viscosidade da pasta, no processo de gelatinização e retrogradação e na expansão e consequente formação de espumas (STOFFEL, 2015). As moléculas de amilose colidem entre si e, através disto, aumentam a viscosidade da pasta, por isso os

amidos produzem soluções de alta viscosidade mesmo encontrando-se em baixas concentrações (CRAIG et al., 2005).

Tavares et al (2010), realizaram um estudo que avaliou modificações ácidas e oxidativas sobre o desenvolvimento da expansão do amido de arroz com diferentes teores de amilose, na elaboração de biscoito. Os autores concluíram que as modificações, apresentaram biscoitos com elevado volume específico, somente nas amostras em que o teor de amilose foi baixo. Desta maneira pode-se concluir que quanto menor o teor de amilose, maior é capacidade de expansão do amido e formação de espumas expandidas. Esta característica é devido à configuração e natureza linear em forma de alfa hélice, com uma região interna hidrofóbica que conferem à amilose a capacidade de formar filmes e se complexar álcoois, lipídeos, iodo e ácidos (JACOBSON et al, 1997).

O teor de amilose foi de $20,83 \pm 0,026$, sendo semelhante aos teores citados por Machado (2016), Stoffel (2015) e Carr (2007), sendo de 21%, 18% e 25%, respectivamente. Garcia (2013), realizou um estudo no qual extraiu e caracterizou amidos de diferentes cultivares de batata, descrevendo teor de amilose de 28,51% para a cultivar Beacon Chipper; 34,20% para a cultivar Marcy; 31,74 % para a Snowden; 31,90% para a Harley Beckell, dentre outras. Dessa forma, é possível observar que o manejo e o local de cultivo e principalmente a cultivar, interferem diretamente nas características físico-químicas dos amidos isolados.

3.1.2. Bagaço de Malte

A composição físico-química do bagaço de malte após o processo de secagem e moagem pode ser visualizada na Tabela 4. O teor de umidade foi de $4,719 \pm 0,013$. Como a caracterização do bagaço se deu com o mesmo seco a sua umidade foi baixa e permitiu o seu armazenamento em condições ambientais.

Tabela 4. Resultado das análises de umidade, cinzas, proteínas, lipídeos, fibra bruta, CAA e CAO do bagaço de malte.

Bagaço de Malte	Percentual (% m/m)
Umidade	4,719 ± 0,013
Cinzas	2,838 ± 0,004
Proteína	16,285 ± 0,332
Lipídeos	3,529 ± 0,504
CAA	2,948 ± 0,073
CAO	1,916 ± 0,026

*Média ± desvio padrão de três determinações

O bagaço de malte apresentou teor de cinzas e lipídeos de $2,819 \pm 0,004$ e $3,529 \pm 0,504$, respectivamente. A composição centesimal de resíduos, em especial do bagaço de malte é afetada por diversos fatores, tais como a variedade da cevada, o tempo de colheita, os cereais utilizados na maltagem, o processo de mosturação e obtenção da cerveja, dentre outros (ENGEL, 2018; ALMEIDA, 2014).

O teor de proteínas foi de $16,285 \pm 0,332$. As proteínas são componentes desejáveis na produção de espumas expandidas, pois apresentam capacidade de interagir com moléculas vizinhas e formar compostos viscoelásticos, que apresentam forte coesão e dessa forma, são capazes de suportar movimentos mecânicos (ENGEL, 2018 e ESPINA et al, 2016). Além disso, as proteínas desempenham papel importante na coloração das espumas expandidas, visto que os aminoácidos presentes reagem com os grupamentos carbonila dos polissacarídeos, pelo desenvolvimento da reação de Maillard e formação de compostos com coloração escura (ENGEL, 2018).

A capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) do bagaço foram de $2,948 \pm 0,073$ e $1,916 \pm 0,026$, respectivamente. A capacidade de absorção está diretamente relacionada com os teores de fibras e proteínas. Segundo Mello (2013) e Melo et al (2016), a capacidade de hidratação das fibras insolúveis é devido, possivelmente, à sua composição rica em celulose e hemicelulose, que são hidrofílicas. Por outro lado, a absorção de óleo é devido a presença da lignina que apresenta caráter hidrofóbico. Em suma, a capacidade de hidratação do bagaço de malte depende da conformação da molécula de proteína, tamanho da partícula e números de sítios de ligação presentes e

pode estar relacionada à quantidade de resíduos de aminoácidos, justificando assim os valores encontrados neste trabalho (MELLO, 2013).

Com a análise granulométrica do bagaço de malte foi determinada a retenção das partículas em cada peneira padronizada com abertura de 500, 425, 106 e 38 μm , sendo que em cada uma ficou retido 0,926 %, 4,457 %, 87,774% e 6,843% da amostra total, respectivamente, com uma perda de 0,606%. Com isso, conclui-se que o bagaço de malte é composto majoritariamente por partículas de 106 μm . Engel (2018), concluiu em sua pesquisa sobre a elaboração de bandejas expandidas de amido de mandioca adicionadas de engaço de malte que as menores granulometrias proporcionaram a obtenção de bandejas com as maiores espessuras. Dessa forma, conclui-se que quanto menor a granulometria do bagaço, maior será a capacidade de expansão das espumas.

3.2. Caracterização das Bandejas Expandidas

Na Tabela 5 estão apresentados o conteúdo total de umidade, a espessura média, a densidade, a atividade de água, a capacidade de absorção e a cor das espumas à base de amido de batata com adição de diferentes teores de bagaço de malte preparadas segundo o planejamento experimental e também a amostra controle que é sem a adição do bagaço de malte. O planejamento experimental composto rotacional central (DCCR) não permitiu gerar modelos preditivos significativos ($p < 0,05$) para as variáveis dependentes umidade, espessura média, densidade, atividade de água das bandejas expandidas. Assim, as formulações com diferentes concentrações reforço de bagaço de malte e de plastificantes foram analisadas e comparadas com uma amostra controle, sem adição de material de reforço.

3.2.1. Umidade, Espessura, Densidade e Capacidade de Absorção das Bandejas

A umidade das bandejas expandidas variou entre $6,557 \pm 0,576\%$ (controle) a $11,057 \pm 0,376\%$ (ensaio 1) (Tabela 5). As ensaios 1,2,3 e 4 apresentaram diferenças entre si ($p < 0,05$) e os 1, 5, 6, 7 e o controle não apresentaram diferença.

Tabela 5. Umidade, espessura, densidade, atividade de água, luminosidade (L*), cromaticidade (C*) e ângulo *hue* (H) das diferentes formulações das bandejas expandidas.

	Umidade (%)	Espessura (mm)	Densidade (g/cm ³)	Aw	Cor		
					L*	C*	H
Controle	6,577 ± 0,576 ^c	4,176 ± 0,209 ^a	0,225 ± 0,002 ^d	0,403 ± 0,002 ^d	72,04 ± 2,02 ^a	4,98 ± 0,63 ^d	85,42 ± 1,06 ^a
Ensaio 1	7,108 ± 0,399 ^c	3,673 ± 0,208 ^b	0,349 ± 0,003 ^{ab}	0,525 ± 0,002 ^b	68,64 ± 1,79 ^a	17,45 ± 0,59 ^c	79,01 ± 1,05 ^b
Ensaio 2	11,057 ± 0,376 ^a	3,328 ± 0,228 ^b	0,405 ± 0,003 ^a	0,471 ± 0,0008 ^c	61,68 ± 1,58 ^c	24,55 ± 1,15 ^a	74,89 ± 0,64 ^d
Ensaio 3	9,424 ± 0,073 ^b	3,655 ± 0,301 ^b	0,330 ± 0,004 ^{bc}	0,477 ± 0,002 ^c	60,04 ± 1,22 ^c	21,52 ± 1,23 ^b	75,85 ± 0,74 ^d
Ensaio 4	9,588 ± 0,401 ^{ab}	4,257 ± 0,339 ^a	0,284 ± 0,003 ^c	0,564 ± 0,001 ^a	66,19 ± 2,16 ^b	18,72 ± 0,98 ^c	78,93 ± 0,86 ^b
Ensaio 5	7,553 ± 0,736 ^c	3,324 ± 0,419 ^b	0,381 ± 0,006 ^{ab}	0,505 ± 0,020 ^b	66,24 ± 0,86 ^b	21,77 ± 0,81 ^b	77,84 ± 0,60 ^c
Ensaio 6	7,563 ± 0,636 ^c	3,244 ± 0,319 ^b	0,384 ± 0,007 ^{ab}	0,510 ± 0,004 ^b	65,24 ± 0,96 ^b	20,77 ± 1,81 ^{bc}	76,44 ± 0,40 ^c
Ensaio 7	7,433 ± 0,436 ^c	3,234 ± 0,409 ^b	0,379 ± 0,005 ^{ab}	0,507 ± 0,002 ^b	64,24 ± 1,86 ^b	22,77 ± 0,61 ^b	77,64 ± 0,90 ^c

* Média ± desvio padrão de cinco determinações. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias pelo Teste de Tukey a 95% de confiança.

Fonte: o autor

Ao comparar estes resultados com a quantidade de glicerol adicionada em cada formulação (Tabela 2) é possível notar uma tendência entre as duas grandezas, uma vez que quanto maior a porcentagem de glicerol incorporada à formulação, maior a umidade das amostras, independentemente da quantidade de bagaço adicionada. Este comportamento é validado pelos resultados para a umidade observada para os ensaios 2 e 4, que tiveram maiores concentrações de glicerol incorporados às formulações (7,5 % m/m), mas teores diferentes de bagaço de malte. Verificando a umidade das bandejas, é possível observar que o ensaio 2, apresentou uma umidade elevada, que pode ser justificado pelo acondicionamento das amostras com o passar do tempo. Engel (2018), analisou amostras de espumas expandidas com adição de engaço de uva e verificou que após 7 dias de armazenamento, as mesmas apresentaram elevação no teor de umidade.

Na terceira etapa do processo da expansão térmica, as espumas secam gradualmente, até apresentar teores de umidade de até 4%. Entretanto, ao longo do período de armazenamento as amostras à base de polímeros hidrofílicos tendem a absorver umidade e entrar em equilíbrio com o ambiente (SALGADO et al., 2008; SHOGREN et al., 1998). Engel (2018) e Villar et al (2017), afirmam que o tempo de armazenamento contribui diretamente para o aumento da umidade das amostras. Isto se deve ao fato de que os plastificantes, dentre eles o glicerol, aumentam a permeabilidade das bandejas devido a sua natureza hidrofílica, permitindo que mais moléculas de água sejam absorvidas pela estrutura polimérica. Além disto, pelo fato de o glicerol apresentar moléculas pequenas, as mesmas obtêm fácil acesso às cadeias dos polissacarídeos através das ligações de hidrogênio, reduzindo assim as interações, aumentando o espaço intermolecular e, conseqüentemente a taxa de transferência de vapor de água do ambiente para as bandejas.

A espessura média das amostras variou entre $3,324 \pm 0,419$ mm (ensaio 5) a $3,328 \pm 0,228$ mm (ensaio 2). De maneira geral, nas bandejas expandidas em que a quantidade de resíduo incorporado à formulação foi maior apresentaram as menores espessuras médias, como observado no ensaio 2, o qual teve adição de 30% m/m de bagaço de malte. Segundo Machado (2016), este fenômeno pode estar associado a menor expansão do volume da massa que contém o resíduo, indicando um aumento da densidade das bandejas, o que está relacionado, possivelmente, à fração lignocelulósica do componente adicionado. Esta afirmação pode ser confirmada ao se observar a espessura da amostra controle, em que não foi adicionado bagaço de malte obtendo-se um valor

médio de espessura de $4,176 \pm 0,209$ mm e as amostras apresentaram diferença significativa para $p < 0,05$.

A quantidade de glicerol adicionada tem pouco efeito sobre as espessuras das bandejas (Tabela 5). Este comportamento pode ser verificado no ensaio 4 ($4,257 \pm 0,339$ mm) produzidas com a menor quantidade de bagaço (10 % m/m) e maior quantidade de glicerol (7,5 % m/m). Stoffel (2015), também adicionou 7,5 % m/m de plastificante e concluiu que este não tem influência sobre as espessuras das bandejas.

A densidade média das amostras variou entre $0,225 \pm 0,002$ g.cm⁻³ (controle) a $0,405 \pm 0,003$ g.cm⁻³ (ensaio 2). É possível observar que a quantidade de bagaço de malte adicionada tem influência direta na densidade das bandejas ($p < 0,5$) (Tabela 5 e Figura 1). Este comportamento pode ser observado entre o ensaio 3 com 30% m/m de bagaço e na formulação controle ($0,225 \pm 0,002$ g.cm⁻³) sem adição de bagaço de malte.

Matsuda (2013); Espina et al. (2016); Palma-Rodríguez et al. (2016); Pornsuksomboon et al. (2016) afirmam que a densidade é uma importante propriedade física para a aplicabilidade das espumas expandidas, e que é inversamente proporcional à sua capacidade de expansão. Dessa forma, como observado na Figura 2, o gráfico apresenta uma tendência linear que mostra que quanto maior a quantidade de sólidos incorporada à matriz polimérica, maior será a densidade final das espumas expandidas.

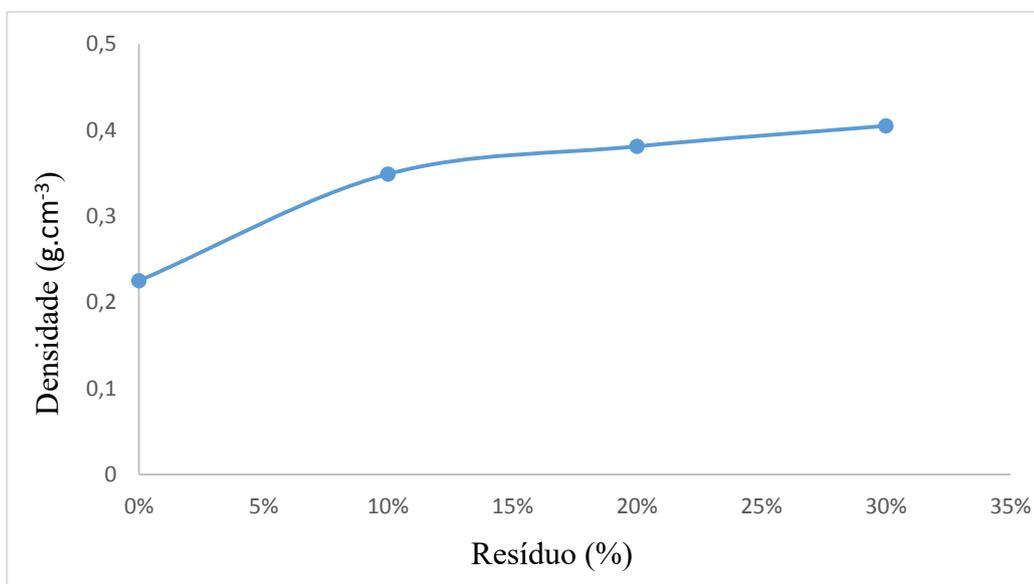


Figura 2. Relação da quantidade de resíduo de malte e a densidade das bandejas expandidas.

Fonte: o autor

Shogren et al. (1998), afirmam que para que o processo de expansão ocorra de forma adequada, a massa de amido deve ter viscosidade suficiente para reter as bolhas de ar formadas durante o processamento, sem colapsar, gerando produtos de baixa densidade. O colapso da estrutura expandida se reflete no aumento da densidade desses materiais. Assim, é possível concluir que a adição de bagaço interfere diretamente na matriz polimérica dificultando a expansão do amido, colapsando a estrutura e aumentando a densidade das bandejas.

A atividade de água das bandejas variou entre $0,403 \pm 0,002$ (controle) a $0,564 \pm 0,001$ (ensaio 4). Com estes resultados é possível concluir que a adição do resíduo diminuiu a atividade de água das amostras expandidas, como verificado ensaios 2 e 3, $0,471 \pm 0,0008$ e $0,477 \pm 0,002$, em que foi adicionado a máxima concentração de resíduo (30 % m/m).

Os materiais de reforço adicionados à matrizes poliméricas, em geral, têm a finalidade de promover resistência, flexibilidade e diminuir a higroscopicidade dos sistemas compósitos formados. Dessa forma, as bandejas que apresentam baixa atividade de água são mais resistentes à ataques microbianos e conseqüentemente, tendem a se deteriorar mais lentamente (OKSMAN et al, 2016).

A capacidade de absorção de água (CAA) das bandejas variou de $43,66 \pm 3,28$ % a $36,46 \pm 3,13$ % com 1 min de imersão; de $57,20 \pm 3,96$ % a $79,41 \pm 5,53$ % para 5 min; de $82,00 \pm 6,28$ % a $139,66 \pm 7,13$ % para 10 min; $97,19 \pm 4,34$ % a $158,94 \pm 1,92$ % para 15 min; $118,96 \pm 1,63$ % a $192,29 \pm 3,37$ % para 20 min; $141,60 \pm 2,16$ % a $241,23 \pm 4,90$ % para 25 min e $147,36 \pm 1,30$ % a $211,60 \pm 6,47$ % para 30 min, variando em todos os tempos de imersão ($p < 0,5$). Na Figura 3 é possível observar o aumento da capacidade de absorção das bandejas com o aumento do tempo de imersão delas em água.

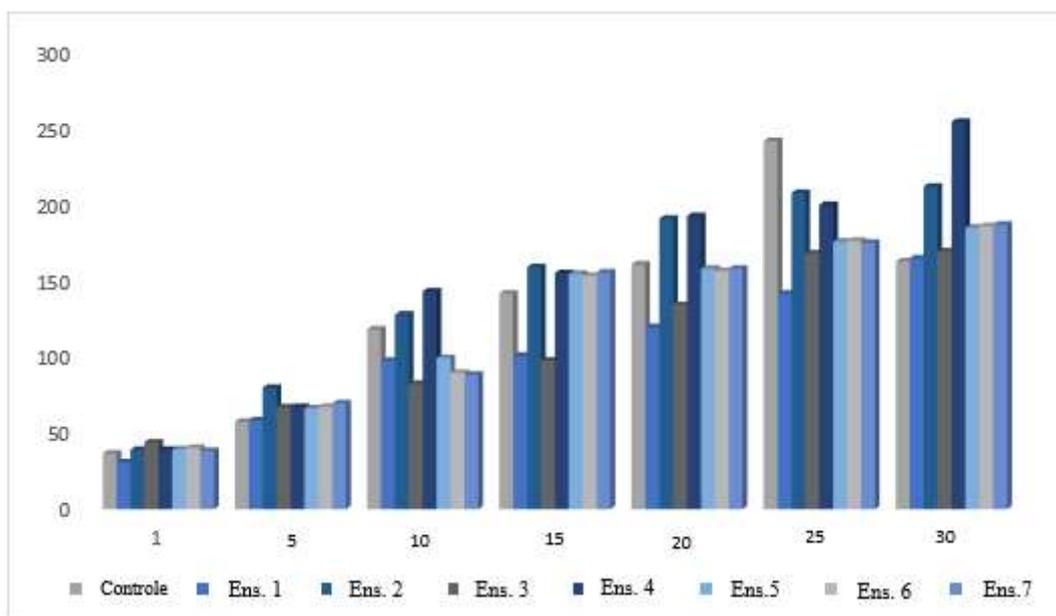


Figura 3. Capacidade de absorção de água das bandejas de amido de batata expandidas reforçadas com bagaço de malte em diferentes tempos de imersão em água.

Fonte: o autor

O intervalo de confiança foi calculado para 95% de confiabilidade para a CAA, obtendo-se ($\pm 40,14$) que indica a margem de incerteza da análise, mostrando que o intervalo entre o limite inferior e superior contém o verdadeiro parâmetro para a CAA.

A CAA das bandejas é diretamente proporcional ao tempo de contato (Figura 3). Também se observa que os ensaios 2 e 4, apresentaram, majoritariamente, maior CAA, devido a ação do glicerol adicionado como plastificante em maior quantidade nestas formulações, (7,5 % m/m). O glicerol apresenta alta solubilidade em água pela presença de três carbonos ligados a três grupamentos hidroxila em sua estrutura química, conferindo alta higroscopicidade. Além disso, de ser é uma molécula altamente flexível e capaz de formar ligações de hidrogênio intra e intermolecular (ENGEL, 2018; STOFFEL, 2015; BERGEL et al, 2018). Segundo Debiagi et al. (2010), a CAA representa um indicativo referente a disponibilidade das moléculas hidrofílicas de interagirem com as moléculas de água. Dessa forma, verifica-se que os ensaios em que foram adicionadas as maiores quantidades de glicerol apresentaram as maiores porcentagem de CAA, devido a interação do deste com a água (Figura 3).

Verifica-se também que a amostra controle apresenta elevada CAA, pois embora sem a alta adição de glicerol, a mesma contém amido na matriz polimérica, enquanto os demais ensaios contém também material de reforço. Segundo Nilsson & Sjö (2017), o amido possui em sua estrutura molecular muitos grupamentos hidroxila que conferem ao

polímero propriedades hidrofílicas, resultando em um material que apresenta elevada afinidade com a água. Por outro lado, o bagaço de malte, empregado como material de reforço é composto por fibras lignocelulósicas que possui menor afinidade pela água (MELLO, 2013). Analisando o ensaio 3, em que se adicionou 30% (m/m) de resíduo e 2,5% (m/m) de plastificante, é possível verificar que a adição do bagaço de malte contribui para a redução da CAA e conseqüentemente, melhora a resistência das bandejas às elevadas umidades.

A influência da CAA nas bandejas também foi avaliada através da estimativa dos efeitos significativos dos termos individuais e a suas interações utilizando o delineamento central rotacional composto (DCCR). Na Tabela 6, pode ser visualizado o coeficiente de correlação, o erro padrão, o t calculado e o p-valor. Para a melhor verificação da influência da concentração de bagaço de malte e de plastificante nas bandejas expandidas de amido de batata, utilizou-se os dados do tempo máximo de exposição (30 minutos).

Tabela 6. ANOVA para as variáveis resíduo e plastificante em função da CAA das bandejas durante 30 minutos de exposição.

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	t calculado	p-valor	R ²
Resíduo (X1)	-9,42	5,36	-1,76	0,1772	0,7066
Plastificante (X2)	32,87	5,36	6,13	0,0087	
X1 * X2	-11,67	5,36	-2,18	0,1178	

*t tabelado (6, 0.05) = 2,4466

Fonte: o autor

A concentração de plastificante apresentou efeito significativo sobre a CAA ($p < 0,05$) (Tabela 6). A análise de variância apresentou um coeficiente de determinação de 0,7066 e $t_{\text{calculado}} = 6,13$, sendo superior ao t_{tabelado} . Portanto, como $t_{\text{calc}} > t_{\text{tab}}$, o modelo é válido e o coeficiente de determinação indica que os pontos da curva descrevem uma relação entre a adição de plastificante com a CAA das bandejas expandidas de 70,66%. O modelo matemático validado estatisticamente é apresentado na Equação 4.

$$\text{CAA} = 193,76 - 9,42 X1 + 32,87X2 - 11,67 X1 * X2 \quad \text{Equação 4}$$

O modelo (Equação 4) foi representado graficamente por meio de uma superfície de resposta apresentada na Figura 4.

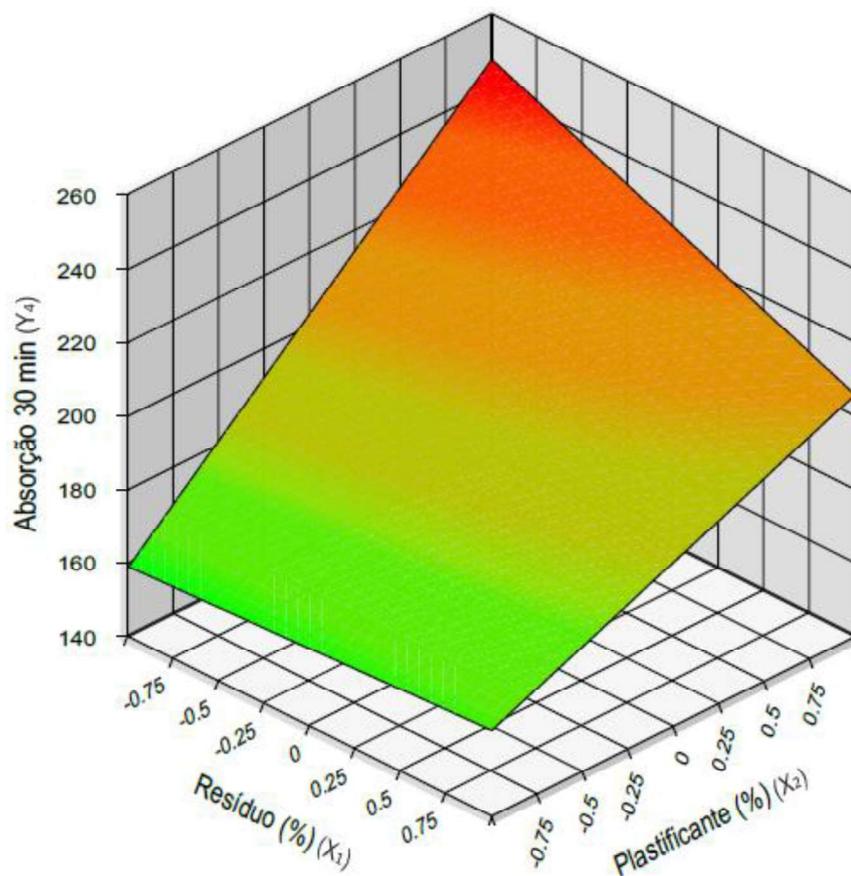


Figura 4. Superfície de resposta para o efeito das concentrações de resíduo (%) e plastificante (%) em função da absorção das amostras durante 30 minutos.

Fonte: o autor

Analisando a superfície de resposta é possível observar que o quanto maior é a adição de plastificante à formulação, maior é a capacidade de absorção das bandejas expandidas. Este resultado é consequência da estrutura molecular do glicerol que o torna um agente altamente hidrofílico (STOFFEL, 2015). A superfície de resposta também demonstra que se adicionado o máximo de glicerol (7,5% m/m) e o mínimo de resíduo (10% m/m), tem-se a maior capacidade de absorção, de $253,79 \pm 2,94\%$ (ensaio 4). Também é possível observar que se for adicionada a mínima quantidade de glicerol (2,5% m/m) e a mínima quantidade de resíduo (10% m/m), têm-se uma capacidade de absorção de água menor ($164,68 \pm 3,86\%$), mostrando assim, que o glicerol influi significativamente na CAA das espumas expandidas.

3.2.2. Análise Colorimétrica

A luminosidade (L^*) das bandejas expandidas apresentaram variou de $60,04 \pm 1,22$ para o ensaio 3 a $72,04 \pm 2,02$ para o controle. É possível perceber que a adição de bagaço de malte alterou a coloração das amostras quando comparadas com a espuma sem adição de resíduo (controle). Quanto maior a quantidade de resíduo incorporada à matriz,

mais escura a espuma, como pode ser visualizado no ensaio 3, que continha 30 % m/m de resíduo em sua formulação e foi uma das amostras mais escuras, enquanto o ensaio e com 10 % m/m de resíduo, apresentou a coloração mais clara. Pode-se concluir também que a adição de glicerol não interfere na cor instrumental das bandejas, visto que nos ensaios em que a adição de plastificante foi máxima (7,5 % m/m) e a de resíduo foi mínima, (ensaio 4), apresentou uma luminosidade intermediária ($66,19 \pm 2,19$).

A cromaticidade (C^*) das bandejas expandidas variaram de $24,55 \pm 1,15$ a $4,98 \pm 0,63$ para os ensaios 2 e controle, respectivamente. Isto indica que o ensaio 2 apresentou maior saturação da cor, com tons avermelhados e amarelados mais intensos, e o controle não apresentou saturação de cor. O ângulo *hue* variou entre $85,42 \pm 1,06$ a $74,89 \pm 0,69$ para o controle e ensaio 2, respectivamente. Este resultado indica que o ensaio controle apresentou tons mais acinzentados e o ensaio 2 tons mais amarelados.

3.2.3. Análise Morfológica

A análise morfológica das bandejas expandidas permitiu visualizar os detalhes da termoexpansão da matriz polimérica. Na Figuras 6 é possível observar a matriz das bandejas elaboradas com amido puro e das formulações que compuseram o delineamento experimental rotacional central.

Todas as bandejas mostram uma estrutura do tipo sanduíche que inclui películas externas densas que envolvem pequenas células, sendo considerada a superfície da espuma. Esta estrutura também é observada por Matsuda et al (2013); Mello & Mali, (2014); Soykeabkaew et al (2015), Pornsuksomboon et al (2016), que sugeriram que as mesmas surgem pelo processo de expansão do amido. Também é possível observar a termoexpansão do amido e a formação de sulcos que surgem pela evaporação da água durante o cozimento da massa. Após a saída do vapor, as espumas elaboradas com amido costumam apresentar uma distribuição heterogênea das células e da densidade, apresentando morfologia composta por superfícies externas densas e interior formado por células abertas maiores, devido à falta de integridade das suas paredes (STOFFEL, 2015; MACHADO, 2016).

Verifica-se também que houve boa distribuição do bagaço de malte em toda a matriz polimérica, indicando a homogeneidade do material. A boa expansão foi observada com a formação de grandes células aéreas nas Figuras 5 (B, D, E, F). Houve expansão da massa (ensaio 2 – Figura C), entretanto, a matriz está mais compacta devido a adição excessiva de bagaço de malte, que acabou comprometendo a expansão da massa e, conseqüentemente, aumentando sua densidade das bandejas (Figura 5C).

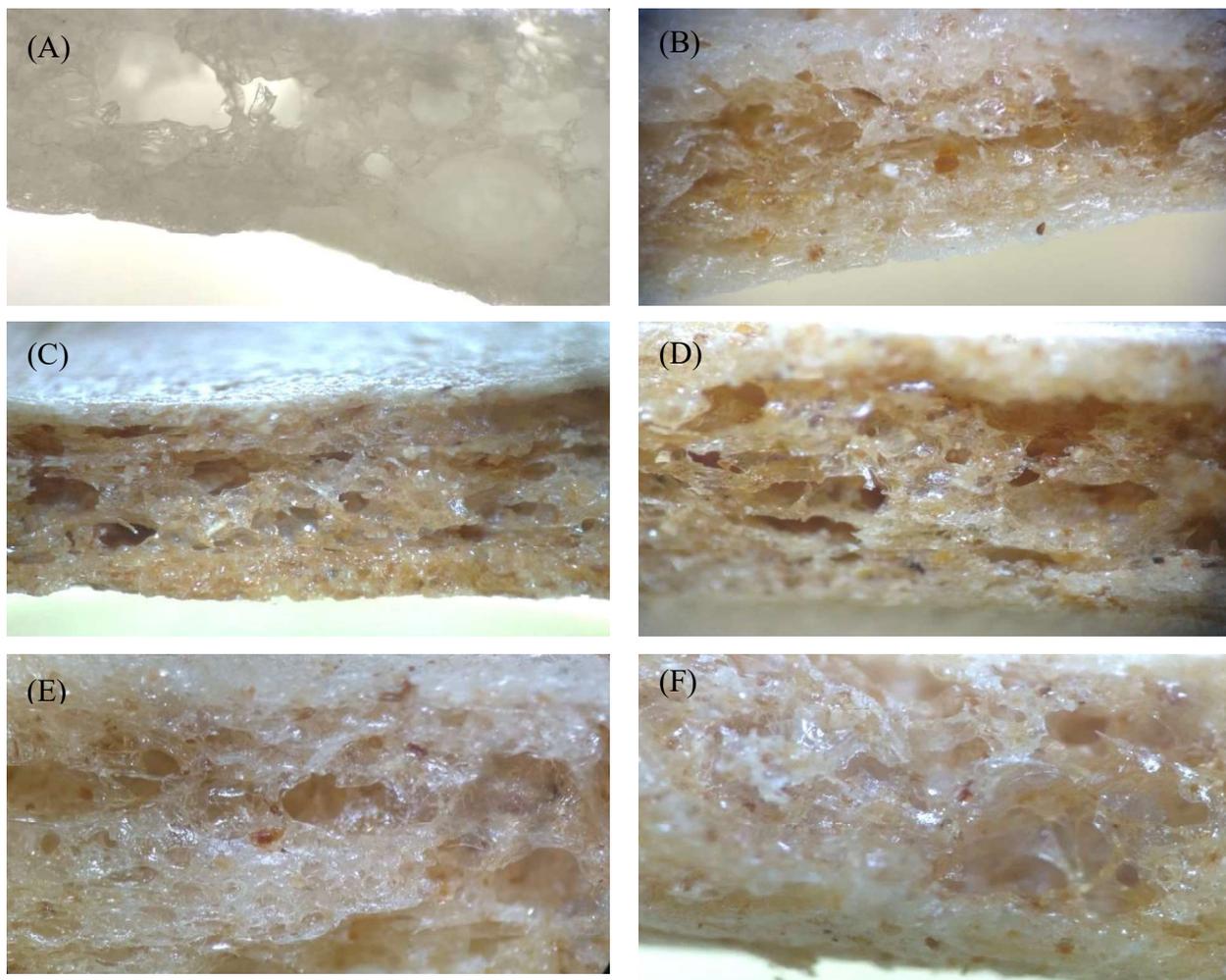


Figura 5. Imagem do corte transversal das bandejas expandidas de amido reforçadas com bagaço de malte. (A) Formulação controle, elaborada com amido (43%), plastificante (5%), desmoldante (1%); (B) Ensaio 1 bandeja reforçada com bagaço de malte (10%), plastificante (2,5%); (C) Ensaio 2 bandeja reforçada com bagaço de malte (30%), plastificante (7,5%); (D) Ensaio 3 bandeja reforçada com bagaço de malte (30%), plastificante (2,5%); (E) Ensaio 4 bandeja reforçada com bagaço de malte (10%), plastificante (7,5%); (F) Ensaio 5 bandeja reforçada com bagaço de malte (20%), plastificante (5%).

3.2.4. Flexão das Espumas

Na Tabela 7 estão apresentados os resultados referentes as propriedades mecânicas através dos ensaios de flexão das espumas expandidas elaboradas conforme descrito no delineamento experimental.

Tabela 7. Dados da flexão para as bandejas expandidas segundo delineamento experimental.

Amostras	Flexão (MPa)
Controle	2,82 ± 0,779 ^a
Ensaio 1	3,24 ± 0,733 ^a
Ensaio 2	2,49 ± 0,258 ^a
Ensaio 3	2,56 ± 0,462 ^a
Ensaio 4	2,91 ± 0,476 ^a
Ensaio 5	3,32 ± 0,978 ^a
Ensaio 6	2,75 ± 0,697 ^a
Ensaio 7	3,39 ± 0,986 ^a

* Média ± desvio padrão de cinco determinações. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias pelo Teste de Tukey a 95% de confiança.

É possível observar que a adição do bagaço de malte e de glicerol no nível máximo (30% m/m) e (7,5% m/m), respectivamente, não afetaram a flexão das espumas, pois não foi observada diferença significativa entre as amostras ($p < 0,05$). Dessa forma conclui-se que a adição do bagaço de malte e glicerol em diferentes concentrações, não afetaram a flexão das bandejas.

4. CONCLUSÃO

O amido de batata apresentou médio teor de amilose, sendo resultado da herança genética da cultivar Asterix. Os teores de umidade e cinzas foram baixos e de acordo com a legislação vigente no país para a comercialização de amido. A composição química do bagaço de malte, em especial o teor de proteína bruta e de fibra bruta demonstrou o seu potencial como material de reforço em embalagens.

A incorporação de bagaço de malte nas bandejas expandidas de amido de batata, em excesso, causou redução da espessura média, aumento da densidade. Além disso, promoveu alteração na coloração das amostras, tornando-as mais avermelhadas e amareladas e com menor luminosidade, em relação à amostra controle, sem bagaço de malte. A CAA das bandejas à base de amido de batata com bagaço de malte foi diretamente influenciada pelas maiores concentrações de glicerol incorporados às formulações.

De acordo com o exposto é possível concluir que dentro dos parâmetros estudados, o ensaio 3 (30% m/m de resíduo e 2,5 % m/m de glicerol) é o que mais se

mostrou favorável para ser aplicado em alimentos, pois apresentou baixo teor de umidade, atividade de água e densidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Chamada MCTIC/CNPq N° 28/2018 - Universal/Faixa A - Até R\$ 30.000,00, processo n° 432181/2018-0.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bergel, B. F., Dias Osorio, S., da Luz, L. M., & Santana, R. M. C. (2018). Effects of hydrophobized starches on thermoplastic starch foams made from potato starch. *Carbohydrate Polymers*, 200(July), 106–114.

BRASIL. Resolução RDC n° 263, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico para Produtos de Cereais, Amidos, Farinhas e Farelos. DOU de 22 de dezembro de 2000.

Brasil. Resolução - CNNPA n°12, de 1978. Normas Técnicas Especiais. D.O. de 24/07/1978.

Carr, L. G. (2007). Desenvolvimento De Embalagem Biodegradável Tipo Espuma a Partir De Fécula De Mandioca. *Dissertação Doutorado Em Engenharia Química*, USP, São Paulo.

Carvalho, F. A., Bilck, A. P., Yamashita, F., & Mali, S. (2018). Baked Foams Based on Cassava Starch Coated with Polyvinyl Alcohol with a Higher Degree of Hydrolysis. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(4), 1445–1452.

Craig, S. S. S.; Maningat, C. C.; Medeiros, E. S.; Carvalho, A. A. S.; Mattoso, L. H. C. (2005) Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. *Polymeros: Ciência e Tecnologia*, 15 (4), 268-273.

Debiagi, F., Mali, S., Grossmann, M. V. E., & Yamashita, F. (2010). Efeito 1522 de fibras vegetais nas. *Ciência e Agrotecnologia*, 34(6), 1522–1529.

Denardin, C. C., & da Silva, L. P. (2009). Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Ciencia Rural*, 39(3), 945–954.

Engel, M.O.; Reategui, D.R., Santana, R. M. . (2014). Biocompósitos de amido termoplástico expandido reforçado com casca de soja. *Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Dos Materiais*, 3685(1), 2665–2672.

Engel, J. (2018). Propriedades de espumas à base de amido de mandioca com incorporação de engaço de uva. *Dissertação Mestrado em Engenharia Química*, UFRGS, Porto Alegre.

Espina, M., Cruz-Tirado, J. P., & Siche, R. (2016). Mechanical properties of trays based on starch of native plant species and fiber of agroindustrial wastes. *Scientia Agropecuaria*, 07(02), 133–143.

- Garcia, E. L. (2013). Composição Dos Tubérculos , Extração E Caracterização De Amidos De Diferentes Cultivares. *Dissertação Mestrado em Agronomia*, UNESP, Botucatu.
- Jacobson, M.R., Obanni, M., Bemiller, J.N. (1997). Retrogradation of starches from different botanical sources. *Cereal Chemistry*, 74(5).
- Kaewtatip, K., Chiarathanakrit, C., & Riyajan, S. A. (2018). The effects of egg shell and shrimp shell on the properties of baked starch foam. *Powder Technology*, 335, 354–359.
- Machado, C. M. (2016). Desenvolvimento de espumas à base de amido de mandioca incorporadas com resíduo do processamento de gergelim para utilização como embalagens. *Dissertação Mestrado em Engenharia Química*, FURG, Porto Alegre.
- Matsuda, D. K. M., Verceheze, A. E. S., Carvalho, G. M., Yamashita, F., & Mali, S. (2013). Baked foams of cassava starch and organically modified nanoclays. *Industrial Crops and Products*, 44, 705–711.
- Mello, Léa R.P.F., & Mali, S. (2014). Use of malt bagasse to produce biodegradable baked foams made from cassava starch. *Industrial Crops and Products*, 55, 187–193.
- Mello, Léa Rita Pestana Ferreira, Vergílio, R. M., & Mali, S. (2013). Caracterização Química e Funcional do Resíduo Fibroso da Indústria Cervejeira. *Biochemistry and Biotechnology Reports*, 2(3), 191–194.
- Melo, A.A., Manfio, M., Rosa, C. S. (2016). Composição e propriedades tecnológicas da farinha do resíduo da fermentação da cerveja. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 18(1), 91–95.
- Moraes, C. B., & Brasil, P. D. C. (2015). Estudo da Viabilidade do Poliestireno Expandido (EPS) na produção de edificações com baixo impacto ambiental. *Seminário Nacional de Construções Sustentáveis*, (1).
- Nilsson, L. Sjö, M. (2017). Structure, Function and Applications (2nd ed). Starch in Food.
- Oksman, K., Aitomäki, Y., Mathew, A. P., Siqueira, G., Zhou, Q., Butylina, S., Hooshmand, S. (2016). Review of the recent developments in cellulose nanocomposite processing. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 83, 2–18.
- Palma-Rodríguez, H. M., Berrios, J. D. J., Glenn, G., Salgado-Delgado, R., Aparicio-

- Saguilán, A., Rodríguez-Hernández, A. I., & Vargas-Torres, A. (2016). Efecto de las condiciones de almacenamiento en las propiedades mecánicas y microestructura en espumas biodegradables de almidón cocido. *CYTA - Journal of Food*, 14(3), 415–422.
- Pornsuksomboon, K., Holló, B. B., Szécsényi, K. M., & Kaewtatip, K. (2016). Properties of baked foams from citric acid modified cassava starch and native cassava starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 136, 107–112.
- Salgado, P. R.; Schmidt, V. C.; Ortiz, S. E. M.; Mauri, A. N.; Laurindo, J. B. (2008). Biodegradable foams based on cassava starch, sunflower proteins and cellulose fibers obtained by a baking process. *Journal of Food Engineering*, 85 (3), 435–443.
- Schimidt, V. C. R. (2006). Desenvolvimento de bandejas biodegradáveis a partir da fécula de mandioca, calcário e fibra de celulose. *Dissertação Pós-Graduação Em Engenharia de Alimentos*, UFSC, Florianópolis.
- Shogren, R.; Lawton, J. W.; Doane, W. M.; Tiefenbacher, K. F. (1998). Structure and morphology of baked starch foams. *Polymer*, 39 (25), 6649–6655.
- Soykeabkaew, N., Thanomsilp, C., & Suwantong, O. (2015). A review: Starch-based composite foams. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 78, 246–263.
- Stoffel, F. (2015). Desenvolvimento De Espumas a Base De Amido De Mandioca. *Dissertação Mestrado Em Engenharia de Processos*, UCS, Caxias do Sul.
- Tavares, A.C.K; Zanatta, E; Zavareze, E.R; Helbig, E; Dias, A. R. . (2010). The effects of acid and oxidative modification on the expansion properties of rice flours with varying levels of amylose. *Food Science and Technology*, 43(8), 1213–1219.
- Villar, M. A.; Barbosa, S. E.; García, M. A.; Castillo, L. A.; López, O. V. (2017) *Starch-Based Materials in Food Packaging* (1nd ed). Elsevier.
- Zenebon, O.; Pascuet, N.S.; Tiglea, P.(2008) *Métodos físico-químicos para análise de alimentos* (4nd ed). São Paulo – SP.

ANEXO 1

Link para acesso:

<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/17454549/homepage/forauthors.html>