

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

DESENVOLVIMENTO DE ESPUMAS À BASE DE AMIDO DE MANDIOCA COM  
INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE SUCO  
DE UVA E DE ÓLEO DE SEMENTE DE UVA ORGÂNICOS

MÁRCIA ZANINI

PORTO ALEGRE

2024

MÁRCIA ZANINI

DESENVOLVIMENTO DE ESPUMAS À BASE DE AMIDO DE MANDIOCA COM  
INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA PRODUÇÃO DE SUCO  
DE UVA E DE ÓLEO DE SEMENTE DE UVA ORGÂNICOS

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PPGEQ) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Doutor em Engenharia Química. Área de Concentração: Pesquisa e Desenvolvimento de Processos.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dra. Isabel Cristina Tessaro

Coorientação: Prof.<sup>a</sup> Dra. Camila Baldasso

MÁRCIA ZANINI

**DESENVOLVIMENTO DE ESPUMAS À BASE DE AMIDO DE MANDIOCA  
COM INCORPORAÇÃO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA PRODUÇÃO  
DE SUCO DE UVA INTEGRAL E DE ÓLEO DE SEMENTE DE UVA**

Esta tese foi analisada e julgada adequada para a obtenção do título de doutor em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelos orientadores e banca examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof.<sup>a</sup> Dra. Isabel Cristina Tessaro (Orientadora)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

Prof.<sup>a</sup> Dra. Camila Baldasso (Coorientadora)  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Aprovado em: 09/12/2024

Banca Examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciane Maria Colla  
Universidade de Passo Fundo (UPF)

Prof.<sup>a</sup> Dra. Poliana Deyse Gurak  
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (UFCSPA)

Prof.<sup>a</sup> Dra. Vanusca Dalosto Jahno  
Universidade Feevale (FEEVALE)

## Agradecimentos

À professora Dra. Isabel Cristina Tessaro e à Dra. Camila Baldasso pela oportunidade, orientação, confiança, empatia e conhecimentos compartilhados ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à Universidade de Caxias do Sul pela disponibilização da infraestrutura, insumos, recursos e equipamentos.

Ao corpo técnico de ambas as instituições, principalmente, ao Dr. Wendel Paulo Silvestre, Dra. Ana Paula Longaray Delamare e doutoranda Jocelei Duarte, pelo auxílio na realização dos experimentos e interpretação dos dados.

Aos meus pais, Maria Bianco Zanini (*in memoriam*) e Antônio Augusto Zanini, (*in memoriam*), com amor e gratidão, pelo apoio incondicional para realização dos meus sonhos ao longo de toda minha trajetória.

À minha filha Sofia Zanini Clamer, e ao meu marido, Roberto Clamer, pelo amor e compreensão.

*“A felicidade não é um destino, é uma jornada, e o segredo é  
aprender a apreciar cada passo do caminho.”*

Nelson Pasquini Filho

## RESUMO

As embalagens, na indústria alimentícia, auxiliam no processo de conservação e manutenção da qualidade do alimento, visando a segurança alimentar, protegendo contra agentes externos, contaminações, adulterações, além de proporcionar praticidade momento da comercialização junto ao consumidor final. A geração de resíduos não biodegradáveis provenientes de embalagens de alimentos é crescente, sendo que, muitas vezes devido à inviabilidade econômica no processo de segregação e reciclagem, estes resíduos são destinados a aterros sanitários. Visando à diminuição do impacto ambiental e à obtenção de materiais alternativos biodegradáveis, o presente estudo busca a obtenção de espumas à base de amido de mandioca com incorporação de resíduos agroindustriais provenientes da produção de suco de uva integral e óleo de semente de uva orgânicos, para aplicação em embalagens de alimentos. As espumas à base de amido foram produzidas por expansão térmica, com adição dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva (SEDC) na proporção de 10 %, 20% e 30 % (m/m). As espumas obtidas foram caracterizadas em relação aos seguintes parâmetros: densidade aparente, teor de umidade, morfologia, capacidade de absorção de água, teor de compostos fenólicos totais, antocianinas totais, flavonoides totais, capacidade antioxidante, estabilidade térmica, estrutura química, propriedades mecânicas, atividade antimicrobiana e biodegradabilidade. A adição dos resíduos CA, SE e SEDC proporcionou espumas com menor densidade aparente e maior capacidade de expansão. Ademais, a adição dos resíduos SE e SEDC resultou em menor capacidade de absorção de água das espumas, enquanto a adição do resíduo CA promoveu o aumento da capacidade de absorção. A adição dos resíduos às espumas proporcionou maiores teores de antocianinas, fenólicos, flavonoides e atividade antioxidante às embalagens comparado ao controle. Em relação à estabilidade térmica, a adição do resíduo CA, SE e SEDC causou diminuição da estabilidade térmica das espumas, quando comparadas à amostra controle, e nos espectros obtidos foi possível a identificação de bandas características dos resíduos adicionados. A resistência à tração, alongação na ruptura e módulo de elasticidade das embalagens com adição dos resíduos CA, SE e SEDC foram inferiores à amostra controle. A adição dos resíduos potencializou a capacidade de biodegradação das espumas preparadas, que se desagregaram em períodos de 20 a 40 dias e foram totalmente degradadas em cerca de 60 dias. Em relação à atividade antimicrobiana, as espumas contendo o resíduo CA promoveram inibição parcial do desenvolvimento de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. De forma geral, as embalagens com adição dos resíduos SE e SEDC apresentaram melhores resultados quando comparadas às embalagens com a adição do resíduo CA. Foi escolhida a formulação com adição do resíduo 10% de SEDC para otimização com adição de óleo de semente de uva residual (OR) nas concentrações de 2,5 %, 5,0 % e 7,5 %. A adição de OR na formulação promoveu pequeno aumento na densidade aparente, menor capacidade de absorção de água e redução nas propriedades mecânicas. Além disso, não houve alteração significativa nos teores de antocianinas totais, fenólicos totais, flavonoides e atividade antioxidante em relação às amostras com adição do OR e controle. Em relação à estabilidade térmica, a adição do OR ocasionou pequena redução da estabilidade térmica das espumas, quando comparadas ao controle. Nos espectros obtidos, notou-se bandas características do OR. Em todas as amostras com a adição do OR houve inibição do crescimento da bactéria *S. aureus* quando comparada com as demais amostras obtidas, não havendo diferença significativa. A presença do OR nas espumas promoveu um retardo no processo de desagregação, sem efeitos inibitórios sobre o processo de

decomposição das amostras, uma vez que a degradação de todas as amostras ocorreu em cerca de 60 dias, independentemente do teor de óleo adicionado. A formulação com adição de 10% do resíduo SEDC e utilização de 2,5% de OR apresentou os resultados mais promissores, devido à redução da capacidade de absorção de água e propriedades antimicrobianas, demonstrando potencial para utilização como embalagem ativa.

**Palavras-chave:** espuma de amido, resíduos agroindustriais, materiais biodegradáveis, embalagens de alimentos, atividade antioxidante, atividade antimicrobiana.

## ABSTRACT

Packaging, in the food industry, helps in the process of conserving and maintaining food quality, aiming at food safety, protecting against external agents, contamination, adulteration, in addition to providing practicality moment of marketing to the final consumer. The generation of non-biodegradable waste from food packaging is growing, and often, due to the economic unfeasibility of the segregation and recycling process, these wastes are sent to landfills. Aiming to reduce the environmental impact and obtain alternative biodegradable materials, this study seeks to obtain foams based on cassava starch with the incorporation of agro-industrial residues from producing organic whole grape juice and grape seed oil for application in food packaging. The starch-based foams were produced by thermal expansion, with the addition of grape skin waste (CA), grape seed (SE), and defatted grape seed with fragments of grape skin (SEDC) in the proportion of 10 wt.%, 20% and 30 wt.%. The obtained foams were characterized in relation to the following parameters: to apparent density, moisture content, morphology, water absorption capacity, content of total phenolic compounds, total anthocyanins, total flavonoids, antioxidant capacity, thermal stability, chemical structure, mechanical properties, antimicrobial activity and biodegradability. Adding CA, SE, and SEDC residues provided foams with lower apparent density and greater expansion capacity. Furthermore, the addition of SE and SEDC residues resulted in a lower water absorption capacity of the foams, while the addition of CA residue increased absorption capacity. Adding residues to the foams provided higher levels of total anthocyanins, total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity to the packages relative to the control. Regarding the thermal stability, the addition of CA, SE, and SEDC residues caused a decrease in the thermal stability of the foams when compared to the control sample. In the obtained spectra, it was possible to identify characteristic bands of the added residues. The tensile strength, elongation at break, and modulus of elasticity of the packages with the addition of CA, SE, and SEDC residues were lower than the control sample and the EPS. Adding residues enhanced the prepared foams' biodegradation capacity, which disintegrated in 20 to 40 days and were wholly degraded in around 60 days. Regarding antimicrobial activity, foams containing CA residue promoted partial inhibition of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* development. In general, the packages with the addition of SE and SEDC residues showed better results when compared to the packages with the addition of CA residue. The formulation with addition of 10% SEDC residue was chosen for optimization by adding residual grape seed oil (RO) at concentrations of 2.5 %, 5.0 %, and 7.5 %. The addition of OR to the formulation promoted a slight increase in apparent density, lower water absorption capacity, and reduction in mechanical properties. Furthermore, there was no significant change in the levels of total anthocyanins, total phenolics, flavonoids, and antioxidant activity concerning the samples with the addition of OR and the control sample. Regarding thermal stability, the addition of OR caused a slight reduction in the thermal stability of the foams compared to the control sample. In the spectra obtained, it was possible to identify bands characteristic of the added OR. Regarding antimicrobial activity, in all samples with the addition of OR, there was inhibition of the growth of *S. aureus* bacteria compared to the other samples obtained, with no significant difference. The presence of OR in the foams promoted a delay in the foam disintegration process but without inhibitory effects on the foam decomposition process since the degradation of all samples occurred in around 60 days, regardless of the added oil content. The formulation with the addition of 10% SEDC residue and the use of 2.5% RO showed



the most promising results, due to the reduction in water absorption capacity and antimicrobial properties, demonstrating potential for use as active packaging.

**Keywords:** starch foam, agro-industrial waste, biodegradable materials, food packaging, antioxidant activity, antimicrobial activity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos polímeros biodegradáveis de acordo com a fonte de obtenção.....	25
Figura 2 - Fluxograma da obtenção e preparo dos resíduos do processamento da uva orgânica variedade Bordô ( <i>Vitis labrusca</i> L.). .....	49
Figura 3 - Fluxograma do processo de desenvolvimento das espumas à base de amido de mandioca com incorporação dos resíduos e da formulação otimizada.....	50
Figura 4 – Etapas do processo de obtenção das espumas à base de amido. ....	54
Figura 5 - Destinação dos resíduos orgânicos (bagaço/engajo/semente), durante o período de 2018 a 2022, conforme informações das empresas da área vitivinícola. ....	61
Figura 6 - Espectros de FTIR dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC), obtidos pelo método de reflexão total atenuada (ATR). .....	69
Figura 7 - Análise termogravimétrica (TGA) e curva termogravimétrica diferencial (DTG) das amostras de resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC). .....	70
Figura 8 - Imagens da suspensão à base de amido (a) e da espuma (b) obtida da formulação padrão. ....	73
Figura 9 - Imagens das suspensões à base de amido de mandioca com diferentes teores dos resíduos incorporados, com adição do resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição do resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e com adição do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). .....	74
Figura 10 - Imagens das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos obtidas, EP (espuma de amido padrão), com adição do resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição do resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e com adição do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). .....	75
Figura 11 - Micrografias obtidas por MEV, das espuma de amido de mandioca, amostra padrão: a) superfície, com ampliação de 100 vezes; b) seção transversal, com ampliação de 50 vezes.....	79
Figura 12 - Micrografias obtidas por MEV, das espumas de amido de mandioca com incorporação do resíduo casca de uva (CA) da superfície, com ampliação de 100x: a) ECA10 (10 %); b) ECA20 (20 %); c) ECA30 (30 %) e seção transversal com ampliação de 50x: d) ECA10 (10 %); e) ECA20 (20 %); f) ECA30 (30 %). .....	79

Figura 13 - Micrografias obtidas por MEV, das espumas de amido de mandioca com incorporação do resíduo semente de uva (SE) da superfície, com ampliação de 100x: a) ESE10 (10 %); b) ESE20 (20 %); c) ESE30 (30 %) e seção transversal com ampliação de 50x: d) ESE10 (10 %); e) ESE20 (20 %); f) ESE30 (30 %).	80
Figura 14 – Micrografias obtidas por MEV, das espumas de amido de mandioca com incorporação do resíduo semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva (SEDC) da superfície, com ampliação de 100x: a) ESEDC10 (10 %); b) ESEDC20 (20 %); c) ESEDC30 (30 %) e seção transversal com ampliação de 50x: d) ESEDC10 (10 %); e) ESEDC20 (20 %); f) ESEDC30 (30 %).	80
Figura 15 - Análise termogravimétrica (a) e primeira derivada da perda de massa (b) da espuma de amido padrão (EP), comparado ao amido de mandioca.	88
Figura 16 - Análise termogravimétrica (a) e primeira derivada da perda de massa (b) das espumas de amido padrão (EP), e incorporadas com diferentes teores de resíduo casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %).	89
Figura 17 - Análise termogravimétrica (a) e primeira derivada da perda de massa (b) das espumas de amido padrão (EP), e incorporadas com diferentes teores de resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %).	89
Figura 18 - Análise termogravimétrica e primeira derivada da perda de massa das espumas de amido padrão (EP), e incorporadas com diferentes teores de resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %).	90
Figura 19 – Espectros de FTIR do amido de mandioca e da espuma de amido padrão (EP).	92
Figura 20 - Espectros de FTIR do resíduo de casca de uva (CA), das espumas de amido padrão (EP), e incorporadas com diferentes teores de resíduo casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %).	92
Figura 21 – Espectros de FTIR do resíduo semente de uva (SE), das espumas de amido padrão (EP), e incorporadas com diferentes teores de resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %).	93
Figura 22 - Espectros de FTIR do resíduo de semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC), das espumas de amido padrão (EP), e incorporadas com diferentes teores de resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %).	93
Figura 23 – Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca da amostra padrão (EP), durante um período de 60 dias.	99
Figura 24 - Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com incorporação do resíduo casca de uva (CA) a) ECA10 (10 % m/m); b) ECA20 (20 % m/m); c) ECA30 (30 % m/m) durante um período de 60 dias.	100

Figura 25 - Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com incorporação do resíduo semente de uva (SE) a) ESE10 (10 % m/m); b) ESE20 (20 % m/m); c) ESE30 (30 % m/m) durante um período de 60 dias. ....	102
Figura 26 – Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com incorporação do resíduo semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva (SEDC) a) ESEDC10 (10 % m/m); b) ESEDC20 (20 % m/m); c) ESEDC30 (30 % m/m) durante um período de 60 dias. ....	104
Figura 27 - Imagens das suspensões e das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva (ESEDC10) e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10A (2,5 % m/m), ESEDC10B (5,0 % m/m) e ESEDC10C (7,5 % m/m). ....	107
Figura 28 - Micrografias obtidas por MEV, das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva (ESEDC10) e diferentes teores de óleo de semente de uva residual, com ampliação de 100x: a) ESEDC10 (zero), b) ESEDC10A (2,5 %), c) ESEDC10B (5,0 %) e d) ESEDC10C (7,5 %); e seção transversal com ampliação de 50x: e) ESEDC10 (zero), f) ESEDC10A (2,5 %), g) ESEDC10B (5,0 %) e h) ESEDC10C (7,5 %); ....	109
Figura 29 - Análise termogravimétrica (a) e primeira derivada da perda de massa (b) das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m de resíduos semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10 (zero), ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %), ESEDC10C (7,5 %); e do óleo de semente de uva residual (OR).....	113
Figura 30 - Espectros de FTIR-ATR das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m de resíduos semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10 (zero), ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %), ESEDC10C (7,5 %) e do óleo de semente de uva residual (OR).....	115
Figura 31 – Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com adição de 10 % m/m do resíduo SEDC (ESEDC10), durante um período de 60 dias.....	119
Figura 32 - Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com adição de 10 % m/m do resíduo SEDC e 2,5 % de óleo de semente de uva residual (ESEDC10A), durante um período de 60 dias.....	119
Figura 33 – Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com adição de 10 % m/m do resíduo SEDC e 5,0 % de óleo de semente de uva residual (ESEDC10B), durante um período de 60 dias.....	120
Figura 34 - Imagens da degradação da espuma de amido de mandioca com adição de 10% do resíduos SEDC e 7,5% de óleo de semente de uva residual (ESEDC10C), durante um período de 60 dias.....	121

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Formulações das espumas à base de amido sem resíduo (controle) e com a incorporação dos diferentes resíduos na proporção de 10, 20 e 30 % (m/m), testadas no presente estudo. .... 53
- Tabela 2 - Formulações das espumas à base de amido e com a incorporação dos resíduos de semente desengordurada com fragmentos de casca e óleo de semente de uva residual, testadas no presente estudo. .... 55
- Tabela 3 - Quantidade de resíduos sólidos orgânicos (bagaço/engajo/semente) provenientes do processamento de uva, informados pelas empresas da área vitivinícola. .... 60
- Tabela 4 - Composição química (em base úmida) e propriedades físico-químicas dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC). .... 63
- Tabela 5 - Teores de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC). .... 66
- Tabela 6 - Capacidade antioxidante dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC). .... 68
- Tabela 7 - Densidade aparente e teores de umidade das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: EP (espuma de amido padrão), com adição do resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição do resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e com adição do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). .... 76
- Tabela 8 - Capacidade de absorção de água (%) em função do tempo de exposição das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: EP (espuma de amido padrão), com adição do resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição do resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e com adição do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). .... 82
- Tabela 9 - Teores de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: EP (espuma de amido padrão), com adição do resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição do resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e com adição do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). .... 84
- Tabela 10 - Capacidade antioxidante das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: EP (espuma de amido padrão), com adição do resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição do resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e

com adição do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). ..... 86

Tabela 11 - Propriedades mecânicas das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: EP (espuma de amido padrão), com adição de resíduo de casca de uva: ECA10 (10 %), ECA20 (20 %), ECA30 (30 %); com adição de resíduo semente de uva: ESE10 (10 %), ESE20 (20 %), ESE30 (30 %); e com adição de resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC10 (10 %), ESEDC20 (20 %) e ESEDC30 (30 %). ..... 94

Tabela 12 – Resultados de atividade microbiana através de determinação de sobrevivências de microrganismos expostos às espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: EP (espuma de amido padrão), com adição de resíduo de casca de uva: ECA30 (30 % m/m); com adição de resíduo semente de uva: ESE30 (30 % m/m); e com adição de resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC30 (30 % m/m). ..... 97

Tabela 13 - Atividade microbiana através de determinação de sobrevivências de microrganismos expostos às espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: com adição de resíduo de casca de uva: ECA10 (10 % m/m), ECA20 (20 % m/m) e ECA30 (30 % m/m). ..... 98

Tabela 14 - Densidade aparente e teor de umidade das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva (ESEDC10) e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10A (2,5 % m/m), ESEDC10B (5,0 % m/m) e ESEDC10C (7,5 % m/m). ..... 108

Tabela 15 - Capacidade de absorção de água (%) em função do tempo de exposição das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m do resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva (ESEDC10) e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %) e ESEDC10C (7,5 %). ..... 110

Tabela 16 - Teores de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m de resíduos semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10 (zero), ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %), ESEDC10C (7,5 %); e do óleo de semente de uva residual (OR). ..... 111

Tabela 17 - Capacidade antioxidante das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m de resíduos semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10 (zero), ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %), ESEDC10C (7,5 %); e do óleo de semente de uva residual (OR). ..... 112

Tabela 18 - Propriedades mecânicas das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m de resíduos semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10 (zero), ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %), ESEDC10C (7,5 %); e do óleo de semente de uva residual (OR). ..... 116

Tabela 19 - Atividade microbiana através de determinação de sobrevivências das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com diferentes teores dos resíduos: com adição de resíduo semente desengordurada com fragmentos de casca de uva: ESEDC30 (30 % m/m); e com adição de óleo de semente de uva residual (ESEDC10C). ..... 117

Tabela 20 - Atividade antimicrobiana através de determinação de sobrevivências das espumas à base de amido de mandioca e incorporadas com 10 % m/m de resíduos semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva e diferentes teores de óleo de semente de uva residual: ESEDC10A (2,5 %), ESEDC10B (5,0 %), ESEDC10C (7,5 %). ..... 118

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	20
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>22</b>
2.1	EMBALAGENS PARA ALIMENTOS .....	22
2.2	EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDO .....	26
2.2.1	Processos de formação de espumas à base de amido .....	28
2.2.1.1	Processo de cozimento.....	28
2.2.1.2	Processo de extrusão .....	29
2.2.1.3	Processo de termocompressão .....	30
2.2.1.4	Aquecimento por micro-ondas.....	31
2.2.1.5	Liofilização .....	32
2.2.1.6	Fluido supercrítico .....	33
2.3	MODIFICAÇÃO DO AMIDO E ADITIVOS TRADICIONALMENTE UTILIZADOS .....	34
2.4	A UVA: PRODUÇÃO, PROCESSAMENTO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	39
2.4.1	Casca de uva .....	42
2.4.2	Semente de uva.....	43
2.5	POTENCIAIS USOS DOS RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSAMENTO DA UVA .....	44
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	46
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>48</b>
3.1	MATERIAL .....	48
3.2	MÉTODOS.....	49
3.2.1	Dados de geração dos resíduos.....	50
3.2.2	Caracterização dos resíduos.....	51
3.2.2.1	Caracterização química e propriedades físico-químicas.....	51
3.2.2.2	Determinação da atividade antioxidante.....	52
3.2.2.3	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA/DTG) .....	52
3.2.2.4	Capacidade de absorção de água.....	53
3.2.3	Desenvolvimento das espumas à base de amido de mandioca com incorporação dos resíduos do processamento da uva .....	53
3.2.4	Otimização da formulação das espumas à base de amido de mandioca com adição de 10 % m/m do resíduo SEDC.....	54
3.2.5	Caracterização das espumas .....	55



3.2.5.1	Densidade aparente .....	55
3.2.5.2	Teores de umidade e de substâncias voláteis .....	56
3.2.5.3	Capacidade de absorção de água.....	56
3.2.5.4	Morfologia .....	56
3.2.5.5	Determinação da atividade antioxidante, teor de fenólicos totais, flavonoides e antocianinas .....	56
3.2.5.6	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA/DTG) .....	57
3.2.5.7	Ensaio de tração .....	57
3.2.5.8	Atividade antimicrobiana através de determinação de sobrevivência ..	57
3.2.5.9	Teste de biodegradabilidade .....	58
3.2.5.10	Delineamento experimental e análise estatística.....	58
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>60</b>
4.1	DADOS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS do processamento da uva.....	60
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	62
4.2.1	Composição química e propriedades físico-químicas dos resíduos .....	62
4.2.2	Teor de fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides .....	66
4.2.3	Capacidade antioxidante.....	67
4.2.4	Análises de FTIR e TGA .....	69
4.2.5	Capacidade de Absorção de Água.....	71
4.3	FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPUMAS OBTIDAS.....	72
4.3.1	Formação das espumas .....	72
4.3.2	Caracterização das espumas obtidas.....	76
4.3.2.1	Densidade aparente e teor de umidade.....	76
4.3.2.2	Morfologia .....	78
4.3.2.3	Capacidade de absorção de água.....	82
4.3.2.4	Teores de compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonoides .....	84
4.3.2.5	Determinação da atividade antioxidante.....	86
4.3.2.6	Estabilidade térmica - Análise termogravimétrica (TGA).....	88
4.3.2.7	Estrutura química - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	91
4.3.2.8	Propriedades mecânicas - Ensaio de tração.....	94
4.3.2.9	Atividade antimicrobiana por determinação de sobrevivência .....	97
4.3.2.10	Teste de biodegradabilidade .....	99
4.4	FORMULAÇÃO OTIMIZADA .....	105
4.4.1	Formação das espumas da formulação otimizada .....	106
4.4.2	Caracterização das espumas obtidas com a formulação otimizada .....	107

4.4.2.1	Densidade aparente e teor de umidade.....	107
4.4.2.2	Morfologia .....	108
4.4.2.3	Capacidade de absorção de água.....	110
4.4.2.4	Teores de compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonoides .....	111
4.4.2.5	Determinação da atividade antioxidante das espumas contendo óleo de semente de uva.....	112
4.4.2.6	Estabilidade térmica - Análise termogravimétrica (TGA).....	113
4.4.2.7	Estrutura química - Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	114
4.4.2.8	Propriedades mecânicas das espumas contendo óleo de semente de uva .....	115
4.4.2.9	Atividade antimicrobiana por determinação de sobrevivência.....	117
4.4.2.10	Teste de biodegradabilidade .....	118
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>122</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os principais materiais utilizados na produção de embalagens de alimentos, como filmes, embalagens flexíveis, recipientes rígidos e espumas, são usualmente polímeros não biodegradáveis, principalmente polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS) e poli (tereftalato de etileno) (PET). Para a fabricação de espumas é utilizado principalmente o poliestireno expandido (EPS), por ser um material de baixo custo, apresentar baixa densidade, possuir alta resistência à umidade e praticidade para o armazenamento e manuseio de alimentos.

Entretanto o EPS apresenta como principais desvantagens o baixo potencial para o processo de reciclagem, não sendo em muitas situações uma opção viável para catadores e cooperativas recicladoras. O grande volume torna a logística reversa onerosa, a presença de contaminações e sujidades aderidas ao material reduz a qualidade do produto reciclado, bem como, são necessários avanços tecnológicos para viabilizar os processos de triagem e reciclagem. Desta forma uma maior geração de resíduos sólidos a serem descartados em aterros sanitários, tendo como inconveniente, ser um material polimérico não biodegradável.

Visando a redução do impacto ambiental em virtude do descarte de resíduos poliméricos não biodegradáveis em aterros sanitários, é importante a busca por soluções e alternativas biodegradáveis para substituição de embalagens plásticas petroquímicas, provenientes de recursos renováveis. O desafio é o desenvolvimento de um produto biodegradável com viabilidade comercial, que apresente propriedades similares aos produtos atuais utilizados, que satisfaçam minimamente os requisitos necessários para ser considerado uma embalagem adequada.

Nessa pesquisa, a proposta que relaciona embalagem de alimentos e sustentabilidade, buscando a utilização de matérias-primas de baixo impacto ambiental, biodegradáveis, renováveis, é a elaboração de espumas à base de amido com incorporação dos resíduos gerados no processamento de uva orgânica.

O amido possui um custo atrativo para ser utilizado como matéria-prima na produção de embalagens de alimentos, principalmente por ser um polímero biodegradável e de baixa densidade. Entretanto, possui algumas desvantagens, como alta densidade, baixas propriedades mecânicas e caráter hidrofílico.

Para possibilitar a utilização de amido como matéria-prima na fabricação de embalagens, diversos estudos são realizados para melhorar as propriedades dos

materiais obtidos, como por exemplo, a adição de fibras naturais. Nesse contexto, a incorporação de resíduos do processamento de uva orgânica na elaboração de espumas de amido é promissora. Além disso, os resíduos provenientes de cultivos sem a adição de insumos químicos, agrotóxicos ou pesticidas evitam a presença de resíduos químicos que possam migrar para o alimento, por isso optou-se em utilizar estes resíduos de cultivo orgânico.

As características dos resíduos do processamento da uva, como a presença de compostos bioativos (compostos fenólicos, flavonoides, antocianinas), permitem que as embalagens desenvolvidas apresentem potencial de atividade antimicrobiana e antioxidante, retardando sua degradação durante o tempo de prateleira do alimento e potencialmente protegendo-o por mais tempo. No entanto, ainda são necessários mais estudos para que tais resíduos possam ser incorporados de forma adequada às espumas a fim de formar uma embalagem funcional para emprego comercial.

Ademais, a preocupação com impactos ambientais relacionados às mudanças climáticas proporciona interesse crescente no reuso e novas aplicações para resíduos agroindustriais. Considerando que a biomassa é o único recurso de carbono renovável, esta é uma alternativa à utilização de recursos não renováveis, como, por exemplo, os combustíveis fósseis. Tendo em vista a quantidade de biomassa residual disponível, é importante a alocação de recursos na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias visando à reutilização e valorização desse tipo de material.

Nesse contexto, a pesquisa realizada possui como diferencial a avaliação da incorporação dos resíduos da casca de uva, semente da uva, semente de uva desengordurada, óleo de semente de uva residual em espumas à base de amido de mandioca. Tais formulações visam à elaboração de embalagens biodegradáveis para alimentos, com emprego de fontes renováveis e reaproveitamento de resíduos.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver espumas à base de amido de mandioca com incorporação de resíduos da produção de suco de uva e de óleo de semente de uva orgânicos, obtendo uma aplicação para os resíduos do processamento de uvas orgânicas, agregando valor aos mesmos, como embalagens de alimentos.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- a) caracterizar os resíduos quanto às propriedades físico-químicas, térmicas e capacidade antioxidante;
- b) avaliar o efeito da incorporação dos resíduos (casca de uva, semente de uva e semente de uva desengordurada com fragmentos de casca de uva), em diferentes concentrações, para a obtenção das espumas à base de amido;
- c) avaliar o efeito da utilização de óleo de semente de uva residual, em diferentes concentrações, para obtenção das espumas à base de amido;
- d) avaliar as propriedades físicas, químicas, térmicas, morfológicas, mecânicas e capacidade antioxidante das espumas obtidas;
- e) avaliar a atividade antimicrobiana e biodegradabilidade das espumas de amido obtidas com a adição dos resíduos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste item será apresentada a revisão bibliográfica referente a embalagens para alimentos, embalagens biodegradáveis à base de amido, resíduos gerados no processamento da uva e potenciais de uso.

### 2.1 EMBALAGENS PARA ALIMENTOS

O processamento de alimentos engloba várias etapas, incluindo a preparação, produção e embalagem. A etapa de embalagem é parte integrante da indústria de alimentos, relacionada à qualidade e segurança alimentar, fornecendo proteção durante o armazenamento dos produtos alimentícios até serem consumidos. Além disso, a embalagem promove a comunicação visual com os consumidores, contendo informações sobre o produto, como, por exemplo, lista de ingredientes, peso e informações nutricionais (YAN; HSIEH; RICACHO, 2022).

As embalagens de alimentos desempenham múltiplas funções relacionadas à conservação do alimento, mantendo sua qualidade e segurança e atuando como barreira para fatores responsáveis pela deterioração química, física e microbiológica (JORGE, 2013) durante a vida útil de prateleira, além de proporcionar praticidade e comodidade para o manuseio, transporte e armazenamento.

A embalagem pode ser definida como o recipiente, o pacote destinado a garantir a conservação e facilitar o transporte e manuseio dos alimentos. Em relação ao contato com o alimento, as embalagens podem ser classificadas como primárias (possui contato direto com os alimentos), secundárias (destinadas a conter embalagens primárias) e terciárias (destinadas a conter uma ou mais embalagens secundárias) (BRASIL, 2002).

As embalagens também podem ser classificadas quanto à estrutura como rígidas, semirrígidas e flexíveis, apresentando uma ampla variedade de formas e materiais. As embalagens são indispensáveis no cotidiano da sociedade, pois desempenham funções importantes, relacionadas à garantia da qualidade do produto e sua comercialização (JORGE, 2013, LANDIM et al., 2016). Os principais materiais utilizados para contato direto com os alimentos são vidro, metal, papel/papelão e uma grande variedade de materiais poliméricos e compósitos diversos (OTTO et al., 2021).

Materiais poliméricos à base de petróleo, como PP (polipropileno), PVC (policloreto de vinilo), PE (polietileno) e PS (poliestireno) têm sido frequentemente

utilizados na elaboração de embalagens de alimentos. A produção de embalagens poliméricas aumentou vinte vezes desde 1964 e representa a maior aplicação de polímeros, correspondendo a 26 % do volume total produzido. Devido às características desse tipo de embalagem, i.e., fácil processabilidade, baixo custo, leveza, transparência, boas propriedades mecânicas e de barreira, os materiais poliméricos têm substituído cada vez mais outros materiais de embalagem, sendo que a tendência de produção deverá continuar crescendo para o dobro do volume atual nos próximos 20 anos (SALWA et al., 2019; MENDES; PEDERSEN, 2021).

O EPS é usualmente aplicado em embalagens de alimentos devido à resistência à umidade e isolamento térmico, proporcionando a manutenção das características organolépticas de produtos perecíveis, como frutas, verduras, produtos cárneos, queijos, frios fatiados e produtos de panificação. Estima-se um crescimento anual de 4,8 % no mercado global de PS no período de 2021 a 2028, devido à crescente demanda por embalagens, incluindo copos de bebidas, bandejas de alimentos e recipientes de garrafa, entre outros (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

Entretanto, a produção de materiais poliméricos derivados do petróleo causa impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa. Em relação ao seu descarte, por apresentarem dificuldades na reciclagem, são destinados em sua grande maioria para aterros sanitários, após uso único. Este descarte ocasiona a geração de um passivo ambiental, pois as embalagens descartadas são compostas por diversos tipos de materiais com diferentes tempos de degradação, sendo que apenas 4 % são depositadas em aterros com condições controladas (SALWA et al., 2019, MENDES; PEDERSEN, 2021; OTTO et al., 2021).

Dados estatísticos de estados-membros da União Europeia sobre a geração de resíduos de embalagens indicam que, em 2019, foram produzidos 177,4 kg de resíduos por habitante, sendo que os materiais poliméricos representaram aproximadamente 20 % do total de resíduos de embalagens. Isto representa um aumento de 13,3 milhões de toneladas, considerando o período de 2009 a 2019 (PORTA; SABBAH; DI PIERRO, 2022).

No Brasil, o percentual de reciclagem de materiais poliméricos é de aproximadamente 1,3 %, bastante inferior à média global, estimada em 9,0 %, sendo que nos Estados Unidos da América e União Europeia, o percentual está acima de 30 %. Estima-se que, até 2050 haverá em torno de 12 bilhões de toneladas de resíduos poliméricos em aterros sanitários e no meio ambiente, muitas vezes dispostos de forma

irregular, se não houver mudança no atual modelo de gestão dos resíduos (LA FUENTE; TRIBST; AUGUSTO, 2022).

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos do Brasil (Lei nº 12.305/2010), a disposição final em aterros deve ser a última alternativa para o resíduo sólido urbano, utilizada somente após terem sido esgotadas as opções de revalorização. Considerando o gerenciamento de resíduos no final da vida útil do produto, a biodegradabilidade das embalagens é uma característica importante, já que muitos materiais não são reutilizados, mas descartados como rejeitos, principalmente se a embalagem esteve em contato direto com o alimento.

Nesse cenário, o mercado das indústrias dos setores de embalagens e alimentos buscam alternativas para embalagens de baixo custo, renováveis e biodegradáveis, com a possibilidade de redução do uso de recursos petrolíferos e, conseqüentemente, a redução de emissões de dióxido de carbono, com menor impacto ambiental. Além disso, estima-se que o mercado de embalagens de alimentos sustentáveis aumentará, motivado pela mudança na preferência do consumidor por materiais recicláveis e ecologicamente corretos (SALWA et al., 2019; MENDES; PEDERSEN, 2021).

Com o avanço de tecnologias aplicadas no setor de alimentos, inovações sustentáveis de embalagens vêm surgindo em resposta à preferência do consumidor e às obrigações ambientais. Além disso, essa mudança de paradigma é importante em termos de prevenção do desperdício de alimentos e redução do impacto ambiental (KERANEN et al., 2021). Embalagens recicláveis, biodegradáveis e polímeros verdes têm sido produzidos como alternativa para redução do consumo de materiais não renováveis. A maioria dos polímeros biodegradáveis é obtida a partir de fontes renováveis e apresentam uma área de grande potencial de estudo para viabilização de seu uso como embalagens (LANDIM et al., 2016).

Os polímeros biodegradáveis podem ser classificados de acordo com o método de síntese e fonte de obtenção, em três grupos, sendo os polímeros de biomassa, polímeros de fontes microbianas e polímeros sintetizados quimicamente por monômeros de fontes agrícolas, conforme ilustrado na Figura 1 (KHAN et al., 2016).

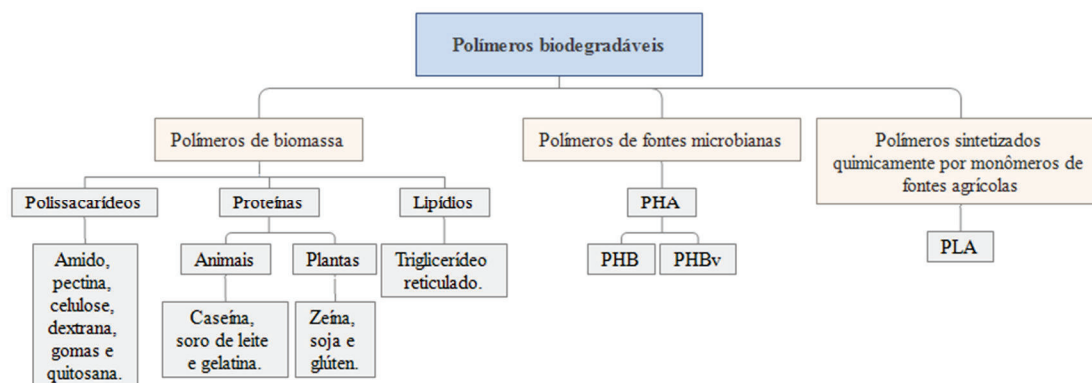
Os polímeros provenientes de fontes microbianas são obtidos a partir da fermentação microbiana de polissacarídeos, como o polihidroxialcanoatos (PHA), polihidroxibutirato (PHB) e polihidroxibutirato co-hidroxivalerato (PHBv). Em relação aos polímeros sintetizados quimicamente por monômeros de fontes agrícolas, o poli



(ácido láctico) (PLA) é um termoplástico obtido a partir do ácido láctico (KHAN et al., 2016).

Os polímeros de fontes de biomassa são geralmente de origem marinha e agrícola, como polissacarídeos (amido, celulose, pectina, gomas, dextrana, quitosana), proteínas (animais – caseína, soro de leite, gelatina; e plantas – zeína, soja, glúten); e lipídios (triglicerídeo reticulado) (KHAN et al., 2016).

Figura 1 - Classificação dos polímeros biodegradáveis de acordo com a fonte de obtenção



Fonte: adaptado de KHAN et al. (2016).

Legenda: polihidroxialcanoatos (PHA), polihidroxibutirato (PHB), polihidroxibutirato co-hidroxivalerato (PHBv) e poli (ácido láctico) (PLA).

Materiais para embalagens à base de biopolímeros derivados de plantas de fontes agroindustriais que sejam renováveis, abundantes e de baixo custo são uma alternativa conveniente e atraente em termos econômicos e ambientais. Nesse contexto, o amido é um material com grande potencial para produção de polímeros biodegradáveis e compósitos relevantes, por ser sustentável, abundante e biodegradável. Destaca-se também, devido ao baixo custo, disponibilidade e bom desempenho deste biopolímero, podendo ser obtido de espécies cultivadas em diferentes tipos de solos e/ou tolerantes a condições climáticas adversas (CHENG et al., 2021).

Os materiais à base de amido têm grande potencial como materiais biodegradáveis para serem utilizados como embalagens de alimentos. O desempenho funcional de materiais biodegradáveis à base de amido pode ser estendido ou melhorado pela adição de outros biopolímeros ou aditivos, bem como pelo uso de novas técnicas de preparação. No entanto, a produção econômica em larga escala de materiais biodegradáveis à base de amido de alto desempenho ainda é um desafio e mais pesquisas ainda são necessárias nessa área (CHENG et al., 2021).

O amido proporciona flexibilidade em relação a possíveis métodos de formação de espumas, sendo uma aplicação como bandejas de espumas para substituição de embalagens poliméricas, que são de uso único. Ademais, materiais biodegradáveis provenientes de amido e fibras naturais estão sendo cada vez mais estudados com relação às possibilidades de aplicação. Estudos mostraram que o uso de fibras naturais melhora as propriedades físicas e mecânicas de embalagens à base de amido, atuando como aditivos e cargas que potencializam as propriedades da embalagem, bem como podem conferir propriedades antioxidantes e antimicrobianas (MORT et al., 2021).

## 2.2 EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDO

O amido é um polissacarídeo, que possui unidades de glicose ligadas entre si por ligações glicosídicas, e, portanto, tem fórmula química  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Este biopolímero está presente principalmente em sementes, raízes e tubérculos, mas também é encontrado em caules, folhas, frutas e até no pólen, sendo a principal forma de armazenagem de energia em plantas (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

O amido é armazenado na forma de grânulos, que, dependendo da fonte de origem, possuem tamanhos e formas diferentes, com dimensões que geralmente variam de 2  $\mu\text{m}$  a 100  $\mu\text{m}$ . Os grânulos de amido possuem estruturas semicristalinas, com regiões amorfas e regiões cristalinas, que se encontram distribuídas de forma alternada, sendo compostos principalmente por dois tipos de macromoléculas, a amilose e a amilopectina. As quantidades relativas dessas macromoléculas no amido variam conforme sua origem botânica, encontrando-se na faixa de 20 - 25 % para amilose e 75 - 80 % para amilopectina (BEMILLER; WHISTLER, 2009).

A amilose e a amilopectina possuem diferentes estruturas e propriedades. A amilose é linear, composta por unidades do tipo  $\alpha$ -1,4-D-glicose, presente na estrutura amorfa dos grânulos de amido. A massa molar da amilose é da ordem de  $10^5$  a  $10^6$   $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$  com grau de polimerização de 324 a 4.920 (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

A amilopectina é uma molécula ramificada, composta também por unidades do tipo  $\alpha$ -1,4-D-glicose, apresentando ramificações do tipo  $\alpha$ -1,6. As cadeias de amilopectina são as principais responsáveis pela estrutura cristalina dos grânulos de amido (BEMILLER; WHISTLER, 2009; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015). A amilopectina possui massa molar na ordem de  $10^7$  a

$10^9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  e grau de polimerização em torno de 9.600 a 15.900 (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

O amido nativo não pode ser utilizado diretamente como material plástico, sendo necessária a adição de um plastificante com efeito combinado de calor e cisalhamento para a obtenção de uma substância termoplástica deformável. Esta forma é conhecida como amido termoplástico, sendo a água e o glicerol considerados plastificantes eficientes (PENG; ZHONGDONG; KENNEDY, 2007; BANGAR et al., 2021,).

A presença de grupos hidroxila (OH<sup>-</sup>) confere característica hidrofílica ao amido. Na presença de água fria os grânulos de amido são insolúveis e formam apenas suspensões. A insolubilidade em água é devida às fortes ligações de hidrogênio que mantêm as cadeias de amido unidas. No entanto, se os grânulos de amido forem aquecidos acima de uma determinada temperatura (geralmente acima de 70 °C) em excesso de água, eles absorvem água e se expandem, sendo um processo irreversível (PENG; ZHONGDONG; KENNEDY, 2007).

Na estrutura de grânulo com a presença de água e aquecimento, os componentes mais solúveis, como a amilose, se dissociam e difundem-se para fora do grânulo, esse processo é conhecido como gelatinização, sendo que a temperatura de ocorrência varia de 60 °C a 75 °C, dependendo da origem botânica do amido. O processo de gelatinização proporciona aumento na viscosidade, os grânulos são totalmente dissolvidos e as regiões cristalinas desaparecem (PENG; ZHONGDONG; KENNEDY, 2007).

Para a utilização de amido na formação de embalagens biodegradáveis, deve-se obter uma matriz polimérica, homogênea e essencialmente amorfa, modificando a estrutura granular. Isto pode ser realizado por processos de gelatinização e/ou fusão, promovendo a obtenção de um material termoplástico (DEBIAGI et al., 2012).

Com o aumento de temperatura e ação mecânica, o plastificante interage com os grãos do amido, resultando em um material com morfologia homogênea. O processo também possibilita aumento na temperatura de transição vítrea para valores acima de 200 °C, facilitando o processamento do material (LOPEZ-GIL et al., 2015).

O processo de gelatinização promove a solubilização do amido, alterando sua estrutura cristalina, um fenômeno irreversível. Durante o aquecimento da suspensão aquosa de amido, as ligações de hidrogênio são rompidas, e as moléculas de água se ligam aos grupos hidroxilas da molécula de amido. As duplas hélices da amilopectina desassociam-se, proporcionando a dissolução dos cristais da estrutura dos grânulos do

amido. Se o processo ocorrer com baixa quantidade de água, é denominado como fusão, necessitando de temperaturas maiores do que no processo de gelatinização (DEBIAGI et al., 2012).

Além disso, as propriedades dos materiais de embalagens à base de amido são influenciadas pelo tipo de fonte botânica do amido. Por exemplo, materiais de espuma à base de amido de tubérculos apresentam valores de baixa densidade em comparação com materiais de espuma à base de amido de cereais (AMARAWEEERA et al., 2022).

O amido de mandioca é o mais utilizado em pesquisas sobre a produção de espumas para embalagens, seguido dos amidos de batata e de milho (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022). A mandioca (*Manihot esculenta*) é considerada uma das principais fontes de amido. Sendo uma espécie com baixa demanda nutricional, a mandioca apresenta requisitos mínimos de adubação, assim, a planta pode crescer em todos os tipos de solos, mas a formação de raízes é melhor em solos arenosos e/ou argilosos. O amido de mandioca tem sido amplamente considerado na indústria alimentícia e não alimentícia, sendo utilizado na produção de bioplásticos, papel, têxteis, embalagens, entrega de medicamentos (*drug delivery*) e engenharia de tecidos (AMARAWEEERA et al., 2022).

### **2.2.1 Processos de formação de espumas à base de amido**

No processamento de espumas à base de amido, as principais técnicas para a obtenção são: cozimento, extrusão, termocompressão, aquecimento por micro-ondas, liofilização e utilização de fluido supercrítico. O processo de produção depende das características da aplicação pretendida, ou seja, forma, densidade, resistência e rigidez necessária para a aplicação final (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; CHENG et al., 2021).

Em escala industrial, para fabricação de materiais espumosos, técnicas de injeção e extrusão são usadas em processos por batelada e contínuos para que a produção seja economicamente viável (ZUBAIR et al., 2020).

#### **2.2.1.1 Processo de cozimento**

A formação de espuma pelo processo de cozimento envolve a adição de uma mistura de amido, agente espumante e outros aditivos em um molde e, em seguida, aquecimento em um forno. Durante o cozimento, a evaporação do vapor de água leva à

formação de uma espuma, e a viscosidade da pasta de amido desempenha um papel importante na natureza das bolhas de gás formadas. Geralmente, a camada intermediária é mais porosa do que a camada superior espessa. Essa técnica apresenta baixa velocidade de remoção de umidade da massa, que por sua vez limita a espessura máxima da parede da estrutura de espuma (CHENG et al., 2021).

#### 2.2.1.2 Processo de extrusão

Espumas de amido podem ser obtidas pela fusão de misturas de amido com água ou outros plastificantes hidrofílicos em extrusoras, de maneira semelhante aos polímeros convencionais. A extrusora pode fornecer aquecimento e gerar pressão uniforme sobre o material, sendo principalmente utilizadas as extrusoras de rosca simples e dupla. A extrusora de rosca simples é o tipo mais comum de extrusora devido ao seu custo relativamente baixo, enquanto a extrusora de rosca dupla é usada para maiores capacidades produtivas. Os materiais à base de amido extrudados apresentam propriedades físicas comparáveis às espumas poliméricas comerciais, portanto, podem ser fabricadas industrialmente por meio de processos de extrusão (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015, AMARAWEEERA et al., 2022; TÁPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

No processo de extrusão, os grânulos de amido são convertidos em uma solução gelatinosa homogênea. A solução de água e amido a temperaturas acima de 100 °C proporciona a formação de vazios devido à expansão do vapor à medida que o material extrusado é processado sob pressão. O mecanismo relacionado pode ser dividido em três etapas: nucleação, crescimento da bolha e estabilização da bolha. A estrutura celular de espuma é influenciada por condições do processamento de extrusão e pela composição dos materiais utilizados (BEMILLER; WHISTLER, 2009; SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

As condições para o processamento na extrusão de espumas à base de amido, em relação à temperatura, geralmente variam na faixa de 120 - 170 °C e, em relação à velocidade da rosca, variam na faixa de 70 - 140 rpm. O aumento destes parâmetros ocasiona aumento da taxa de expansão das espumas extrusadas, proporcionando diminuição da densidade das espumas (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

O processo de extrusão possui como diferencial ser simples, contínuo, altamente produtivo, rápido e de baixo custo, não sendo necessário realizar pré-moldagem, quando comparado aos outros processos utilizados. Se apresenta economicamente viável em maior escala, sendo muito utilizado na produção de embalagens poliméricas comerciais. No entanto, este processo possui como desvantagens o controle ineficiente de porosidade, alta temperatura, forças de cisalhamento e investimento inicial alto para aquisição de equipamentos (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015; ZUBAIR et al., 2020).

### 2.2.1.3 Processo de termocompressão

O processo de termocompressão ou termoprensagem para a formação de espumas à base de amido envolve a inserção de matéria-prima em um molde com aquecimento e sob pressão, com utilização de uma prensa hidráulica. Esse processo permite a obtenção de espumas com diferentes formatos, como por exemplo, copos e bandejas (TÁPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

Durante o cozimento, os grânulos de amido gelatinizam em uma pasta espessa, enquanto a água aprisionada evapora rapidamente, fazendo com que a pasta se expanda dramaticamente. A água residual evapora e a pasta se expande, assumindo o formato do molde. Sendo assim, a forma e a espessura da espuma podem ser controladas de acordo com a geometria do molde (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

As condições no processo de termoprensagem mais utilizados, em relação à temperatura e ao tempo, estão na faixa de 180 - 250 °C e 125 - 300 s, respectivamente. Após o processamento é necessária a retirada da espuma do molde mantendo seu formato. Devido a isso, o estearato de magnésio é normalmente adicionado à massa como um agente desmoldante, e a goma de guar é adicionada para evitar a sedimentação do amido (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

As espumas de amido obtidas pelo processo de termoprensagem apresentam uma fina camada externa densa com pequenas estruturas celulares fechadas e seu interior possui uma estrutura celular aberta e grande (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

A densidade da espuma obtida é influenciada pela viscosidade da massa a ser colocada no molde. Quanto maior a viscosidade, menor a expansão da espuma, pois é

necessária maior massa para preenchimento do molde a ser utilizado (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

O processo de termoprensagem possui como vantagens simplicidade, flexibilidade na forma geométrica, processamento de materiais sem cisalhamento, distribuição uniforme do tamanho de célula, alta expansão e baixo custo na produção e baixo investimento inicial de maquinário. Entretanto, esse processo apresenta como principais desvantagens a necessidade de pré-moldagem e um maior tempo de produção quando comparado ao processo de extrusão (DEBIAGI et al., 2012; ZUBAIR et al., 2020).

#### 2.2.1.4 Aquecimento por micro-ondas

Na formação de espuma por aquecimento em micro-ondas, o aumento da temperatura é proveniente da interação da água com a radiação micro-ondas. O aquecimento volumétrico e posterior geração de vapor é mais homogêneo do que em técnicas convencionais como o cozimento, pois a água é distribuída de forma homogênea por toda a matriz polimérica após a plastificação. Além disso, os tempos de ciclo e o consumo de energia podem ser reduzidos em relação aos métodos de aquecimento convencionais (LOPEZ-GIL et al., 2015).

A aplicação do aquecimento por micro-ondas no processo de elaboração de espumas de amido apresenta como vantagens a redução do tempo de processo, maior eficiência energética, formação de espuma sem uso de solventes, e qualidade aprimorada do produto (ZUBAIR et al., 2020).

A umidade presente na massa do amido é transformada em vapor superaquecido devido ao aquecimento, gerando alta pressão no seu interior. Durante o aquecimento, os grânulos de amido gelatinizam e fundem-se, as bolhas de vapor formadas nesse processo se expandem para a obtenção da estrutura celular. Desta forma, à medida que a umidade é perdida da matriz, a espuma é formada (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

A aplicação da tecnologia de micro-ondas em processos de formação de espumas envolve três etapas principais: mistura do material base com agentes de expansão, como água; expansão do material por radiação de micro-ondas; estabilização da estrutura da espuma durante a secagem. O tratamento por micro-ondas ajuda a reduzir o tempo de aquecimento e facilita o aquecimento homogêneo. Normalmente,



para na formação de espumas à base de amido por aquecimento de micro-ondas é utilizado amido plastificado extrusado (AMARAWEEERA et al., 2022).

#### 2.2.1.5 Liofilização

A liofilização é uma técnica utilizada para remoção da água presente em um produto após seu congelamento por sublimação. O crescimento dos cristais e a sublimação das moléculas de gelo são etapas importantes no processo de liofilização (ABDELWAHED et al., 2006).

O processo de liofilização, em geral, é dividido em três fases: o congelamento, a secagem primária e a secagem secundária. Se o processo de congelamento for rápido, ocorre a formação de gelo amorfo e a configuração do soluto não é alterada. Se o processo de congelamento for realizado lentamente, a nucleação espontânea e o crescimento de cristais de gelo ocorrem e o soluto torna-se concentrado e limitado às regiões intersticiais entre os cristais de gelo (ABDELWAHED et al., 2006).

Na secagem primária ocorre a sublimação dos cristais de gelo (ou gelo amorfo) por redução da pressão e controle de temperatura. A sublimação ocorre quando a água no estado sólido é convertida diretamente para o estado de vapor, evitando a formação da interface entre a fase líquido-vapor. Na secagem secundária ocorre a eliminação da água por evaporação a vácuo até um percentual de 2 %. A morfologia final do material poroso é obtida à medida que os cristais de gelo são sublimados (ABDELWAHED et al., 2006).

É necessário que a solução de amido seja previamente preparada e aquecida acima da temperatura de gelatinização até formar a pasta homogênea. Amaraweera et al. (2022) obtiveram espuma de amido de mandioca utilizando uma técnica de modificação combinando tratamento por micro-ondas e liofilização, com potencial para aplicação em embalagens. Os materiais de espuma foram preparados a partir de suspensões de amido e submetidos a aquecimento via micro-ondas em diferentes intervalos de tempo (10 - 40 s) para a obtenção do amido termoplástico. Posteriormente, as amostras foram congeladas a -14 °C e secas pelo processo de liofilização.

O processo de liofilização apresenta como principal vantagem o controle da estrutura celular pelo tamanho e distribuição dos cristais de gelo. Entretanto, possui como desvantagem uma expansão baixa a moderada, além de ser um processo de custo



elevado devido à energia necessária para o congelamento seguida do processo de sublimação (ZUBAIR et al., 2020).

#### 2.2.1.6 Fluido supercrítico

O fluido supercrítico mais utilizado para formação de espumas é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), devido ao baixo custo, alta difusividade, baixa tensão superficial, natureza quimicamente inerte e livre de qualquer contaminação residual por solvente. No processo de secagem supercrítica ocorre a substituição do solvente de um material por gás, em seu estado supercrítico, sem que ocorra o colapso da estrutura. O ponto crítico de uma substância é uma condição de temperatura e pressão específica, acima das quais as fases líquida e gasosa da substância tornam-se indistinguíveis. Para que ocorra a troca de solventes é necessário que a temperatura e pressão estejam acima do ponto crítico do gás utilizado. Esse processo impede a formação da interface entre a fase líquido-vapor durante a secagem, evitando a formação de tensões superficiais, gradiente de pressão capilar e o encolhimento do material (PIERRE; PAJONK, 2002).

O CO<sub>2</sub> apresenta condições moderadas em relação à temperatura crítica (31,3 °C) e à pressão crítica (7,38 MPa), facilitando as condições de operação dos equipamentos na extração, bem como evitando que ocorra a degradação do amido. Além disso, é um gás inerte, com baixo risco de reações secundárias, não tóxico e de baixo custo. O líquido na amostra deve ser miscível com o CO<sub>2</sub>, pois, ao ser injetado no sistema e, subsequentemente levado ao estado de fluido supercrítico, proporciona a secagem do material por despressurização lenta (PIERRE; PAJONK, 2002).

No processo de obtenção das espumas, o amido termoplastificado e o dióxido de carbono são misturados sob pressão em um equipamento. Posteriormente, o dispositivo é despressurizado, fazendo com que o dióxido de carbono forme bolhas, levando à criação de um produto espumoso. As propriedades das espumas à base de amido produzidas usando esse método podem ser aprimoradas pela reticulação das moléculas de amido com glutaraldeído para estabilizar a estrutura da espuma. Este processo possui como desvantagem o custo elevado, controle deficiente da porosidade, estruturas celulares não uniformes e a ação de forças de cisalhamento (CHENG et al., 2021).

## 2.3 MODIFICAÇÃO DO AMIDO E ADITIVOS TRADICIONALMENTE UTILIZADOS

Devido à falta de resistência natural e à característica hidrofílica do amido, para a obtenção de espumas à base de amido para fins comerciais, independentemente do método de fabricação, é necessária a modificação do amido, ou a incorporação de outros materiais/aditivos, buscando a diminuição da capacidade de absorção de água e a melhoria das propriedades mecânicas (SOYKEABKAEW; THANOMSILP; SUWANTONG, 2015).

O amido pode ser modificado por ação física, química, enzimática, genética ou por combinações desses métodos. Tratamentos térmicos e de pressão (extrusão), hidrólise ácida, tratamento alcalino, oxidação e outros métodos são comumente utilizados para a modificação física e química do amido. Ademais, pesquisas e avanços tecnológicos também sugeriram o uso da secagem supercrítica com CO<sub>2</sub> como meio de modificação do amido (FALUA et al., 2022).

Bergel et al. (2018) utilizaram a acetilação e esterificação com anidrido maleico em espumas de amido de batata para melhor resistência à água do material, obtendo uma redução de até 60 % na absorção de água. Em outro estudo, Bergel et al. (2020) realizaram a silanização do amido, com utilização de dois silanos (3-cloropropil-trimetoxissilano e metiltrimetoxissilano), proporcionando a obtenção de um material com menor capacidade de absorção de água e maior resistência mecânica.

Hassan, Tucker e Guen (2020) obtiveram espumas compostas de amido/celulose reticuladas com ácido cítrico a 220 °C por moldagem por compressão, resultando em menor absorção de água e aumento nas propriedades mecânicas em relação à tração e flexão. As espumas também apresentaram melhor estabilidade térmica comparadas à espuma composta não reticulada, indicando que as espumas compostas podem ser utilizadas como alternativas biodegradáveis a embalagens de poliestireno expandido.

Em relação à utilização de aditivos, estudos relatam formulações de espuma à base de amido e avaliação do efeito da concentração de amido e aditivos como água, glicerol, ureia e poli(álcool vinílico) (PVA); adição de agente de expansão (bicarbonato de sódio); adição de agente nucleante (talco); adição de cera de abelha ou estearato de magnésio; adição de outros polímeros como o poli(ácido láctico) (PLA); revestimento com quitosana, PLA ou PBAT (poli (butileno adipato tereftalato)) e adição de óleos essenciais (TAPIA- BLÁCIDO et al., 2022).

Aditivos como glicerol, água, goma guar e estearato de magnésio têm sido utilizados no processo de formação de espumas à base de amido pelo processo de termocompressão. Enquanto isso, aditivos como talco, hidrocerol, bicarbonato de sódio ou glicerol são utilizados para obtenção de espumas de amido pelo processo de extrusão (TAPIA- BLÁCIDO et al., 2022).

A água tem sido usualmente utilizada como agente de expansão e plastificante, auxiliando o processo de gelatinização do amido. Quando a temperatura estiver acima do ponto de ebulição da água, o vapor d'água promove a formação de bolhas, que serão recobertas pela estrutura polimérica do amido gelatinizado, formando as células da espuma. Após o resfriamento, o vapor d'água se difunde no ambiente e o ar se difunde no amido, até atingir um equilíbrio com o ambiente e, conseqüente, estabilização da espuma. Ou seja, durante a preparação da espuma à base de amido, parte da água torna-se vapor em alta temperatura e atua como agente de expansão, enquanto a outra parte da água se liga à cadeia de amido e atua como plastificante para permitir que o amido obtenha a força de fusão necessária para formação da espuma (MENG et al., 2019).

O glicerol ( $C_3H_8O_3$ ) é utilizado como plastificante durante a formação de materiais biodegradáveis à base de amido, devido à estrutura molecular, que é semelhante às unidades de glicose de amido, proporcionando maior interação química com o amido. A adição de glicerol enfraquece as forças de ligações de hidrogênio internas da amilose e aumenta a fluidez da cadeia de amido, melhorando o alongamento na quebra de materiais biodegradáveis à base de amido (AGHAZADEH et al., 2018; CHEN et al., 2021).

A seleção de um agente de reforço adequado é importante para obter uma melhor interação e dispersão homogênea dentro da matriz da espuma, a fim de produzir um reforço eficaz sem alterar de forma importante as demais propriedades do material produzido (ZUBAIR et al., 2020).

A adição de celulose ou fibras naturais de resíduos agroindustriais melhora as propriedades mecânicas e a resistência à absorção de água de espumas à base de amido. A semelhança estrutural entre as moléculas de celulose e amido permite que a matriz polimérica interaja com o material de reforço celulósico, mas a concentração desses materiais na espuma deve ser estudada e otimizada para obter as características desejáveis da espuma. A celulose não está totalmente livre dentro dos resíduos agroindustriais ou materiais lignocelulósicos. Em geral, a celulose está associada à hemicelulose e à lignina, que conferem aos tecidos vegetais rigidez, impermeabilidade e

resistência a ataques microbiológicos e estresses mecânicos (TAPIA- BLÁCIDO et al., 2022).

Nesse contexto, pesquisas relatam a adição de resíduos agroindustriais no desenvolvimento de espumas de amido, como agentes de reforço para melhorar as propriedades mecânicas. Entre os resíduos estudados, pode-se citar o bagaço de cana de açúcar, casca de aspargo, folha de bananeira, casca de mandioca, fibra de coco, fibra de algodão, engaço da uva, bagaço de laranja, fibra de aveia, casca de amendoim, casca de abacaxi, casca de banana, casca de arroz, torta de óleo de gergelim, torta de óleo de girassol e palha de trigo, entre outros (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

Lopez-Gil et al. (2014) obtiveram espumas de amido termoplástico com a incorporação de palhas de cevada e resíduo de uva. Nesta pesquisa, os autores tinham como objetivo a plastificação do amido com glicerol para produzir amido termoplástico e a produção de biocompósitos com adição de palha de cevada e resíduos de uvas. Os processos utilizados para a obtenção das espumas foram extrusão e termoprensagem, entretanto, nesse estudo os autores não apresentaram detalhes sobre a composição do resíduo da uva utilizada. As espumas obtidas com a adição do resíduo de cevada apresentaram propriedades mecânicas superiores às das espumas com adição do resíduo da uva, mas os valores foram inferiores às espumas comerciais à base de polímeros derivados do petróleo.

Machado, Benelli e Tessaro (2017) adicionaram torta de gergelim ao amido de mandioca para produzir espumas e avaliaram os efeitos nas propriedades morfológicas, físicas e mecânicas dos materiais produzidos. O teor de torta de gergelim adicionada variou de zero a 40 % (m/m). As espumas à base de amido de mandioca incorporadas de torta de gergelim apresentaram redução da densidade e da capacidade de absorção de água quando comparadas às espumas compostas apenas por amido. As espumas produzidas neste estudo apresentaram diminuição da tensão de flexão e do módulo de elasticidade com a adição do resíduo em relação às espumas compostas apenas por amido, proporcionando maior fragilidade ao material.

Cabanillas et al. (2019) relataram que a adição de fibras de casca de abacaxi como reforço em bandejas de espuma de amido de mandioca, na proporção amido: fibra de 95:5 melhorou a resistência à tração, observando valores semelhantes aos das amostras de poliestireno expandido. Entretanto, as espumas obtidas apresentaram alta capacidade de absorção de água.

Engel, Ambrosi e Tessaro (2019a) relatam a obtenção de espumas à base de amido de mandioca com incorporação de resíduos de engaços de uva da variedade *Cabernet Sauvignon*, obtidas por expansão térmica. Pela morfologia das espumas foi possível identificar aglomerações de resíduos e estrutura celular semelhante àquela observada em materiais obtidos por expansão térmica. As espumas apresentaram propriedades adequadas para aplicabilidade como embalagem em alimentos com baixo teor de umidade, sendo necessários novos estudos para melhorar a resistência à umidade.

Os óleos essenciais são aditivos hidrofóbicos naturais com propriedades antimicrobianas e antioxidantes, além de serem considerados compostos seguros e utilizados na indústria de alimentos. Eles podem ser utilizados para produção de embalagens ativas com propriedades antimicrobianas e antioxidantes, além de reduzir o comportamento hidrofílico. Os componentes dos óleos essenciais inibem o crescimento de bactérias e fungos transmitidos por alimentos, possibilitando o aumento da vida útil do produto (CRUZ-TIRADO et al., 2020).

Caetano et al. (2018) relataram o uso de óleo essencial de orégano e resíduo de extrato de abóbora para melhorar as características mecânicas, antimicrobianas, antioxidantes e de barreira dos filmes de amido. Os filmes escolhidos foram avaliados quanto à atividade antibacteriana contra *L. monocytogenes*, *S. aureus* e *E. coli*. De acordo com os resultados, o aumento da concentração de óleo de orégano aumentou substancialmente o diâmetro do halo de inibição. A ação antibacteriana dos filmes foi ligada aos terpenos fenólicos do óleo essencial de orégano, como o carvacrol, que danificam a membrana celular fosfolipídica microbiana, aumentando a permeabilidade celular e causando extravasamento do citoplasma.

Syafiq et al. (2020) citam que a adição de óleos essenciais em filmes de embalagens de alimentos inibe o crescimento de bactérias e fungos e tem um efeito positivo no armazenamento de alimentos. Estudos relatam a utilização diversos óleos essenciais, como os de tomilho, orégano, alecrim, cravo, bergamota, capim-limão e canela para obtenção de filmes ativos (ROMANI; PRENTICE-HERNÁNDEZ; MARTINS, 2017; YAHYAOU I et al., 2016, QIN et al., 2017; KE et al. 2019).

Souza et al. (2013) relataram que a adição de óleo essencial de cravo e canela em filmes de amido de mandioca promoveu aumento da atividade antimicrobiana efetiva contra *Eurotium amstelodami* e *Penicillium commune* em produtos de panificação. A quantidade mínima de óleo utilizada para inibir 100 % dos

microrganismos foi de 2,0 % e 16,0 % m/m para os óleos essenciais de canela e cravo, respectivamente.

Ketkaew et al. (2018) relataram que a espuma de amido de mandioca reforçada com 10 % m/m de fibra de cana-de-açúcar e adição de 8,0 % m/m de óleo essencial de orégano, provocou aumento da atividade antimicrobiana, com redução da concentração inibitória mínima contra *Escherichia-coli* (*E. coli*) e *Staphylococcus-aureus* (*S. aureus*), sendo mais eficaz contra *S. aureus* (bactérias gram-positivas) do que *E. coli* (bactérias gram-negativas). Ademais, a capacidade de absorção de água da espuma diminuiu com o aumento do teor de óleo essencial de orégano. Entretanto, a taxa de biodegradação da embalagem no solo e a resistência à flexão das amostras diminuíram com o aumento do teor de óleo essencial de orégano.

Cruz-Tirado et al. (2020) utilizaram amido de batata-doce e óleos essenciais de orégano e tomilho para produção de espumas bioativas por termoprensagem. Os óleos essenciais foram utilizados nas concentrações de 7,5 e 10,0 % m/m. As espumas com óleo essencial de orégano apresentaram melhor efeito antimicrobiano do que as espumas com óleo essencial de tomilho, sendo que as espumas com 10,0 % m/m de óleo essencial de orégano inibiram completamente bactérias do gênero *Salmonella* (gram-negativas). A presença dos óleos essenciais dentro da matriz de amido reduziu sua solubilidade e absorção de água, diminuindo também sua resistência mecânica.

Conforme observado por Iacono et al. (2024), os resíduos do processamento da uva apresentam atividade antimicrobiana contra *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*, devido à presença de polifenóis em sua composição. Silva et al. (2023) reportou que muitos destes compostos fenólicos podem migrar com o tempo, o que potencializaria um possível efeito antimicrobiano da embalagem contendo resíduos do processamento da uva e retardaria a própria degradação da embalagem em condições de prateleira.

A degradabilidade de espumas de amido de mandioca com a adição de resíduos de uva foi avaliada por Engel, Ambrosi e Tessaro (2019a), que reportaram a completa degradação das espumas após sete semanas (aprox. 50 dias) de exposição a solo contendo húmus. Nesse sentido, a presença dos resíduos de uva não promove uma inibição completa dos microrganismos decompositores, embora possa auxiliar na preservação da embalagem e do alimento embalado.

## 2.4 A UVA: PRODUÇÃO, PROCESSAMENTO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

O setor de vitivinicultura possui grande relevância econômica e social, no ano de 2021 a área plantada com videiras no Brasil foi de 75.007 ha, sendo que a região sul do país abrange 73 % da área total nacional. O estado do Rio Grande do Sul representa 62 % da área vitícola nacional, portanto o principal estado produtor. As principais cultivares são uvas americanas e híbridas destinadas para a elaboração de sucos e vinhos de mesa (MELLO; MACHADO, 2022).

A produção de uvas no Brasil, no ano de 2021, foi acima de 1,69 milhões de toneladas de uva, sendo que 48 % foram destinados ao processamento, para a elaboração de vinhos, sucos e outros derivados. Em relação aos percentuais dos produtos industrializados 42 % são vinhos de mesa, 49 % são sucos de uva, 7 % são vinhos finos e 2 % correspondem a outros derivados de uva e vinho (MELLO; MACHADO, 2022; EMBRAPA, 2023).

No estado do Rio Grande do Sul, principal pólo vitivinícola brasileiro, a produção de vinhos, espumantes e sucos representa mais de 90 % da produção brasileira. No ano de 2021 foram elaborados 616,32 milhões de litros de vinhos, sucos de uvas e outros derivados (MELLO; MACHADO, 2022).

Dentre as diversas cultivares de uva, a cultivar Bordô (*Vitis labrusca*) é muito cultivada no Brasil, também conhecida por *Ives Seedling*, *York Madeira*, Terci (Paraná) e Folha de Figo (Minas Gerais). Esta variedade de uva apresenta elevado teor de matéria corante, possibilitando a obtenção de sucos com boa intensidade de coloração e aroma. Além disso, possui boa aceitação para plantio pelos viticultores devido à alta resistência a doenças fúngicas e elevada produtividade (RIZZON; MENEGUZZO, 2007; VENTURINI, FILHO, 2018).

A produção e o consumo do suco de uva integral são crescentes no Brasil, principalmente em virtude de suas propriedades nutricionais. Seus principais constituintes nutracêuticos são açúcares, sais minerais, ácidos orgânicos, vitaminas e compostos fenólicos, que são responsáveis pela cor e textura do produto (RIZZON; MENEGUZZO, 2007). Os registros iniciais da produção do suco de uva no Brasil foram em 1911, no atual município de Monte Belo (RS). Em relação ao processo de produção, destacam-se dois métodos, *Flanzy* e *Welch*, que se diferenciam principalmente na etapa de extração do suco (VENTURINI, FILHO, 2018).



O processo *Flanzy* utiliza a maceração sulfurosa da uva esmagada para a extração da cor, seguido da separação do bagaço, armazenamento do suco sulfitado, e, para sua comercialização, é realizada a dessulfitação do suco, clarificação, filtração, estabilização tartárica, tratamento térmico e posterior envase a quente. O processo *Welch* utiliza o aquecimento da uva para a extração da cor, sendo as principais etapas do processo de elaboração a separação do engajo, esmagamento, tratamento térmico, tratamento enzimático, maceração, separação do bagaço (prensagem/centrifugação), clarificação, filtração, estabilização tartárica, tratamento térmico e envase a quente (VENTURINI, FILHO, 2018). O tratamento enzimático (enzimas pectinases) é realizado para hidrolisar a pectina presente na uva, facilitando a extração de compostos presentes na casca das bagas, aumentando o rendimento do suco, bem como a redução da viscosidade e turbidez do suco obtido (LIMA et al., 2015).

O principal resíduo orgânico gerado no processo de elaboração de suco de uva integral, resultante da etapa de prensagem/centrifugação, é o bagaço de uva. Este resíduo é composto por casca, caule/engajo, polpa residual e semente, além de constituintes primários como ácidos orgânicos, polifenóis e açúcar residual (MUHLACK; POTUMARTHI; JEFFERY, 2018). Este resíduo é rico em material lignocelulósico, além de ser uma fonte de compostos fenólicos devido à baixa extração no processamento, entretanto, é um resíduo subutilizado, sendo muito de seu potencial desperdiçado (PEDRAS et al., 2017).

A quantidade gerada desse resíduo depende da variedade da uva e das condições do processo utilizado, mas geralmente representa na faixa de 20 - 30 % do peso original da uva. Aproximadamente, 750 mL de suco ou vinho são produzidos para cada quilograma de uva processada (DWYER; HOSSEINIAN; ROD, 2014; BERES et al., 2017). Estima-se uma geração mundial de 8,49 milhões de toneladas por ano de bagaço de uva, proveniente do processamento desta fruta (CASTELLANOS-GALLO et al., 2022). Considerando a produção brasileira de uvas no período e a porcentagem do total utilizada na industrialização, isso corresponde a um volume de resíduos na faixa de 260 - 400 mil toneladas, que necessitam de algum tipo de tratamento e/ou disposição.

Em geral, os resíduos de processamento da uva são destinados à compostagem ou alimentação animal. No entanto, existem restrições para estas utilizações, como a presença de certos polifenóis que apresentam efeitos antimicrobianos, prejudicando o processo de compostagem, bem como, o fato de alguns animais apresentarem intolerância a certos componentes dos resíduos, como taninos, prejudicando a



digestibilidade do resíduo, principalmente por parte de ruminantes (GONZÁLEZ-CENTENO et al., 2014). Outro problema potencial é a sazonalidade, considerando que o resíduo do processamento da uva é gerado em grandes quantidades num curto período, durante e logo após a safra da uva (no Brasil, período que varia entre dezembro e março). O descarte inadequado deste resíduo também é prejudicial, podendo ocasionar a contaminação do solo, de águas superficiais e subterrâneas, bem como a proliferação de insetos e outros vetores de doenças (ZANINI et al., 2024).

O potencial de desenvolvimento de subprodutos proveniente dos resíduos do processamento de vinhos e sucos de uva pode ser uma alternativa promissora, em virtude de questões ambientais, bem como a possibilidade de desenvolver produtos de valor agregado, tendo em vista que aproximadamente 70 % dos compostos fenólicos permanecem no bagaço de uva após o processamento (RATNASOORIYA; RUPASINGHE, 2012).

Destaca-se ainda que, quando o resíduo é proveniente do processamento de suco de uva ou da vinificação de uvas brancas, o bagaço não é fermentado, sendo potencialmente mais rico em açúcares e compostos fenólicos quando comparado ao bagaço proveniente da vinificação (SPIGNO; MARINONI; GARRIDO, 2017), considerando que o contato da casca e da semente com o mosto em fermentação pode levar à lixiviação parcial e gradual dos fenólicos para fase líquida (NUNES; RODRIGUES; OLIVEIRA, 2017).

A variabilidade entre variedades de uva e os diferentes efeitos de cada processo de elaboração de vinhos e sucos de uva ocasionam variações na composição do bagaço e seus principais componentes, as cascas e as sementes (GARCÍA-LOMILLO; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, 2017). Além disso, é importante diferenciar que o bagaço de vinho tinto é um subproduto fermentado que, em geral, não passa por processo térmico, enquanto o bagaço proveniente do processo de elaboração do suco de uva não é fermentado, passa por processo térmico e é obtido após tratamento enzimático quando elaborado pelo método *Welch* (VENTURINI, FILHO, 2018).

A composição química do bagaço de uva integral consiste em polissacarídeos (como hemicelulose, celulose e pectina) provenientes das paredes celulares, lignina, proteínas, lipídios e sais minerais. Os principais constituintes da fibra alimentar são os polissacarídeos da parede celular, que possuem melhor qualidade funcional do que as fibras provenientes dos resíduos de grãos, em virtude da maior concentração de

compostos ativos, como os polifenóis (GONZÁLEZ-CENTENO et al., 2014; IUGA; MIRONEASA, 2020).

O bagaço de uva destaca-se pela presença de compostos bioativos, como compostos fenólicos, um produto com potencial de agregação de valor, especialmente para utilização nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. As antocianinas são o grupo de compostos fenólicos mais abundantes presentes na casca da uva, enquanto os flavonoides estão mais presentes na semente (GARCÍA-LOMILLO; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, 2017).

#### **2.4.1 Casca de uva**

As cascas de uva representam aproximadamente 50 % m/m do bagaço de uva, entretanto, a proporção de cascas e sementes pode variar dependendo da variedade da uva e das condições de cultivo. As cascas são fonte de fibras alimentares, principalmente celulose, hemicelulose e pectina, açúcares, proteínas, compostos fenólicos, vitaminas e minerais (IUGA; MIRONEASA, 2020).

Deng et al. (2011) relataram que as cascas de uva apresentam um teor total de fibras alimentares de 60 % da matéria seca, sendo aproximadamente 98,5 % de fibra alimentar insolúvel. Além disso, o teor de proteínas variou de 5 % a 12 % m/m, cinzas de 2 % a 8 % m/m e açúcares solúveis de 1 % a acima de 70 % m/m, dependendo do processo vinícola e se o bagaço é fermentado ou não.

A composição fenólica da casca pode variar em função da variedade e das condições de cultivo, mas contém maiores quantidades de antocianinas e taninos quando comparada a outras partes da baga. Além disso, a casca possui propriedades antioxidantes devido à presença de antocianinas, ácidos hidroxicinâmicos, catequinas e flavonoides, que contribuem para a inibição de oxidação das lipoproteínas de baixa densidade (DENG et al., 2011; IUGA; MIRONEASA, 2020).

O resíduo de casca de uva possui potencial de utilização em virtude de possuir compostos fenólicos, que não são completamente extraídos durante o processo de produção de suco de uva. Ainda que as indústrias utilizem enzimas pectolíticas no processo de elaboração para aumentar o rendimento e proporcionar maior extração de compostos fenólicos, principalmente os pigmentos relacionados à coloração do produto (antocianinas), o resíduo obtido no processo apresenta alto conteúdo desses compostos não extraídos (KARNOPP et al. 2017b).

Karnopp et al. (2017a) relataram que o resíduo de casca de uva proveniente do processamento de suco de uva apresentou maiores teores de compostos fenólicos em comparação ao suco de uva integral, contendo, principalmente, trans-resveratrol, quercetina e epicatequina.

#### **2.4.2 Semente de uva**

As sementes representam cerca de 2 % a 5 % m/m da uva e aproximadamente 38 % a 52 % m/m do bagaço de uva. A composição da semente da uva, de forma genérica, contém cerca de 40 % m/m de fibra, 10 % a 17 % m/m de óleo fixo, 11 % m/m de proteínas e 7 % m/m de compostos fenólicos complexos, açúcares, minerais e outras substâncias diversas (GARCÍA-LOMILLO; GONZÁLEZ-SANJOSE, 2017). Frações indigestíveis, principalmente a celulose e a pectina, são as principais constituintes da semente de uva e representam cerca de 80 % da matéria seca, excluindo os açúcares (GOÑI; SAURA-CALIXTO, 2005).

Os constituintes antioxidantes nas sementes estão em maior concentração do que na casca, e incluem flavonoides com natureza fenólica, como flavonoides monoméricos, procianidinas e ácidos fenólicos (IUGA; MIRONESA, 2020). Os benefícios atribuídos aos compostos fenólicos presentes em alimentos, principalmente em frutas e vegetais, estão relacionados à atividade antioxidante, apresentam propriedades fisiológicas, antialérgicas, anti-inflamatórias, antimicrobiana, antioxidante, antitrombótico, cardioprotetor e efeito vasodilatador (MARGRAF et al. 2016). Segundo Ky et al. (2014), no processo de vinificação, aproximadamente 30 - 40 % dos compostos fenólicos são extraídos, permanecendo o restante no bagaço.

A principal utilização das sementes de uva é para produção de óleo fixo, que pode ser obtido por prensagem ou extração com solventes. O óleo de semente de uva é formado principalmente por 90 % de ácidos graxos mono e poliinsaturados, sendo o ácido linoleico o mais abundante. O alto teor de ácidos graxos insaturados torna o óleo de semente de uva um óleo nutricional de alta qualidade, importante para a saúde humana e com alto valor comercial, seja para emprego na indústria alimentícia ou cosmética (DÁVILA et al. 2017).

O óleo de semente de uva também contém fitoesteróis e tocoferóis/tocotrienóis, que são compostos ativos da vitamina E, com alta atividade antioxidante. Essas

propriedades o tornam cada vez mais atraente em aplicações culinárias, cosméticas, farmacêuticas e médicas (DÁVILA et al. 2017).

Após a extração do óleo, o resíduo resultante apresenta altos teores de fibras, aproximadamente 60 - 80 %, subdivididas entre celulose, lignina e hemiceluloses. Assim, tornando-se um resíduo de interesse para a recuperação de fibras alimentares, sendo uma possibilidade de reaproveitamento a elaboração de farinha de semente de uva, além de ser rica em compostos antioxidantes naturais, que permanecem após a remoção do óleo fixo. Entretanto, a maior parte do resíduo gerado no processamento é descartada, não apresentando valor agregado, além de poder gerar impacto ambiental, conforme a sua disposição no meio ambiente (COSTA et al., 2019).

Prado et al. (2014) relataram que, após a extração do óleo fixo, o resíduo resultante é composto principalmente por lignina e hemicelulose. Na caracterização da composição desse resíduo, proveniente do processo de vinificação de uma vinícola localizada no estado de Santa Catarina (Brasil) e após o processo de extração de óleo, os autores quantificaram 46 % m/m de lignina, 6,5 % m/m de umidade, 5,7 % m/m de cinzas, 11 % m/m de proteína e 16 % m/m de açúcares no resíduo remanescente.

## 2.5 POTENCIAIS USOS DOS RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSAMENTO DA UVA

A conscientização pelo consumo sustentável é crescente. Sendo assim, a reutilização de resíduos é uma ação importante para diminuição do impacto ambiental e otimização dos processos produtivos, além da manutenção e uso racional dos recursos naturais.

O bagaço de uva caracteriza-se por ser um resíduo de biomassa vegetal abundante, proveniente de vinícolas e produtores de sucos, renovável e de baixo custo. No entanto, quando esses resíduos são descartados em aterros sanitários, tornam-se um passivo ambiental para produtores e empresas da área vitivinícola, pois esses resíduos não são facilmente biodegradáveis. Devido ao alto teor de polifenóis (ação fitotóxica), como compostos antimicrobianos, esse resíduo demanda tratamento antes da utilização agrícola ou disposição em aterros sanitários (BERGER et al. 2020).

A agricultura orgânica pode ser definida pela ausência de pesticidas e fertilizantes sintéticos durante o período de cultivo, obtendo como resultado alimentos com alta capacidade antioxidante e propriedades nutracêuticas melhoradas devido à

maior quantidade de polifenóis (ASSUMPÇÃO et al., 2016). A utilização dos resíduos gerados no processo de elaboração de sucos de uva e óleo de semente de uva orgânica é uma alternativa de agregação de valor e destinação adequada frente às atuais destinações dadas a este tipo de resíduo, que não contemplam o uso visando à agregação de valor a estes materiais. Além disso, a utilização de resíduos de produção orgânica para embalagens de alimentos evita o risco de migração de substâncias tóxicas.

Segundo García-Lomillo e González-SanJosé (2017), o resíduo de bagaço de uva possui alto potencial de valorização na indústria de alimentos. Este subproduto é proveniente de fonte natural, possui características diferenciadas, sendo capaz de inibir diferentes agentes microbiológicos e reações químicas, permitindo reduzir o uso de materiais sintéticos, conservantes e antioxidantes alimentares sem comprometer a estabilidade e qualidade do produto final.

A obtenção de farinhas funcionais como um subproduto proveniente dos resíduos gerados no processamento de vegetais e frutas é uma opção sustentável, com redução de custos e agregação de valor. As farinhas podem ser utilizadas como ingredientes funcionais em produtos alimentícios (IUGA; MIRONEASA, 2020). Estudos relatam o potencial de incorporação dos resíduos gerados no processamento de uva na forma de farinhas para incorporação em alimentos, sendo uma alternativa viável para melhorar as propriedades funcionais dos alimentos (ANTONIC et al., 2020; RAINERO et al., 2022).

Segundo Bender et al. (2016), a farinha da casca da uva apresenta teores relevantes de fibras, carboidratos e cinzas em sua composição, bem como a presença de quantidades importantes de resveratrol, luteolina e kaempferol, compostos antioxidantes com importantes propriedades biológicas e uso nas áreas farmacêutica e médica.

Pedroza et al. (2013) avaliaram a adição de cascas de uvas desidratadas provenientes da indústria de sucos em vinhos tintos envelhecidos e jovens para evitar a degradação da cor. Os autores observaram que houve incremento dos teores de compostos fenólicos e da característica aromática antes do envase do produto. A degradação de coloração é um processo natural em todos os tipos de vinhos devido a transformações químicas e bioquímicas relacionadas ao conteúdo de polifenóis e à presença de oxigênio. Os autores concluíram que a utilização de cascas de uvas desidratadas da indústria de sucos proporcionou melhores parâmetros em relação à qualidade da cor e compostos fenólicos.

Toaldo et al. (2013) em seus estudos, observaram que a adição de sementes de uva no processo de elaboração de sucos de uva das variedades *Vitis labrusca* L. (Concord, Isabel e Bordô) proporcionou aumento do teor de polifenóis e do potencial antioxidante em sucos de uva. Os subprodutos casca e sementes de uva contêm quantidades maiores de polifenóis do que as porções comestíveis, como a polpa.

Meini, Ricardi e Romanini (2020) relataram o potencial de utilização do bagaço de uva como substrato na produção de enzimas industriais e na obtenção de ácido gálico. Saadoune et al. (2021) utilizam as sementes presentes no bagaço de uva como fonte de compostos bioativos no tratamento de doenças intestinais.

O bagaço de uva como um todo pode ser considerado uma fonte de antocianinas, que possuem propriedades antioxidantes e ajudam a prevenir doenças cardiovasculares (CASTELLANOS-GALLO et al., 2022). Balbinoti et al. (2020) relataram que a adição do bagaço de uva (cultivar Bordô) durante o processo de parboilização do arroz como fonte de compostos bioativos, proporcionou aumento das concentrações de compostos fenólicos totais, flavonoides, antocianinas e incremento da atividade antioxidante frente ao mesmo material sem a adição da farinha de bagaço de uva.

Extratos de bagaço de uva podem ser utilizados no tratamento de efluentes líquidos devido às propriedades antioxidantes (GAVRILAS et al., 2022). Sua aplicabilidade tem sido abordada também na área de Engenharia de Materiais, como no desenvolvimento de corantes naturais para tecidos e na formulação de filmes ativos para emprego como embalagens (BAAKA et al., 2018; YONG; LIU, 2020).

O bagaço de uva pode originar uma grande variedade de produtos, desde moléculas bioativas, como polifenóis, até materiais como cargas para biocompósitos, podendo melhorar as propriedades deste tipo de formulação, obtendo materiais mais sustentáveis e com dependência mínima de polímeros derivados de petróleo, além de agregar valor à cadeia produtiva da vitivinicultura (BERGER et al., 2020).

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A transformação do bagaço de uva em um subproduto contribui para redução dos resíduos gerados no processamento da uva, reduzindo custos de produção, diversificando a produção e diminuindo o impacto ambiental causado pela atividade. É importante notar a relevância da realização de estudos que possam ampliar as possibilidades de reutilização desse resíduo. Nesse contexto, esse trabalho estuda a

utilização de resíduos do processamento da uva orgânica como materiais para a incorporação na elaboração de espumas à base de amido, com vistas à utilização como embalagens para alimentos.

Embora outros estudos abordem o emprego de resíduos do processamento da uva e derivados como insumo para a produção de biopolímeros e compósitos, não foram encontrados estudos que utilizem diretamente diferentes resíduos do processamento da uva como matéria-prima para a produção de embalagens visando o emprego como embalagem de alimentos, ainda mais resíduos provenientes de cultivo orgânico de uvas, evitando uma possível migração de resíduos de agrotóxicos aos alimentos. Nesse sentido, o diferencial do presente estudo está no teste concomitante de diferentes resíduos como matéria-prima, oriundos de fonte orgânica, para emprego na produção de embalagens para alimentos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste item são apresentados os materiais utilizados para a elaboração das espumas à base de amido de mandioca com a incorporação dos resíduos e a descrição detalhada das metodologias utilizadas para o desenvolvimento e caracterização das espumas obtidas.

#### 3.1 MATERIAL

As espumas de amido foram obtidas utilizando como base amido de mandioca (teor de umidade de 11 % m/m) do tipo polvilho doce (Fritz e Frida, Ivoti, RS, Brasil), tendo em vista esse tipo de polvilho possui melhores resultados para aplicação em espumas (TAPIA-BLÁCIDO et al., 2022).

Os resíduos do processo de fabricação de suco de uva integral orgânico estudados foram casca de uva (CA) e semente de uva (SE), além dos resíduos do processo de fabricação de óleo de semente de uva orgânico, correspondendo a sementes desengorduradas com fragmentos da casca de uva (SEDC) e o óleo de semente de uva residual (OR), proveniente da decantação da borra do processo de prensagem.

Optou-se pela utilização do resíduo proveniente do processo de cultivo orgânico da uva para evitar possíveis contaminações com resíduos de agrotóxicos, tendo em vista que a finalidade da embalagem é para o armazenamento de alimentos.

Os resíduos, da variedade Bordô (*Vitis labrusca* L.), de procedência orgânica, foram obtidos da safra de 2018, coletados em março de 2018 na empresa Econatura Produtos Ecológicos e Naturais Ltda (Garibaldi, Brasil). A empresa utiliza o método *Welch* para elaboração do suco, ou seja, é realizado o aquecimento da uva para a extração da cor. Os resíduos de CA e SE foram disponibilizados já separados e secos a  $70 \pm 2$  °C por 12 h pela empresa.

O resíduo proveniente da prensagem a frio das sementes de uva, para obtenção do óleo de semente de uva orgânico, foi disponibilizado seco ( $70 \pm 2$  °C por 12 h) e moído pela empresa, sendo composto por sementes desengorduradas e fragmentos da casca da uva.

Após o recebimento dos resíduos, foi realizada a separação manual dos resíduos CA e SE para obtenção de amostras sem a presença de outros fragmentos vegetais (folhas e engaço). Em seguida, foi realizada a moagem em um moinho de facas e

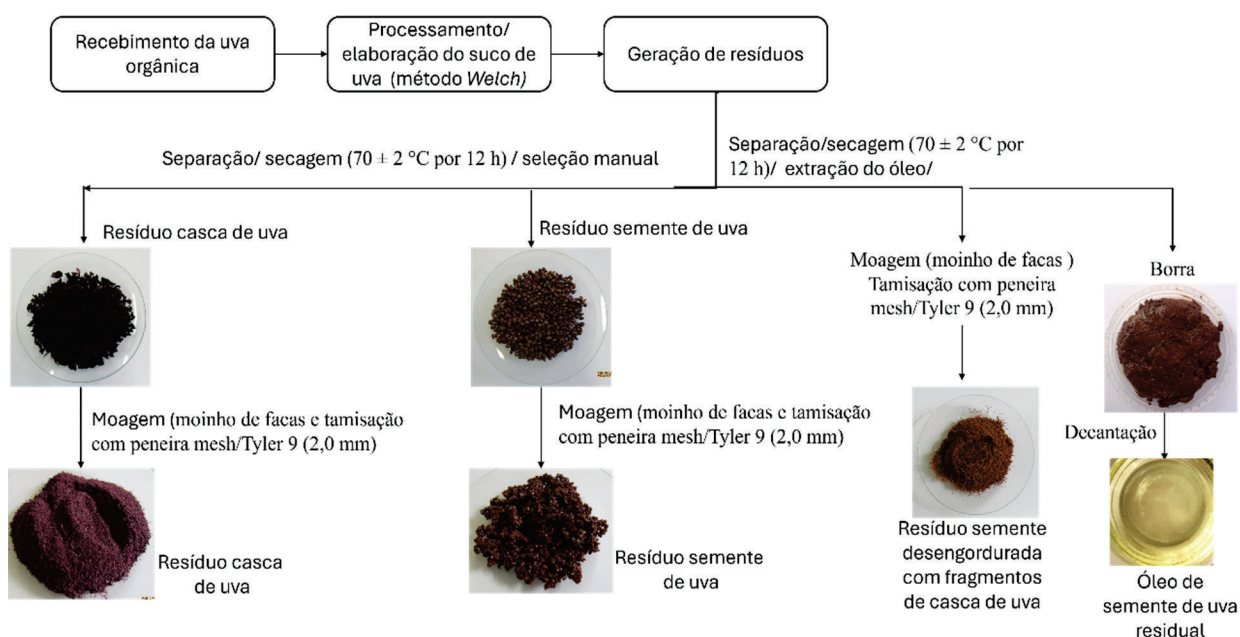


tamisação com peneira mesh/Tyler 9 (2,0 mm) de todos os resíduos (CA, SE e SEDC), ou seja, todos os resíduos apresentaram granulometria com partículas menores de 2 mm. Os resíduos foram armazenados em embalagens de polietileno e mantidos ao abrigo da luz solar em temperatura ambiente (15 - 25 °C) até sua caracterização e utilização para preparação das espumas.

Os reagentes que foram utilizados, bem como os seus respectivos fornecedores são o glicerol P.A. (Dinâmica, Brasil), goma guar P.A. (Labsynth, Brasil) e estearato de magnésio P.A. (Dinâmica, Brasil). Para confecção das espumas no formato de bandejas, foi utilizado um molde metálico com dimensões de 140 mm x 140 mm x 2 mm, revestido com *Teflon*<sup>®</sup>, com nove saídas para degasagem.

Na Figura 2 está ilustrado o fluxograma simplificado da obtenção e preparo dos resíduos recebidos provenientes do processamento da uva orgânica.

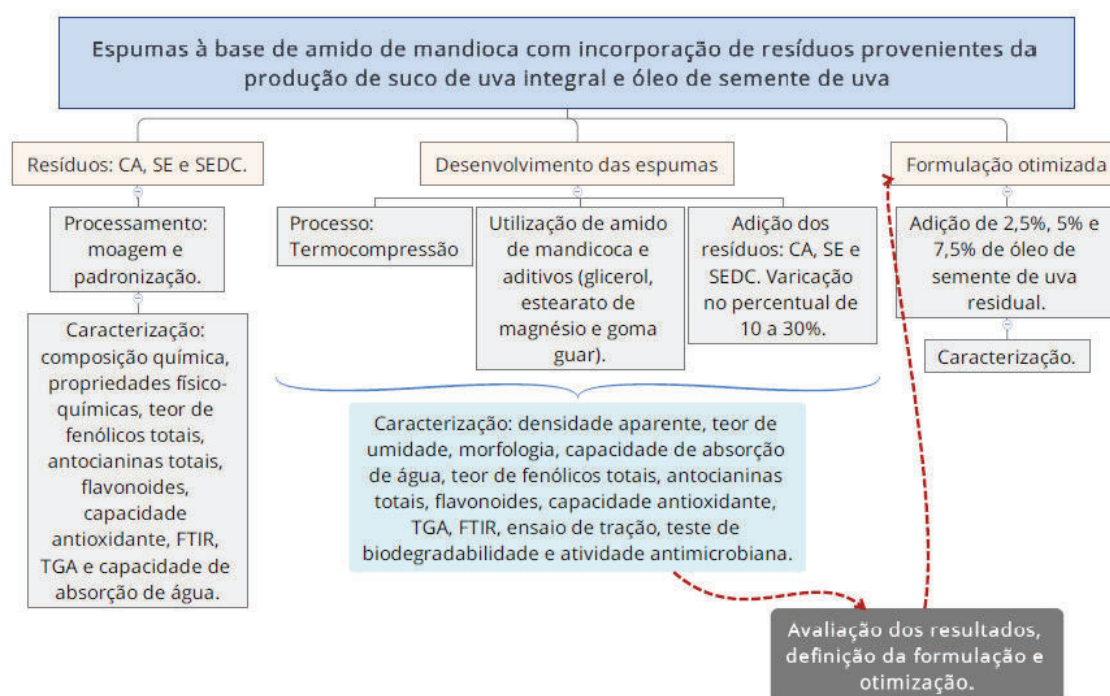
Figura 2 - Fluxograma da obtenção e preparo dos resíduos do processamento da uva orgânica variedade Bordô (*Vitis labrusca* L.).



### 3.2 MÉTODOS

Foi elaborado um fluxograma do desenvolvimento da pesquisa realizada para obtenção das espumas à base de amido de mandioca com incorporação dos resíduos CA, SE, SEDC, e da formulação otimizada, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma do processo de desenvolvimento das espumas à base de amido de mandioca com incorporação dos resíduos e da formulação otimizada.



### 3.2.1 Dados de geração dos resíduos

Foi realizado o levantamento dos dados de geração dos resíduos sólidos orgânicos (bagaço, engaço, sementes) gerados no processamento da uva (safras de 2018, 2019, 2020, 2021 e 2022), pelas empresas licenciadas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), CODRAM 2710,20 - Fabricação de Vinhos, conforme Resolução CONSEMA 372/2018, a qual dispõe sobre empreendimentos e atividades potencialmente poluidoras passíveis de licenciamento ambiental no Rio Grande do Sul.

O levantamento de dados foi realizado por consultas às planilhas trimestrais de geração de resíduos sólidos informadas pelas empresas licenciadas, restringindo ao código correspondente a “bagaço, engaço, sementes”, pois os dados são informados de forma conjunta, não havendo informações individuais de cada item.

No Brasil não existe relatório oficial sobre a quantidade de geração de resíduos ou a destinação deles, pois não há um sistema único em que as empresas informem estes valores, variando conforme o órgão licenciador. Devido a essa restrição, os dados foram coletados apenas de empreendimentos licenciados pela FEPAM. A pesquisa engloba

empreendimentos com área útil acima de 2.000 m<sup>2</sup>, localizados no estado do Rio Grande do Sul.

### 3.2.2 Caracterização dos resíduos

As caracterizações dos resíduos CA, SE e SEDC foram realizadas por meio de determinação da composição química, avaliação das propriedades físico-químicas, determinação dos teores de fenólicos totais, antocianinas totais, flavonoides, capacidade antioxidante, análise termogravimétrica e termogravimetria diferencial (TGA/DTG), além de espectroscopia em infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e avaliação da capacidade de absorção de água.

#### 3.2.2.1 Caracterização química e propriedades físico-químicas

Realizou-se a análise imediata (determinação dos teores de cinzas, lipídios totais, umidade e matéria volátil), conforme metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2005). A fibra alimentar total foi determinada por meio de digestão enzimática e gravimetria, conforme o método 991.43, da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2005). Os ensaios realizados para determinação de nitrogênio total e proteínas foram realizadas conforme método 991.20 da AOAC (2005). O teor de lignina (lignina 'Klason') foi determinado conforme a norma TAPPI T222 om-02 (2002). Os teores de celulose e hemicelulose foram determinados conforme a metodologia de Van Soest, descrita por Silva e Queiroz (2006). O teor de carboidratos foi determinado por diferença.

O teor de extrativos em etanol/benzeno foi determinado conforme a norma TAPPI T 204 cm-97, utilizando um extrator tipo soxhlet com capacidade de 300 mL e uma solução de etanol:benzeno (1:2, em volume) como solução extratora. O tempo de extração foi de aproximadamente 5 h, utilizando 30 g de amostra e 300 mL de solução extratora. O solvente foi removido por rotaevaporação (65 °C e 21 kPa), e os resíduos obtidos foram pesados para a determinação do teor de extrativos. O ensaio de determinação de acidez total foi realizado de acordo com a metodologia 935.57 da AOAC (2005).

Para a determinação dos teores de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas, realizou-se uma extração com solução hidroalcoólica (etanol 70 % v/v).

Quinze gramas de amostra foram colocados em Erlenmeyer de 125 mL, posteriormente adicionou-se 50 mL de solução de etanol 70 % v/v, mantendo a mistura em repouso por 24 h. O sobrenadante foi retirado e utilizado para a determinação de compostos fenólicos totais e antocianinas totais.

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pelo método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (SINGLETON; ROSSI, 1965; LIMA et al., 2015), os resultados foram expressos em equivalentes-grama de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra. O teor de flavonoides foi determinado pelo método colorimétrico do cloreto de alumínio, conforme procedimento proposto por Matic et al. (2017). O teor de antocianinas totais foi determinado pelo método do pH diferencial, conforme o método 2005.02 da AOAC (AOAC, 2005) e os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de cianidina-3-glicosídeo por 100 g de amostra.

#### 3.2.2.2 Determinação da atividade antioxidante

A determinação da atividade antioxidante pela avaliação da neutralização do radical DPPH seguiu o procedimento descrito por Yamaguchi et al. (1998). A determinação da atividade antioxidante pela neutralização do radical ABTS<sup>+</sup> seguiu o procedimento proposto por Rufino et al. (2007). Utilizou-se como amostra uma alíquota (5,0 mL) do extrato hidroalcoólico empregado na determinação de compostos fenólicos e antocianinas totais.

#### 3.2.2.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA/DTG)

As análises de FTIR foram realizadas em espectrofotômetro (Nicolet IS10, Thermo Scientific, EUA). Cada espectro foi obtido por 32 varreduras, com número de onda compreendido entre 4.000 cm<sup>-1</sup> a 400 cm<sup>-1</sup> e resolução de 0,25 cm<sup>-1</sup>, utilizando o método de reflexão total atenuada (ATR).

Os ensaios de TGA foram realizados em analisador termogravimétrico (TGA-50, Shimadzu, Japão) em atmosfera de N<sub>2</sub> com vazão de 50 mL·min<sup>-1</sup>. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 10 °C·min<sup>-1</sup>, com faixa de temperatura de 25 - 900 °C. A massa utilizada foi de aproximadamente 10 mg. A curva de termogravimetria diferencial (DTG) foi gerada pelo software do equipamento.

### 3.2.2.4 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água dos resíduos foi determinada pela razão entre massa de água no material úmido e a massa de matéria seca, conforme metodologia adaptada de Vázquez-Ovando et al. (2009), com modificações. Aproximadamente 2,0 g de cada amostra foram colocados em um Becker, adicionados 10 mL de água destilada e mantidos sob agitação por 5 min em um agitador magnético. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 5000 rpm durante 10 min em uma centrífuga de bancada Sigma, modelo 2-16k. O sobrenadante resultante foi descartado e o material úmido obtido foi pesado.

### 3.2.3 Desenvolvimento das espumas à base de amido de mandioca com incorporação dos resíduos do processamento da uva

As espumas foram obtidas pelo método de termocompressão. As formulações utilizadas para obtenção das espumas de amido foram adaptadas de Machado, Benelli e Tessaro (2017), com a realização de testes preliminares, variando o percentual de resíduos adicionados, resultando na formulação apresentada na Tabela 1. Não foi possível a incorporação de resíduos acima da concentração de 30% (m/m) devido à fragilidade na espuma e a dificuldade do desmolde.

Tabela 1 - Formulações das espumas à base de amido sem resíduo (controle) e com a incorporação dos diferentes resíduos na proporção de 10, 20 e 30 % (m/m), testadas no presente estudo.

Formulação	Amido (% m/m)*	Água (% m/m)*	Resíduo (% m/m)*	Glicerol (% m/m)*
EP	100	100	zero	5
ECA10	90	119	10	10
ECA20	80	138	20	10
ECA30	70	157	30	10
ESE10	90	108,4	10	10
ESE20	80	116,8	20	10
ESE30	70	125,2	30	10
ESEDC10	90	112	10	10
ESEDC20	80	124	20	10
ESEDC30	70	136	30	10

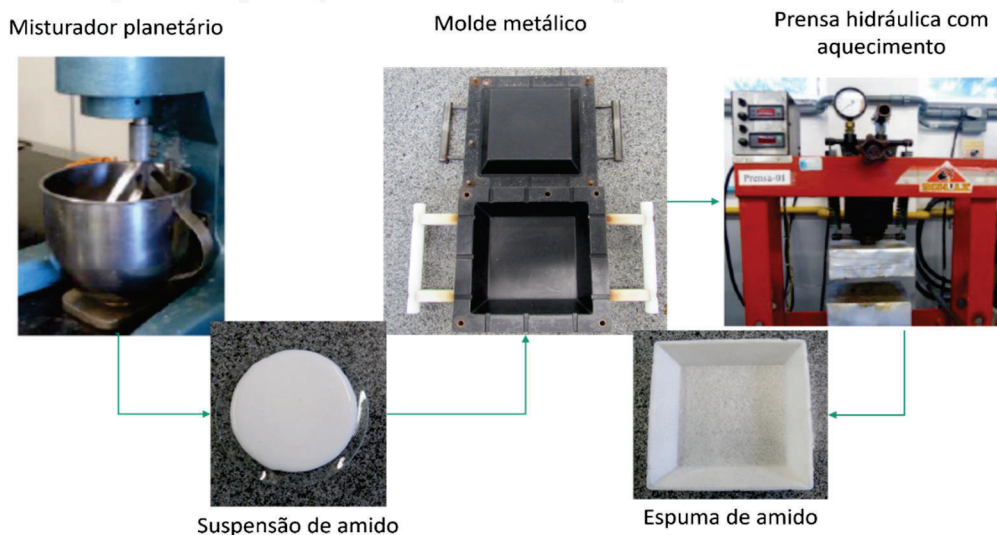
\* - em relação à massa total de sólidos. EP (espuma de amido padrão), ECA10 (espuma de amido com 10 % casca de uva), ECA20 (espuma de amido com 20 % casca de uva), ECA30 (espuma de amido com 30 % casca de uva), ESE10 (espuma de amido com 10 % semente de uva), ESE20 (espuma de amido com 20 % semente de uva), ESE30 (espuma de amido com 30 % semente de uva), ESEDC10 (espuma de amido com 10 % semente desengordurada com fragmentos de casca), ESEDC20 (espuma de amido com 20 % semente desengordurada com fragmentos de casca), ESEDC30 (espuma de amido com 30 % semente desengordurada com fragmentos de casca).

Conforme consta na Tabela 1, a quantidade de água adicionada nas formulações aumentou conforme a quantidade de resíduo adicionado, de acordo com os resultados de absorção de água de cada resíduo, e, com isso, o percentual de amido adicionado diminui na mesma proporção que é adicionado o resíduo.

Em todas as formulações foram adicionados 1 % (m/m) de goma guar, para evitar a sedimentação dos sólidos na suspensão e 1 % (m/m) de estearato de magnésio, como agente desmoldante e antiúmectante. A quantidade de água utilizada nas formulações com adição de resíduo foi determinada de acordo com a capacidade de absorção de água de cada resíduo.

Para a obtenção das amostras de espuma, os materiais constantes nas formulações foram pesados e misturados em um misturador planetário durante 20 min. Após, 36 g da massa misturada foram colocadas no interior do molde metálico, que foi inserido na prensa hidráulica, com pressão constante de 2 bar. A temperatura variou de 145 - 180 °C e tempo de 3 - 4 min, devido às variações nos percentuais de resíduos adicionados, e, ao fim do processo, a espuma produzida foi desmoldada. Na Figura 4 está ilustrado o processo de produção das espumas.

Figura 4 – Etapas do processo de obtenção das espumas à base de amido.



### 3.2.4 Otimização da formulação das espumas à base de amido de mandioca com adição de 10 % m/m do resíduo SEDC

A formulação da ESEDC10 foi otimizada com a adição de óleo de semente de uva, testando as concentrações de 2,5 % m/m (ESEDC10A), 5,0 % m/m (ESEDC10B) e



7,5 % m/m (ESEDC10C) de óleo. As formulações utilizadas foram compiladas na Tabela 2.

Tabela 2 - Formulações das espumas à base de amido e com a incorporação dos resíduos de semente desengordurada com fragmentos de casca e óleo de semente de uva residual, testadas no presente estudo.

Formulação	Amido (% m/m)*	Água (% m/m)*	Resíduo (% m/m)*	Glicerol (% m/m)*	Óleo de semente de uva residual (% m/m)*
ESEDC10	90	112	10	10	-
ESEDC10A	90	112	10	10	2,5
ESEDC10B	90	112	10	10	5,0
ESEDC10C	90	112	10	10	7,5

\* - em relação à massa total de sólidos. ESEDC10 (espuma de amido com 10 % semente desengordurada com fragmentos de casca), ESEDC10A (espuma de amido com 10 % semente desengordurada com fragmentos de casca e 2,5 % de resíduo de óleo de semente de uva), ESEDC10B (espuma de amido com 10 % semente desengordurada com fragmentos de casca e 5,0 % de resíduo de óleo de semente de uva), ESEDC10C (espuma de amido com 10 % semente desengordurada com fragmentos de casca e 7,5 % de resíduo de óleo de semente de uva).

Em todas as formulações foram adicionados 1 % (m/m) de goma guar, para evitar a sedimentação dos sólidos na suspensão e 1 % (m/m) de estearato de magnésio, como agente desmoldante e antiulectante. O processo de obtenção utilizado foi de termocompressão, cujo método e condições estão descritas conforme relatado no item 3.2.3.

### 3.2.5 Caracterização das espumas

Os ensaios de caracterização das espumas obtidas foram a determinação da densidade aparente, teor de umidade, capacidade de absorção de água, morfologia, teor de compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonoides, capacidade antioxidante, análise termogravimétrica, espectroscopia em infravermelho com transformada de Fourier, ensaio de tração, atividade antimicrobiana e teste de biodegradabilidade.

#### 3.2.5.1 Densidade aparente

A densidade aparente das espumas foi determinada conforme metodologia de Shogren et al. (1998), a partir da medição e cálculo da relação entre a massa (g) e o volume (cm<sup>3</sup>) das amostras.

### 3.2.5.2 Teores de umidade e de substâncias voláteis

Os teores de umidade e de substâncias voláteis das espumas à base de amido foram determinados pelo método termogravimétrico, de acordo com a metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz (2005).

### 3.2.5.3 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água das espumas foi determinada conforme metodologia *Cobb*, segundo a norma NBR/ISO 535 (ABNT, 1999), com adaptações. As amostras com dimensões de 25 mm x 50 mm foram pesadas e submersas em 100 mL de água destilada por diferentes períodos (1 min, 5 min, 10 min, 20 min, 30 min e 60 min). Após, as amostras foram retiradas da água e o excesso foi removido com papel absorvente. Em seguida, as amostras úmidas foram imediatamente pesadas. A capacidade de absorção de água foi calculada pela diferença de massa das amostras, e os resultados foram expressos em percentual de massa de água absorvida por massa de amostra original.

### 3.2.5.4 Morfologia

A caracterização morfológica das espumas foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) da seção transversal e superfície das amostras em um microscópio eletrônico de varredura (SSX-550, Shimadzu, Japão). Foi utilizada uma tensão de aceleração de 12 kV, aumento de 50x e 100x. Para a preparação, as amostras foram fraturadas criogenicamente empregando nitrogênio líquido, sendo posteriormente dispostas sobre fitas de carbono com deposição de uma fina camada de ouro.

### 3.2.5.5 Determinação da atividade antioxidante, teor de fenólicos totais, flavonoides e antocianinas

Para a determinação da atividade antioxidante, dos teores de compostos fenólicos totais, flavonoides e antocianinas das amostras de espumas obtidas foram utilizadas as metodologias descritas nos itens 3.2.2.1 e 3.2.2.2, também utilizadas para a avaliação destes mesmos parâmetros nos resíduos CA, SE e SEDC.



### 3.2.5.6 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e análise termogravimétrica (TGA/DTG)

As análises de FTIR e os ensaios de TGA das amostras de espumas obtidas foram realizadas conforme metodologia descrita no item 3.2.2.3, também utilizadas na avaliação destes parâmetros nos resíduos CA, SE e SEDC.

### 3.2.5.7 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados conforme a norma ASTM D 638-02a (ASTM, 2003), com separação entre as garras de 50 mm e velocidade de tração de 2 mm/s. Os ensaios foram realizados em um texturômetro (TA.XT2i, Stable Micro Systems, Reino Unido), utilizando uma célula de carga de 50 N. Os corpos de prova foram preparados com dimensões de 100 mm de comprimento e 25 mm de largura, acondicionados em temperatura de  $23 \pm 2$  °C e umidade relativa de 55 %, por sete dias antes da realização dos ensaios.

A partir dos ensaios, foram obtidas curvas de tensão *versus* deformação, sendo possível determinar os valores da tensão de ruptura, percentual de alongação e o módulo de elasticidade.

### 3.2.5.8 Atividade antimicrobiana através de determinação de sobrevivência

O ensaio de plaqueamento em gota é um método para determinar a sensibilidade do crescimento (viabilidade) bacteriano a um agente possivelmente inibitório. Este método baseia-se no princípio de que as estirpes sensíveis formarão menos colônias numa placa quando expostas a um agente possivelmente inibitório.

Para a elaboração dos experimentos foram utilizadas a levedura *Candida albicans* CA01 e as bactérias *Escherichia coli* INCQS00033 e *Staphylococcus aureus* INCQS00015. As leveduras foram mantidas em meio YEPD (2,0 % glicose; 1,0 % extrato de levedura; 1,0 % peptona e 1,8 % agar) e as bactérias foram mantidas em meio LB (1,0 %; triptona; 0,5 % extrato de levedura; 0,5 % NaCl e 1,8 % agar).

Para os ensaios de viabilidade, a levedura avaliada foi crescida em meio YEPD líquido a 28 °C e agitação orbital até a fase exponencial de crescimento (DO600nm ~ 0,8), posteriormente as células foram lavadas com salina (0,9 % NaCl) e tiveram a

concentração celular ajustada para  $1 \cdot 10^7$  células·mL<sup>-1</sup>. As bactérias foram crescidas em meio LB líquido a 28 °C em agitação orbital durante 18 h. Posteriormente, as bactérias foram lavadas com salina e tiveram a densidade óptica DO600nm ajustada para 0,25.

As diferentes embalagens foram fragmentadas em forma de quadrados com 1 cm x 1cm e posicionados em placas de Petri contendo meio ágar-água, e sobre eles adicionou-se gotas de 50 µL do inóculo com a concentração celular previamente ajustada. As placas foram mantidas em câmaras úmidas 30 °C por 24 h, e, após esse período, os fragmentos com as gotas foram transferidos para tubos com 2 mL de Tween 0,1 % v/v e agitados durante 30 s em vortex. As avaliações de viabilidade foram realizadas por diluição seriada (1:10) e plaqueamento por gota (5,0 µL) em placas de YEPD para as leveduras e LB para as bactérias. As placas foram incubadas a 28 °C por 24 h e então o número de unidades formadoras de colônias (UFC) foi contado. Os resultados foram expressos como percentual de UFC em comparação com o controle.

#### 3.2.5.9 Teste de biodegradabilidade

O teste de biodegradação das espumas obtidas foi realizado de forma qualitativa, de acordo com a metodologia proposta por Jaramillo et al. (2017) e Machado, Benelli e Tessaro (2020), com adaptações. As amostras de espumas, com dimensões de 2,5 cm x 2,5 cm, foram contidas em uma tela de polipropileno e enterradas a uma profundidade de 40 mm em uma caixa de polipropileno contendo solo com húmus, e mantidas em temperatura e umidade ambiente. Foi pulverizada água uma vez por dia para manter a umidade do solo. A cada cinco dias, as amostras foram retiradas do solo e foi realizado o monitoramento qualitativamente por inspeção visual e registro fotográfico.

#### 3.2.5.10 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental foi do tipo inteiramente casualizado, sendo o fator de análise o tipo de resíduo e o percentual adicionado. Todas as análises e experimentos foram realizados em triplicata. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versão 21.0 (IBM, EUA). Os resultados foram classificados como paramétricos, conforme o teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA),

seguido pelo teste post-hoc de Tukey a 5 % de probabilidade de erro ( $\alpha = 0,05$ ;  $p < 0,05$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados obtidos em relação à geração dos resíduos sólidos orgânicos do processamento da uva; a caracterização dos resíduos de CA, SE e SEDC; o desenvolvimento das espumas com a incorporação dos resíduos e os resultados obtidos de caracterização.

### 4.1 DADOS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS DO PROCESSAMENTO DA UVA

Os dados coletados contemplaram 69 empresas do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo 19 municípios, sendo eles: Alto Feliz, Antônio Prado, Barra do Ribeiro, Bento Gonçalves, Campestre da Serra, Canela, Candiota, Caxias do Sul, Dom Pedrito, Farroupilha, Flores da Cunha, Garibaldi, Monte Belo do Sul, Nova Roma do Sul, Pinto Bandeira, Santana do Livramento, São Marcos, Sarandi e Veranópolis.

As quantidades de resíduos sólidos orgânicos (bagaço/engajo/semente) informadas resultantes do processamento da uva nas planilhas trimestrais de resíduos sólidos estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Quantidade de resíduos sólidos orgânicos (bagaço/engajo/semente) provenientes do processamento de uva, informados pelas empresas da área vitivinícola.

Ano	Quantidade (t)
2018	40.590
2019	40.401
2020	36.885
2021	52.775
2022	42.706

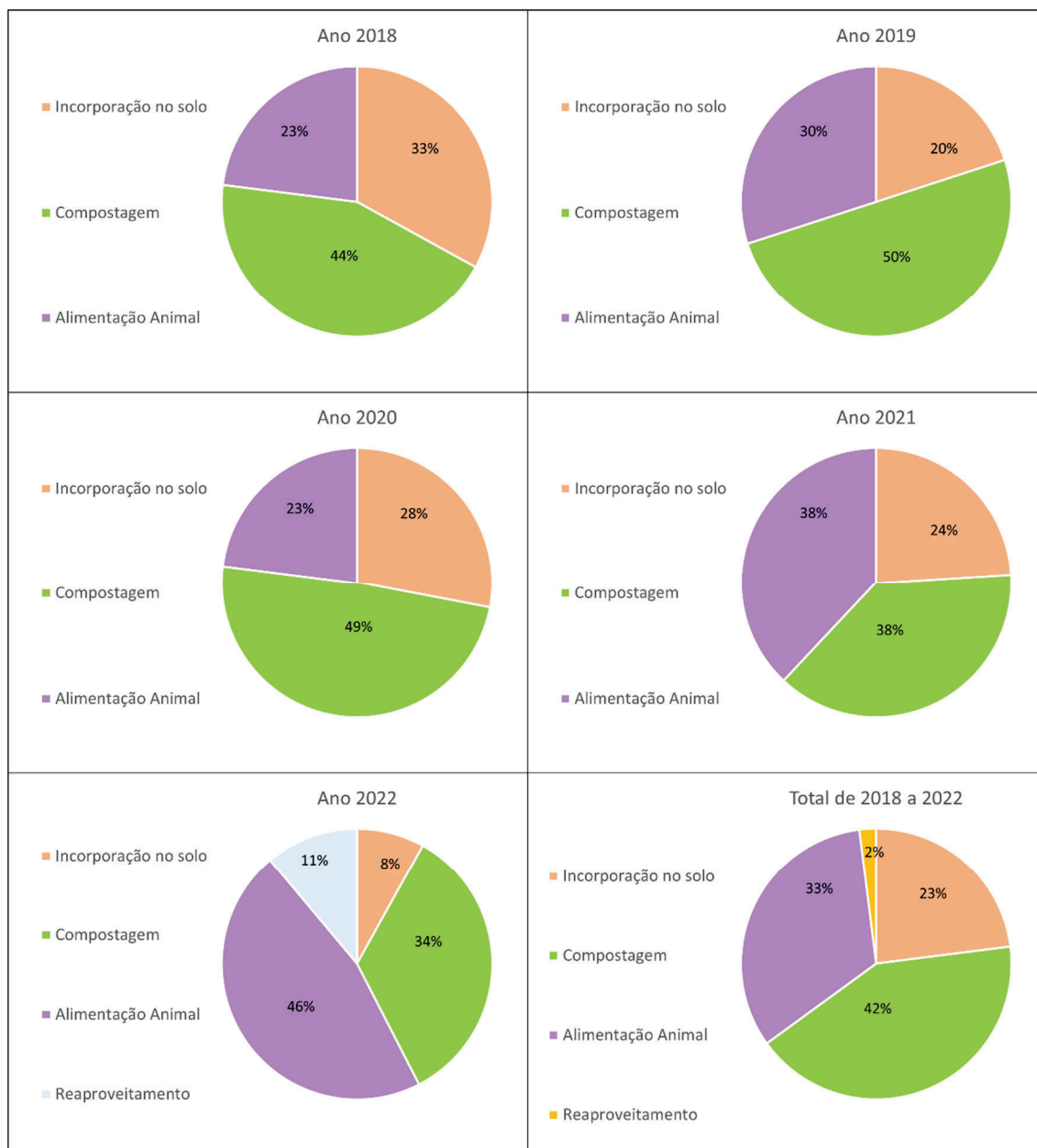
Fonte: adaptado de Fepam (2022).

A geração de resíduos sólidos orgânicos (bagaço/engajo/semente) no período de 2018 a 2022 variou de 36.885 t a 52.775 t. No ano de 2021 foi informada a maior quantidade gerada, que pode ser justificado pela maior produção de uvas em comparação aos demais anos. No ano de 2021, as condições climáticas foram favoráveis à produção de uvas, favorecendo as condições sanitárias, floração e frutificação das videiras (TONIETTO et al., 2021).

O tipo de destinação para estes resíduos orgânicos informados pelas empresas foi a incorporação ao solo, compostagem, alimentação animal e reaproveitamento para

produção de extratos vegetais, sendo apresentado os percentuais conforme ilustrados na Figura 5.

Figura 5 - Destinação dos resíduos orgânicos (bagaço/engajo/semente), durante o período de 2018 a 2022, conforme informações das empresas da área vitivinícola.



Fonte: adaptado de Fepam (2022).

Conforme dados constantes na Figura 5, no período de 2018 a 2020 o principal destino dos resíduos foi para a compostagem, variando de 44 % a 50 % do total informado. Nos anos de 2021 e 2022 houve um aumento no percentual destinado à alimentação animal, variando de 38 % a 46 %.

Nas planilhas consultadas referentes ao período de 2018 a 2022, foi verificado que somente no ano de 2022 há a informação de reaproveitamento dos resíduos para a produção de extratos vegetais, apresentando um percentual de 11 %.

Ao analisar o período de 5 anos (2018 a 2022), os destinos dos resíduos foram de 42 % para compostagem, 33 % para alimentação animal, 23 % para incorporação no solo e apenas 2 % como reaproveitamento para produção de extratos vegetais. Ademais, em contato com algumas empresas do setor, foi possível identificar que apenas o resíduo “engaçó” foi destinado como reaproveitamento para produção de extratos vegetais.

Nas Licenças de Operação dos empreendimentos pesquisados não há produtos licenciados que utilizem como matéria-prima o bagaço de uva. Tendo em vista o baixo reaproveitamento para elaboração de produtos com maior valor agregado, é importante o desenvolvimento de pesquisas para viabilização e a valorização deste resíduo, buscando alternativas geração e agregação de valor à cadeia vitivinícola e reduzindo as quantidades de material descartado como rejeito e/ou incorretamente, visando à redução dos impactos e passivos ambientais associados.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS

Foram realizadas as caracterizações dos resíduos CA, SE e SEDC conforme metodologia descrita no item 3.2.2, em relação aos seguintes parâmetros: composição química, propriedades físico-químicas, teores de fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides, capacidade antioxidante (DPPH e ABTS<sup>+</sup>), estabilidade térmica (análise termogravimétrica e termogravimetria diferencial), além de estrutura química (espectroscopia em infravermelho com transformada de Fourier) e capacidade de absorção de água. Os resultados de todas essas caracterizações estão apresentados a seguir.

### 4.2.1 Composição química e propriedades físico-químicas dos resíduos

Os resultados obtidos para a composição química e propriedades físico-químicas dos resíduos estão apresentados na Tabela 4.

Os resultados demonstram que os resíduos analisados possuem alto teor de fibras alimentares, sendo que os resíduos SE e SEDC apresentaram os maiores teores de fibras, não havendo diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre eles.

Tabela 4 - Composição química (em base úmida) e propriedades físico-químicas dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC).

Parâmetro (% m/m)	CA	SE	SEDC
Umidade	8,5±0,08 <sup>a</sup>	2,3±0,11 <sup>c</sup>	2,8±0,05 <sup>b</sup>
Cinzas	3,4±0,03 <sup>a</sup>	1,8±0,02 <sup>c</sup>	2,2±0,02 <sup>b</sup>
Lipídios	4,6±0,61 <sup>c</sup>	12,1±0,1 <sup>a</sup>	6,7±0,25 <sup>b</sup>
Proteína	10,5±0,1 <sup>a</sup>	2,7±0,03 <sup>c</sup>	8,8±0,13 <sup>b</sup>
Extrativos <sup>(1)</sup>	36,6±0,9 <sup>a</sup>	20,1±1,5 <sup>b</sup>	13,2±1,0 <sup>c</sup>
Carboidratos <sup>(2)</sup>	18,9±0,1 <sup>a</sup>	8,4±3,10 <sup>b</sup>	5,2±1,46 <sup>b</sup>
Fibra alimentar	54,1±0,6 <sup>b</sup>	72,6±2,9 <sup>a</sup>	74,3±1,0 <sup>a</sup>
Fibras insolúveis <sup>(3)</sup>	51,7±1,5 <sup>c</sup>	63,7±1,6 <sup>b</sup>	67,1±1,2 <sup>a</sup>
Celulose	14,7±2,2 <sup>b</sup>	17,6±1,9 <sup>b</sup>	23,6±1,7 <sup>a</sup>
Hemicelulose	20,2±0,6 <sup>a</sup>	11,4±1,4 <sup>b</sup>	12,0±1,0 <sup>b</sup>
Lignina	16,8±1,6 <sup>b</sup>	34,7±1,5 <sup>a</sup>	31,5±1,0 <sup>a</sup>
Acidez total <sup>(4)</sup>	4,2±0,16 <sup>a</sup>	0,28±0,02 <sup>b</sup>	0,63±0,01 <sup>c</sup>
pH (adim.)	3,5±0,02 <sup>c</sup>	4,7±0,05 <sup>b</sup>	5,4±0,09 <sup>a</sup>

CA - casca da uva, SE - semente da uva e SEDC - semente desengordurada com fragmentos da casca da uva. <sup>(1)</sup> Extrativos com solução de etanol/benzeno (1:2). <sup>(2)</sup> Carboidratos determinados por diferença. <sup>(3)</sup> As 'fibras insolúveis' correspondem à soma dos teores de celulose, hemicelulose e lignina. <sup>(4)</sup> - Acidez titulável expressa como equivalentes-grama de ácido tartárico por 100 g de amostra. Médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

Segundo Prado et al. (2014), após a extração do óleo fixo da semente, o resíduo resultante é composto principalmente por lignina e hemicelulose. Em seu estudo, na caracterização da composição do resíduo da semente de uva após a extração do óleo, proveniente de uma vinícola localizada no estado de Santa Catarina (Brasil), os autores reportaram 46 % m/m de lignina no resíduo pós-extração do óleo.

Em relação ao teor de lipídios, observa-se que o resíduo SE possui o maior teor (12,1 % m/m), enquanto o resíduo CA apresentou o menor teor (4,6 % m/m). O resíduo SEDC, após a extração do óleo, apresentou um teor de lipídios de 6,7 % m/m. Conforme García-Lomillo e González-SanJosé (2017), a composição da semente da uva, antes da extração do óleo, geralmente contém lipídios na faixa de 10 - 17 % m/m.

O resíduo de CA apresentou os maiores teores de umidade, cinzas, proteínas, carboidratos e extrativos. Devido a não ocorrer a fermentação do produto durante o processo de elaboração do suco, a casca apresenta maior quantidade residual de açúcar, em consonância com os resultados obtidos. Postinger et al. (2016) avaliando a composição de farinha obtida a partir de bagaço de uva da variedade bordô orgânica (safra 2015), reportaram 21,6 % m/m de carboidratos, 9,4 % m/m de proteína, 7,4 %

m/m de gorduras totais, 47,2 % m/m de fibras totais, 3,6 % m/m de cinzas e 10,8 % m/m de umidade.

Deng et al. (2011) determinaram um total de fibra alimentar de até 56,3 % da matéria seca no resíduo da casca da uva, sendo o maior percentual de fibra alimentar insolúvel. Além disso, os teores de proteínas variaram entre 5,4 – 12,3%, o teor de cinzas entre 2,5 – 7,6% e o teor de açúcares solúveis entre 1,3 – 78,0 %, dependendo do processo vinícola e se há a fermentação do bagaço. Os autores avaliaram as variedades Morio Muscat, Muller Thurgau, Cabernet Sauvignon, Pinot Noir e Merlot (*Vitis vinifera*). Os autores relatam que os resíduos de cascas de uva podem ser fontes importantes de fibras ricas em compostos bioativos.

Bender et al. (2016), caracterizando farinha da casca da uva obtida do bagaço de uva da cultivar Marselan (*Vitis vinifera*) proveniente do processo de vinificação de uma vinícola de Santa Maria/RS, Brasil, na safra 2013/2014, reportaram 17,6 % m/m de carboidratos, 6,8 % m/m de proteína, 5,1 % m/m de lipídios, 58 % m/m de fibras totais, 12,5 % m/m de cinzas e 7,2 % m/m de umidade na farinha estudada.

Karnopp et al. (2017a), realizando a caracterização da farinha proveniente da semente da uva bordô orgânica após a extração do óleo (safra 2013), relataram 8,6 % m/m de umidade, 5,4 % m/m de cinzas, 11,4 % m/m de proteínas, 7,7 % m/m de lipídios e 63,9 % m/m de fibras totais, nas quais 55,8 % m/m eram fibras insolúveis e 8,0 % m/m eram fibras solúveis. Em relação à farinha proveniente da casca da uva bordô orgânica, os autores informaram 2,4 % m/m de umidade, 3,8 % m/m de cinzas, 9,8 % m/m de proteínas, 8,5 % m/m de lipídios e 54,8 % m/m de fibras totais, nas quais 51,0 % m/m eram fibras insolúveis e 3,8 % m/m eram fibras solúveis.

Gauer, Silva e Hoffmann (2018) analisando farinha obtida a partir do resíduo de sementes prensadas a frio da variedade Bordô orgânico (safra 2017), reportaram 6,7 % m/m de umidade, 1,7 % m/m de lipídios, 62,7 % m/m de fibra alimentar, 2,3 % m/m de cinzas, 17,8 % m/m de carboidratos e 8,7 % m/m de proteína. Soussi et al. (2019) avaliaram a composição físico-química da farinha de semente de uva da variedade Carignan (*Vitis vinifera*), informando 12,1 % m/m de umidade, 7,8 % m/m de óleo, 3,4 % m/m de proteína e 5,9 % m/m de cinzas.

Prado et al. (2014), na caracterização da composição do resíduo da semente de uva após a extração do óleo proveniente de uma vinícola localizada no estado de Santa Catarina (Brasil), observaram teor de extrativos em água de 8,1 % m/m e de 5,3 % m/m em etanol.



Yalcin et al. (2017) avaliaram a composição físico-química de sementes de uva das variedades Cabernet, Gamay, Kalecik Karasi, Okuzgozu e Senso (Turquia), reportando 5,5 – 5,8 % m/m de umidade, 2,0 – 2,2 % m/m de cinzas, 12,1 – 17,1 % m/m de óleo fixo e 9,3 – 10,2 % m/m de proteína.

Bada et al. (2015) avaliaram a composição físico-química das sementes das uvas das variedades Tempranillo, Garnacha, Mencia, Carrasquín, Albarín e Verdejo, reportando 10,4 – 14,1 % m/m de umidade, 7,6 – 13,9 % m/m de lipídios e 8,1 – 10,8 % m/m de proteína.

O resíduo de CA apresentou menor valor de pH 3,54. O pH ácido dos resíduos pode influenciar na estabilidade da cor das antocianinas, por serem mais estáveis em faixa de pH ácido. Resultados semelhantes foram descritos nos estudos de Lopez et al. (2017) e Bender et al. (2016), nos quais os valores de pH das farinhas de resíduo de uvas, variaram de 3,3 a 3,9, sendo classificadas como produtos ácidos.

Ao comparar os resultados obtidos da mesma variedade de uva, observa-se diferenças porque a composição do bagaço de uva é diretamente influenciada por fatores relativos à genética das videiras, tipos de cultivo, processamento e colheita (ARNOUS; MEYER, 2009; BERES et al., 2017).

O resíduo de casca de uva possui potencial de utilização em virtude de possuir compostos fenólicos, que não são completamente extraídos durante o processo de produção de suco de uva. Ainda que as indústrias utilizem enzimas pectolíticas no processo de elaboração para aumentar o rendimento e proporcionar maior extração de compostos fenólicos, principalmente os pigmentos relacionados à coloração do produto (antocianinas), o resíduo obtido no processo apresenta alto conteúdo desses compostos não extraídos, conforme resultados obtidos. Karnopp et al. (2017b) relataram que o resíduo de casca de uva proveniente do processamento de suco de uva apresentou maiores teores de compostos fenólicos em comparação ao suco de uva integral produzido, especialmente os compostos *trans*-resveratrol, quercetina e epicatequina.

A utilização de resíduos agroindustriais ricos em fibras lignocelulósicas em embalagens, possibilita a adição destes resíduos de uva à matriz polimérica, no intuito de melhorar as propriedades de espumas de amido devido aos resíduos serem principalmente compostos por celulose, hemicelulose e lignina. Conforme comentado por Santos, Silva e Alves (2017) e Motaung e Linganiso (2018) a adição de material lignocelulósico promove um aumento da elasticidade e resistência mecânica do polímero pela ação das fibras adicionadas, atuando como um material de reforço.

#### 4.2.2 Teor de fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides

Os resultados obtidos em relação aos teores de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides dos resíduos estudados estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Teores de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e flavonoides dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC).

Parâmetro	CA	SE	SEDC
Fenólicos totais <sup>(1)</sup>	1530±73 <sup>c</sup>	2632±52 <sup>b</sup>	3372±53 <sup>a</sup>
Antocianinas totais <sup>(2)</sup>	89±2 <sup>a</sup>	23±1 <sup>b</sup>	20±1 <sup>b</sup>
Flavonoides <sup>(3)</sup>	762±17 <sup>c</sup>	2233±19 <sup>b</sup>	3136±30 <sup>a</sup>

CA - casca da uva, SE - semente da uva e SEDC - semente desengordurada com fragmentos da casca da uva. <sup>(1)</sup> - miligramas de equivalente de ácido gálico por 100 g de resíduo (mg eq. Gálico/100 g); <sup>(2)</sup> - miligramas de equivalente de cianidina-glicosídeo por 100 g de resíduo (mg eq. cianidina-3-glicosídeo/100 g); <sup>(3)</sup> - miligramas de equivalente de quercetina por 100 g de resíduo (mg eq. quercetina/100 g). Médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

O resíduo SEDC apresentou o maior teor de compostos fenólicos totais e flavonoides, enquanto o resíduo CA apresentou a maior concentração de antocianinas totais. Conforme García-Lomillo e González-SanJosé (2017), os compostos fenólicos mais presentes nos resíduos do processamento da uva tinta são as antocianinas, presentes principalmente na casca, e os flavonoides, que estão presentes principalmente nas sementes. Castellanos-Gallo et al. (2022) citam que a semente apresenta maior percentual de fenólicos totais e que as antocianinas estão presentes principalmente na casca, em consonância com os resultados obtidos.

Peixoto et al. (2018), avaliando o perfil fenólico do bagaço de *Vitis vinifera* L. (casca, sementes e sua mistura) proveniente do processo de vinificação, reportou que as sementes apresentaram maior quantidade de compostos fenólicos e as cascas possuíam maiores teores de antocianinas. Ademais, esses subprodutos são fontes de compostos fenólicos com atividade antioxidante e antimicrobiana, com aplicabilidade nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética.

O teor de fenólicos totais do resíduo de CA obtido foi de 1.530 mg<sub>EAG</sub>/100 g. O resultado obtido é semelhante aos valores obtidos por Haas et al. (2016) com resíduo de casca da uva Bordô orgânico desidratado em estufa, obtiveram valores que variaram entre 1.381 – 1.700 mg<sub>EAG</sub>/100 g. Raota et al. (2019) observaram 1.790 mg<sub>EAG</sub>/100 g na avaliação dos compostos fenólicos do bagaço de uva da variedade Bordô proveniente do processamento de vinho.

Lago-Vanzela et al. (2011) estudando a casca da uva Bordô (safra 2010, São Paulo, Brasil) reportaram teores de antocianinas de 136 mg/100 g e o teor de compostos fenólicos totais de 113 mg<sub>EAG</sub>/100 g, distribuído 94 % na casca e 6,3 % na polpa.

O teor de antocianinas do resíduo CA foi de 89 mg<sub>ECG</sub>/100 g. Em estudo realizado por Haas et al. (2016) com resíduo de casca de uva Bordô orgânico desidratado em estufa a 45 °C, 55 °C e 65 °C, os teores de antocianinas determinados foram de 151,3 mg<sub>ECG</sub>/100 g, 146,9 mg<sub>ECG</sub>/100 g e 177,71 mg<sub>ECG</sub>/100 g, respectivamente.

Karnopp et al. (2017a), realizando a caracterização da farinha da casca da uva bordô orgânica safra 2013, reportaram 1.977 mg<sub>EAG</sub>/100 g de fenólicos totais e 26,0 mg<sub>ECG</sub>/100 g de antocianinas totais. Em relação à caracterização da farinha proveniente da semente da uva bordô orgânica após a extração do óleo (safra 2013), os autores observaram 2.180 mg<sub>EAG</sub>/100 g de fenólicos totais e 102,8 mg<sub>ECG</sub>/100 g de antocianinas totais.

As diferenças dos resultados obtidos em relação aos resultados encontrados na literatura são justificadas, principalmente, pelo fato de ser um resíduo orgânico, muitos fatores, como a forma de processamento, condições climáticas, tipos de cultivos podem influenciar na composição do resíduo. Ademais, a ausência de resíduos de agrotóxicos e a presença de compostos fenólicos e derivados pode potencialmente auxiliar na conservação das espumas durante o tempo de prateleira do produto, bem como evitar a migração de resíduos de agrotóxicos ao alimento (Memar et al., 2019).

### **4.2.3 Capacidade antioxidante**

Os resultados de capacidade antioxidante dos resíduos com base na varredura dos radicais livres DPPH e ABTS<sup>+</sup>, bem como os equivalentes em milimolar de Trolox<sup>®</sup>, estão apresentados na Tabela 6.

Os valores de capacidade antioxidante observados foram maiores pelo método de ABTS<sup>+</sup> em todas as amostras. As porcentagens de varredura variaram de 99,3 % (SE) a 99,7 % (CA), não ocorrendo diferença significativa entre os resíduos analisados devido ao fato que o método ABTS<sup>+</sup> possui correlação mais forte com o conteúdo de polifenóis que o método DPPH (BURIN et al., 2014). No entanto, conforme comentado por Olszowy e Dawidowicz (2018), ambos os métodos utilizando os radicais DPPH e ABTS<sup>+</sup> apresentam alta estabilidade e são de fácil análise. Ademais, a utilização de

radicais diferentes, com graus de sensibilidade diferentes, também permite observar a abrangência e grau de atividade antioxidante dos resíduos testados.

Tabela 6 - Capacidade antioxidante dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC).

Parâmetro	CA	SE	SEDC
Varredura do radical DPPH (%)	79,2 ±0,8 <sup>b</sup>	84,8±0,5 <sup>a</sup>	83,2±0,6 <sup>a</sup>
mM equivalente de Trolox (DPPH)	1,21±0,01 <sup>c</sup>	1,30±0,01 <sup>a</sup>	1,27±0,01 <sup>b</sup>
Varredura do radical ABTS (%)	99,7±0,01 <sup>a</sup>	99,3±0,3 <sup>a</sup>	99,6±0,1 <sup>a</sup>
mM equivalente de Trolox (ABTS)	1,53±0,01 <sup>a</sup>	1,52±0,01 <sup>a</sup>	1,53±0,01 <sup>a</sup>

CA - casca da uva, SE - semente da uva e SEDC - semente desengordurada com fragmentos da casca da uva. Médias na mesma linha com diferentes letras sobrescritas apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ).

Pelo método de DPPH, as porcentagens de varredura variaram de 79,2 % (CA) a 84,8 % (SE). Os resíduos de SEDC e SE apresentaram o maior percentual de atividade antioxidante, não havendo diferença significativa entre eles, enquanto o resíduo CA apresentou menor atividade. Burin et al. (2017) observaram que as antocianinas tinham a correlação mais fraca com a atividade antioxidantes, o que está de acordo com os dados observados neste estudo, onde o resíduo CA apresentou maior teor de antocianinas e menor atividade antioxidante entre os resíduos estudados.

Pezzini et al. (2019) observaram a maior atividade antioxidante para o radical DPPH (74,2 %) em resíduos provenientes do processamento do suco de uva integral (variedades de uva *Vitis labrusca* L. Bordô e Isabel), apresentando comportamento semelhante aos resultados obtidos no presente trabalho.

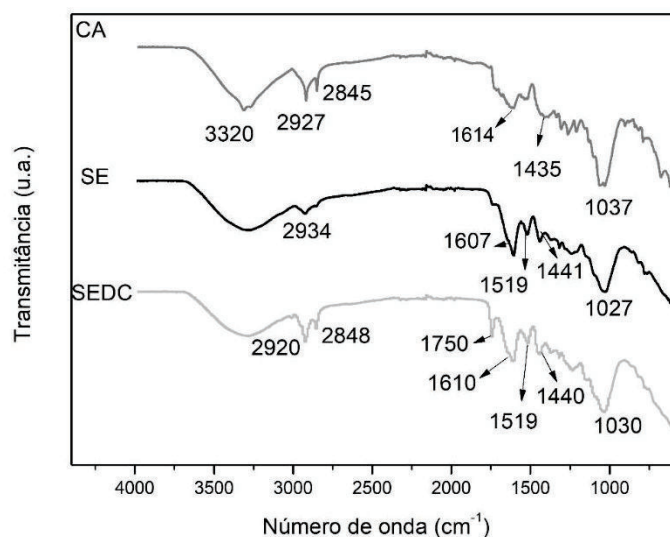
A utilização do resíduo do processamento de uva com potencial para emprego como antioxidante foi relatada por Santos Silva et al. (2022), que utilizaram extrato de uva liofilizado e microencapsulado proveniente do bagaço de uva da variedade Isabel como antioxidante natural na indústria de carnes. Os resultados obtidos do material microencapsulado foram superiores quando comparados ao antioxidante sintético (eritorbato de sódio), aumentando a estabilidade oxidativa dos hambúrgueres e evitando alterações significativas de cor durante o armazenamento refrigerado.

Cisneros-Yupanqui et al. (2020) informaram que a utilização do bagaço de uva pode ser um antioxidante natural promissor para evitar a oxidação do óleo de milho, mostrando o potencial de aplicação deste resíduo como fonte de aditivos naturais para a indústria de alimentos e para incorporação em embalagens ativas.

#### 4.2.4 Análises de FTIR e TGA

Os espectros de absorção obtidos a partir do FTIR-ATR dos resíduos são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Espectros de FTIR dos resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC), obtidos pelo método de reflexão total atenuada (ATR).



A banda de  $3.320\text{ cm}^{-1}$  está relacionada às vibrações de estiramento da ligação dos grupos hidroxilas (OH) (LUPOI et al., 2015), o resíduo CA apresentou maior intensidade nessa banda, e pode ser relacionado ao caráter mais hidrofílico do resíduo, por apresentar menores quantidades de lipídios e lignina, quando comparado aos resíduos SE e SEDC.

As bandas na faixa de  $2.920 - 2.930\text{ cm}^{-1}$  e  $2.845 - 2.848\text{ cm}^{-1}$  representam vibrações de estiramento assimétrico e simétrico dos grupos metileno ( $\text{CH}_2$ ), principalmente associados às cadeias de hidrocarbonetos dos lipídios ou ligninas. A banda em  $1.750\text{ cm}^{-1}$  corresponde à absorção das ligações  $\text{C}=\text{O}$  dos grupos éster e está relacionada à presença dos ácidos graxos e seus glicerídeos, bem como pectinas e ligninas (LUPOI et al., 2015; LUCARINI et al., 2020; DONG et al., 2021). Os resíduos SE e SEDC apresentaram maior intensidade nessas bandas, de acordo com os resultados obtidos, esses resíduos possuem maiores teores de lipídios e lignina quando comparados ao resíduo CA.

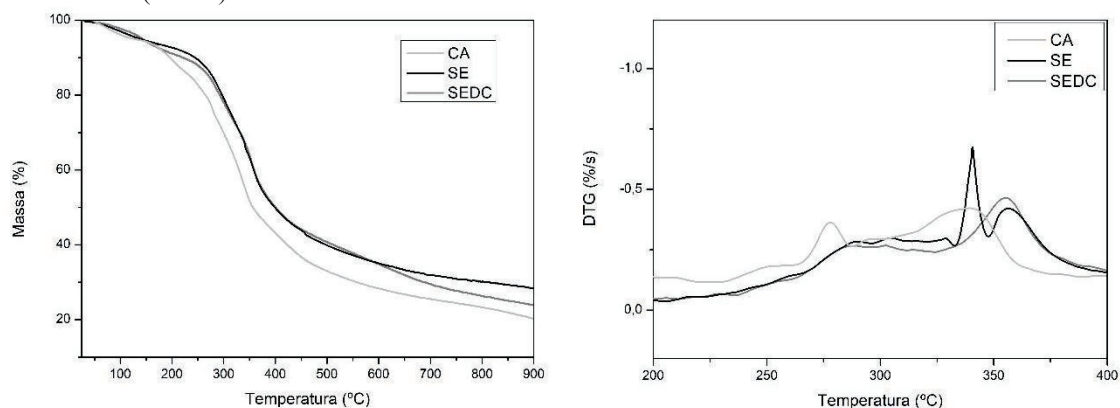
As bandas na faixa de  $1.607 - 1.614\text{ cm}^{-1}$  representam o alongamento de grupamentos carboxila ( $\text{O}=\text{C}-\text{O}-$ ) e grupos aromáticos  $\text{C}=\text{C}$ , por exemplo, em pectinas e

compostos fenólicos, mas também com as vibrações de flexão de grupos OH. As bandas de  $1.519\text{ cm}^{-1}$  e  $1.435 - 1.441\text{ cm}^{-1}$  estão relacionadas ao estiramento da ligação C-C em compostos aromáticos, relacionadas a compostos fenólicos. Os valores referentes à banda de números de onda de  $1.027 - 1.037\text{ cm}^{-1}$  correspondem ao estiramento das ligações dos grupos C-O e O-H (LUPOI et al., 2015; LUCARINI et al., 2020; DONG et al., 2021).

O resíduo de CA apresentou uma intensidade menor das bandas (faixa de  $1.600 - 1.440\text{ cm}^{-1}$ ), relacionadas a compostos fenólicos, quando comparado ao SEDC e SE. Esse resultado está em consonância com os resultados obtidos em relação ao teor de compostos fenólicos totais, pois o resíduo de CA é o que apresenta o menor teor destes compostos.

Os perfis termogravimétricos (TG) e termogravimétrico diferencial correspondente (DTG) das amostras dos resíduos CA, SE e SEDC são apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Análise termogravimétrica (TGA) e curva termogravimétrica diferencial (DTG) das amostras de resíduos de casca de uva (CA), semente de uva (SE) e semente desengordurada com fragmentos da casca de uva (SEDC).



A degradação térmica dos resíduos pode ser interpretada em termos de decomposição em três etapas dos principais constituintes, sendo a decomposição da hemicelulose na faixa de temperatura de  $150 - 310\text{ °C}$ , degradação da fração menos estável da lignina e da celulose na faixa de temperatura de  $310 - 400\text{ °C}$  e decomposição da fração mais refratária da lignina em temperaturas acima de  $450\text{ °C}$  (SANCHEZ-SILVA et al., 2012). As perdas observadas até a temperatura de  $150\text{ °C}$  estão relacionadas com a evaporação da umidade e volatilização de moléculas orgânicas de baixa massa molar (SANCHEZ-SILVA et al., 2012; MADADIAN et al., 2022).

As perdas de massa dos resíduos na faixa de 150 – 310 °C foram de 27,5 %; 18,9 % e 18,3 %, para o CA, SEDC e SE, respectivamente. O resíduo de CA apresentou a maior perda de massa nessa faixa, estando de acordo com a caracterização química, que indicou maior teor de hemicelulose neste resíduo entre os resíduos estudados.

Na faixa de temperatura de 310 – 400 °C, as perdas de massa dos resíduos foram de 23,6 %, 26,3 % e 25,9 % para o CA, SEDC e SE, respectivamente. Os resíduos de SEDC e SE apresentaram maior perda de massa que o CA, indicando comportamento condizente com o fato de apresentarem maiores teores de celulose e lignina quando comparados ao CA.

As massas residuais dos resíduos, correspondente a cinzas (matéria mineral) e carbono fixo, na temperatura de 900 °C, foram de 20,2 %, 23,9 % e 28,3 % para o CA, SEDC e SE. O resíduo de CA apresentou a menor estabilidade térmica quando comparado com os resíduos de SEDC e SE.

O conhecimento da estabilidade térmica dos resíduos é importante, visando por exemplo, sua aplicação em uma matriz polimérica, para evitar que ocorra a degradação durante o processamento e possíveis perdas por volatilização e/ou alteração da estrutura ou características químicas do aditivo/carga (GOWMAN et al., 2019).

Considerando que as espumas são utilizadas e armazenadas em temperatura ambiente (10 - 30 °C), os resíduos se apresentam estáveis. Ademais, os mesmos ainda se apresentam estáveis nas temperaturas e termocompressão (145 - 180 °C), com poucas diferenças (perda de umidade), o que indica uma estabilidade dos resíduos nessas temperaturas, permitindo seu processamento sem alterações e/ou perdas de massa importantes.

#### **4.2.5 Capacidade de Absorção de Água**

As capacidades de absorção de água, em base seca, dos resíduos foram de  $2,91 \pm 0,13 \text{ g.g}^{-1}$ ,  $2,22 \pm 0,05 \text{ g.g}^{-1}$  e  $1,84 \pm 0,03 \text{ g.g}^{-1}$ , para os resíduos de CA, SEDC e SE, respectivamente. As amostras apresentaram diferença significativa entre elas ( $p < 0,05$ ), indicando que cada resíduo apresentou um comportamento diferente em relação a esta propriedade. Sant'Anna et al. (2021) relataram que a capacidade de absorção de água variou entre 3,00 - 4,25  $\text{g.g}^{-1}$  para bagaço de uva seco proveniente de processo de vinificação.



O resíduo de SE apresentou a menor quantidade de água absorvida quando comparado aos resíduos de SEDC e CA, que também diferiram estatisticamente entre si, estando em consonância com o resultado que possui maior percentual de lipídios entre os resíduos analisados. O resíduo de CA apresentou a maior capacidade de absorção de água, bem como apresentou o menor teor de lignina entre os resíduos analisados, sendo que a lignina pode reduzir o teor de hidroxilas, diminuindo a capacidade de absorção de água frente a outros materiais contendo celulose e derivados (IRIANI et al., 2020).

A capacidade de absorção de água é uma propriedade importante quando se considera a aplicação desses resíduos na elaboração de embalagens ativas para alimentos, destinadas a prolongar a vida útil, e/ou manter/melhorar a condição dos alimentos embalados. Uma elevada absorção de água é interessante para embalagens com propriedades hidrofílicas, como por exemplo, materiais absorvedores. Em alimentos que exsudam líquido para o espaço livre das embalagens, absorvedores de líquidos podem ser utilizados para aumentar a vida útil desses alimentos, mantendo o teor de umidade, diminuindo a condensação e reduzindo o escurecimento, descoloração ou alterações de textura do alimento causados pelo acúmulo de líquidos na embalagem (YILDIRIM et al., 2018).

#### 4.3 FORMAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ESPUMAS OBTIDAS

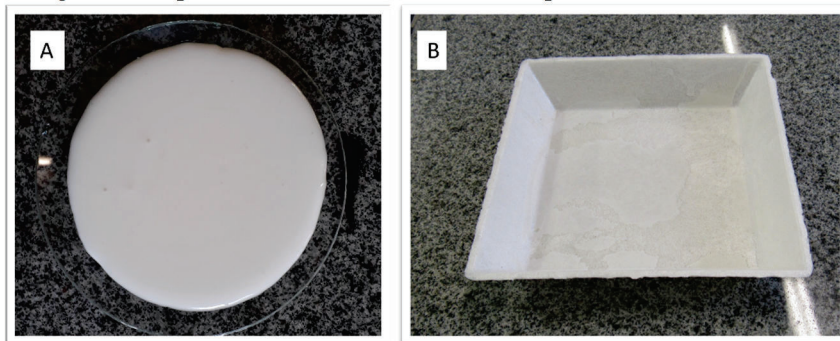
Neste item estão apresentados os resultados para as espumas obtidas, bem como os resultados de caracterização em relação aos seguintes parâmetros: densidade aparente, teor de umidade, capacidade de absorção de água, morfologia, teor de fenólicos totais, antocianinas, flavonoides, capacidade antioxidante, estabilidade térmica, estrutura química, propriedades mecânicas, atividade antimicrobiana e biodegradabilidade.

##### 4.3.1 Formação das espumas

Para a formulação padrão, a suspensão e a espuma obtida podem ser visualizadas na Figura 8.



Figura 8 - Imagens da suspensão à base de amido (a) e da espuma (b) obtida da formulação padrão.



Em relação às espumas à base de amido de mandioca com a incorporação dos resíduos, conforme metodologia proposta, foi possível a moldagem eficiente do material com a incorporação dos resíduos de CA, SE e SEDC, variando o percentual de 10 % a 30 % em massa (com relação à quantidade de sólidos), não sendo possível a incorporação de percentuais maiores dos resíduos devido a problemas na etapa de desmoldagem, i.e., o material ficou quebradiço e apresentava rachaduras, dificultando a sua remoção do molde.

As soluções de amido com a adição dos resíduos obtidos apresentaram aspecto visual homogêneo, sem separação aparente, conforme pode ser visualizado na Figura 9.

## REFERÊNCIAS

- ABDELWAHED, W. et al. Freeze-drying of nanoparticles: formulation, process and storage considerations. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 58, p. 1688–1713, 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Papel e cartão: Determinação da capacidade de absorção de água - Método de Cobb**; NBR NM ISO 535:1999, 1999.
- AGHAZADEH, M. et al. Effect of glycerol on the physicochemical properties of cereal starch films. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 36, n. 5, p. 403–409, 2018.
- AL-HABIB, A.; AL-SALEH, E.; SAFER, A. M.; AFZAL, M. Bactericidal effect of grape seed extract on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA). **The Journal of Toxicological Sciences**, v. 35, n. 3, p. 357-364, 2010.
- AMARAWEEERA, S. M. et al. Preparation and Characterization of Dual-Modified Cassava Starch-Based Biodegradable Foams for Sustainable Packaging Applications. **ACS Omega**, v. 7, n. 23, p. 19579–19590, 2022.
- ANTONIĆ, B. et al. Grape pomace valorization: A systematic review and meta-analysis. **Foods**, v. 9, n. 11, 2020.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18 ed.; Maryland: AOAC, 2005.
- ARNOUS, A.; MEYER, A.S., 2009. Quantitative prediction of cell wall polysaccharide composition in grape (*Vitis vinifera L.*) and apple (*Malus domestica*) skins from acid hydrolysis monosaccharide profiles. **J. Agric. Food Chem**, v. 57, p. 3611–3619, 2009.
- ASSUMPÇÃO, C. F. et al. Bioactive Compounds and Stability of Organic and Conventional *Vitis labrusca* Grape Seed Oils. JAOCS, **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 93, n. 1, p. 115–124, 2016.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for tensile properties of plastics (D 638-02)**, 2003.
- AVÉROUS, L. Biodegradable Multiphase Systems Based on Plasticized Starch : A Review. **Journal of Macromolecular Science**, v. C44, n. 3, p. 231–274, 2004.
- BAAKA, N. et al. Upgrading of UV Protection Properties of Several Textile Fabrics by Their Dyeing with Grape Pomace Colorants. **Fibers and Polymers**, v. 19, n. 2, p. 307–312, 2018.
- BADA, J. C. et al. Characterization of grape seed oil from wines with protected denomination of origin (PDO) from Spain. **Grasas y Aceites**, v. 66, p. 1–6, 2015.
- BALBINOTI, T. C. V. et al. Addition of grape pomace in the hydration step of parboiling increases the antioxidant properties of rice. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 6, p. 2370–2380, 2020.

BANGAR, S. P. et al. Recent advances in thermoplastic starches for food packaging: A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30, p. 1-15, 2021.

BASSANESI, G.; TOUGUINHA, L. B. A.; SALVADOR, M. Capacidade antioxidante de sucos e néctares de uvas do Rio Grande do Sul. **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, n. 2, 2020.

BAROI, A. M. et al. Grapevine Wastes: A Rich Source of Antioxidants and Other Biologically Active Compounds. **Antioxidants**, v. 11, n. 2, 393, 2022.

BAROI, A. M. et al. Grape Waste Materials - An Attractive Source for Developing Nanomaterials with Versatile Applications. **Nanomaterials**, v. 13, 836, 2023.

BENDER, A. B. B. et al. Obtenção e caracterização de farinha de casca de uva e sua utilização em snack extrusado. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, p. 1–9, 2016.

BEMILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. **Starch: chemistry and technology**; Academic Press, 2009.

BERES, C. et al. Towards integral utilization of grape pomace from winemaking process: A review. **Waste Management**, v. 68, p. 581–594, 2017.

BERGEL, B. F. et al. Effects of hydrophobized starches on thermoplastic starch foams made from potato starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 200, p. 106–114, 2018.

BERGEL, B. F. et al. Effects of silylated starch structure on hydrophobization and mechanical properties of thermoplastic starch foams made from potato starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 241, p. 1-24, 2020.

BERGER, C. et al. Production of sustainable polymeric composites using grape pomace biomass. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 12, n. 12, p. 5869–5880, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **RESOLUÇÃO-RDC Nº 259, de 20 de setembro de 2002**. Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem de Alimentos Embalados.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

BURIN, V. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant activity of *Vitis vinifera* and *Vitis labrusca* grapes: Evaluation of different extraction methods. **Microchemical Journal**, v. 114, p. 155–163, 2014.

CABANILLAS, A. et al. Pineapple shell fiber as reinforcement in cassava starch foam trays. **Polymers and Polymer Composites**, v. 27, n. 8, p. 496–506, 2019.

- CAETANO, K. et al. Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 138–147, 2018.
- CASTELLANOS-GALLO, L. et al. Grape Pomace Valorization by Extraction of Phenolic Polymeric Pigments: A Review. **Processes**, v. 10, n. 3, p. 469, 2022.
- CEJUDO-BASTANTE, C. et al. Application of a natural antioxidant from grape pomace extract in the development of bioactive jute fibers for food packaging. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 1–15, 2021.
- CHENG, H. et al. Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. **Trends in Food Science and Technology**, v. 114, p. 70–82, 2021.
- CISNEROS-YUPANQUI M, et al. Study of the phenolic profile of a grape pomace powder and its impact on delaying corn oil oxidation. **Nat Prod Res**, v. 36, p. 455-459, 2020.
- COSTA, G. N. S. et al. Grape seed pomace as a valuable source of antioxidant fibers. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 10, p. 4593–4601, 2019.
- CRUZ-TIRADO, J. P. et al. Biodegradable foam tray based on starches isolated from different Peruvian species. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 125, p. 800–807, 2019.
- CRUZ-TIRADO, J. P. et al. Bioactive Andean sweet potato starch-based foam incorporated with oregano or thyme essential oil. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 23, p. 1-13, 2020.
- DÁVILA, I. et al. **The Biorefinery Concept for the Industrial Valorization of Grape Processing By-Products**. Elsevier Inc., 2017. E-book.
- DEBIAGI, F. et al. Embalagens biodegradáveis de amido reforçadas com fibras lignocelulósicas provenientes de resíduos agroindustriais. **BBR - Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 1, n. 2, p. 57–67, 2012.
- DENG, Q. et al. Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2712–2720, 2011.
- DONG, X. et al. Fractionation and structural characterization of polysaccharides derived from red grape pomace. **Process Biochemistry**, v. 109, n. July, p. 37–45, 2021.
- DONG, Y. et al. Antibacterial effect and mechanism of anthocyanin from *Lycium ruthenicum* Murr. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, 974602, 2022.
- DONY; P.; BERZIN, F. Thermogravimetric, Morphological and Infrared Analysis of Blends Involving Thermoplastic Starch and Poly(ethylene-co-methacrylic acid) and Its Ionomer Form. **Molecules**, v. 28, 4519, 2023.

DWYER, K.; HOSSEINIAN, F.; ROD, M. The Market Potential of Grape Waste Alternatives. **Journal of Food Research**, v. 3, n. 2, p. 91-102, 2014.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Inteligência e Mercado de Uva e Vinho, disponível em: <https://www.embrapa.br/cim-uva-e-vinho/a-viticultura-no-brasil>. Acesso em 10 mar. de 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, p. 115234, 2019a.

ENGEL, J. B.; AMBROSI, A.; TESSARO, I. C. Development of a Cassava Starch-Based Foam Incorporated with Grape Stalks Using an Experimental Design **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, p. 2853–2866, 2019b.

FALUA, K. J. et al. Valorization of Starch to Biobased Materials: A Review. **Polymers**, v. 14, n. 11, p. 1 - 44, 2022.

FREITAS, P. A. V. et al. Antioxidant and antimicrobial extracts from grape stalks obtained with subcritical water. Potential use in active food packaging development, **Food Chemistry**, v. 451, 2024.

GARAVAGLIA, J.; MARKOSKI, M. M.; OLIVEIRA, A.; MARCADENTI, A. Grape Seed Oil Compounds: Biological and Chemical Actions for Health. **Nutrition and Metabolic Insights**, v. 9, 2016.

GARCÍA-LOMILLO, J.; GONZÁLEZ-SANJOSÉ, M. L. Applications of Wine Pomace in the Food Industry: Approaches and Functions. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 1, p. 3–22, 2017.

GAUER, P. O.; SILVA, M. C. A.; HOFFMANN, S. Evaluation of oil and flour for human nutrition obtained from conventional and organic grape seed Bordô from a winery in the South of Brazil. **Grasas y Aceites**, v. 69, n. 1, p. 1–9, 2018.

GAVRILAŞ, S. et al. White Grape Pomace Valorization for Remediating Purposes. **Applied Sciences** (Switzerland), v. 12, n. 4, 2022.

GOÑI, I.; MARTÍN, N.; SAURA-CALIXTO, F. In vitro digestibility and intestinal fermentation of grape seed and peel. **Food Chemistry**, v. 90, n. 1–2, p. 281–286, 2005.

GONZÁLEZ-CENTENO, M. R. et al. Effect of acoustic frequency and power density on the aqueous ultrasonic-assisted extraction of grape pomace (*Vitis vinifera L.*) - A response surface approach. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21, n. 6, p. 2176–2184, 2014.

GOWMAN, A. C. et al. Physicochemical analysis of Apple and Grape Pomaces. **BioResources**, v. 14, n. 2, p. 3210–3230, 2019.

HAAS, I. C. da S. et al. Phytochemicals, Monosaccharides and Elemental Composition of the Non-Pomace Constituent of Organic and Conventional Grape Juices (*Vitis*

*labrusca L.*): Effect of Drying on the Bioactive Content. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 71, n. 4, p. 422–428, 2016.

HASSAN, M. M.; TUCKER, N.; LE GUEN, M. J. Thermal, mechanical and viscoelastic properties of citric acid-crosslinked starch/cellulose composite foams. **Carbohydrate Polymers**, v. 230, p. 1-19, 2020.

IACONO, E. et al. Converting biomass waste into valuable biomaterials and bioactive compounds: an overview of antimicrobial activities in the pursuit of global sustainability and health. **New Microbiologica**, v. 47, n. 2, p. 123-136, 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Instituto Adolfo Lutz, São Paulo; 2018.

IRIANI, E. S. et al. The Effect of Surface Modification by Sizing Agent on the Water Absorption Capacity of Cassava Starch-based Biofoam Packaging. **Macromolecular Symposia**, v. 391, n. 1, p. 1–4, 2020.

IUGA, M.; MIRONEASA, S. Potential of grape byproducts as functional ingredients in baked goods and pasta. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 5, p. 2473–2505, 2020.

JARAMILLO, C. M. et al. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150–159, 2016.

JARPA-PARRA, M.; CHEN, L. Applications of plant polymer-based solid foams: Current trends in the food industry. **Applied Sciences** (Switzerland), v. 11, n. 20, 2021.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica: UNESP, São Paulo, 2013.

KAISANGSRI, N.; KERDCHOECHUEN, O.; LAOHAKUNJIT, N. Characterization of cassava starch based foam blended with plant proteins, kraft fiber, and palm oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 110, p. 70–77, 2014.

KARNOPP, A. R. et al. Chemical composition, nutritional and in vitro functional properties of by-products from the Brazilian organic grape juice industry. **International Food Research Journal**, v. 24, n. 1, p. 207–214, 2017a.

KARNOPP, A. R. et al. Optimization of an organic yogurt based on sensorial, nutritional, and functional perspectives. **Food Chemistry**, v. 233, p. 401–411, 2017b.

KY, I., et al. Wine by-products: phenolic characterization and antioxidant activity evaluation of grapes and grape pomaces from six different French grape varieties. **Molecules**, v. 19, p. 482–506, 2014.

KE, J. et al. The study of diffusion kinetics of cinnamaldehyde from corn starch-based film into food simulant and physical properties of antibacterial polymer film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 125, p. 642–650, 2019.



- KERANEN, O. et al. Restructuring existing value networks to diffuse sustainable innovations in food packaging. **Industrial Marketing Management**, v. 93, p. 509–519, 2021.
- KETKAEW, S. et al. Effect of Oregano Essential Oil Content on Properties of Green Biocomposites Based on Cassava Starch and Sugarcane Bagasse for Bioactive Packaging. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 1, p. 311–318, 2018.
- KHAN, B. et al. Thermoplastic Starch: A Possible Biodegradable Food Packaging Material - A Review. **Journal of Food Process Engineering**, v. 40, n. 3, 2016.
- LA FUENTE, C. I. A.; TRIBST, A. A. L.; AUGUSTO, P. E. D. Knowledge and perception of different plastic bags and packages: A case study in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 301, p. 1-13, 2022.
- LAGO-VANZELA, E. S. et al. Phenolic composition of the edible parts (flesh and skin) of Bordô grape (*Vitis labrusca*) using HPLC-DAD-ESI-MS/MS. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 24, p. 13136–13146, 2011.
- LANDIM, A. P. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82–92, 2016.
- LIMA, M. D. S. et al. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration. **Food Chemistry**, v. 188, p. 384–392, 2015.
- LOPEZ, L. D. et al. Interferência do sistema de cultivo, radiação UV-C e método de secagem na qualidade da farinha de subprodutos de uva. **Científica**, v. 45, n. 4, p. 347–354, 2017.
- LOPEZ-GIL, A. et al. Cellular structure and mechanical properties of starch-based foamed blocks reinforced with natural fibers and produced by microwave heating. **Industrial Crops and Products**, v. 66, p. 194–205, 2015.
- LOPEZ-GIL, A. et al. Strategies to Improve the Mechanical Properties of Starch-Based Materials: Plasticization and Natural Fibers Reinforcement. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 24, p. 36–42, 2014.
- LUCARINI, M. et al. Grape seeds: Chromatographic profile of fatty acids and phenolic compounds and qualitative analysis by FTIR-ATR spectroscopy. **Foods**, v. 9, n. 1, 2020.
- LUPOI, J. S. et al. Recent innovations in analytical methods for the qualitative and quantitative assessment of lignin. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 49, p. 871–906, 2015.
- MA, Y. et al. Antimicrobial activity of anthocyanins and catechins against foodborne pathogens *Escherichia coli* and *Salmonella*. **Food Control**, v. 106, 106712, 2019.

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, 2020.

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.

MARGRAF T., et al. Effects of geographical origin, variety and farming system on the chemical markers and in vitro antioxidant capacity of Brazilian purple grape juices. **Food Res Int**, v. 82, p. 145–155, 2016.

MADADIAN, E. et al. Grape pomace as an energy source for the food industry: A thermochemical and kinetic analysis. **Food and Bioproducts Processing**, v. 132, p. 177–187, 2022.

MATIC, P.; SABLJIC, M.; JAKOBEK, L. Validation of Spectrophotometric Methods for the Determination of Total Polyphenol and Total Flavonoid Content. **Journal of AOAC International**, v. 100, 1795–1803, 2017.

MEINI, M. R.; RICARDI, L. L.; ROMANINI, D. Novel Routes for Valorisation of Grape Pomace Through the Production of Bioactives by *Aspergillus niger*. **Waste Biomass Valor**, v. 11, p. 6047–6055, 2020.

MELLO, L. M. R.; MACHADO, C. A. E. Vitivinicultura brasileira: panorama 2021. **Comunicado Técnico 226**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e Vinho, 2022, 17p.

MEMAR, M. Y. et al. The grape seed extract: A natural antimicrobial agent against different pathogens. **Reviews of Medical Microbiology**, v. 30, p. 173–182, 2019.

MENDES, A. C.; PEDERSEN, G. A. Perspectives on sustainable food packaging: is bio-based plastics a solution. **Trends in Food Science and Technology**, v. 112, p. 839–846, 2021.

MENG, L. et al. How water acting as both blowing agent and plasticizer affect on starch-based foam. **Industrial Crops and Products**, v. 134, p. 43–49, 2019.

MOTAUNG, T. E.; LINGANISO, L. Z. Critical review on agrowaste cellulose applications for biopolymers. **International Journal of Plastics Technology**, v. 22, p. 185–216, 2018.

MORT, R. et al. Biobased foams for thermal insulation: Material selection, processing, modelling, and performance. **RSC Advances**, v. 11, n. 8, p. 4375–4394, 2021.

MUHLACK, R. A.; POTUMARTHI, R.; JEFFERY, D. W. Sustainable wineries through waste valorisation: A review of grape marc utilisation for value-added products. **Waste Management**, v. 72, p. 99–118, 2018.

NAKOV G, et al. Effect of grape pomace powder addition on chemical, nutritional and technological properties of cakes. **LWT**, v. 134, p.109- 115, 2020.



NEVORALORÁ, M. et al. Controlled biodegradability of functionalized thermoplastic starch based materials. **Polymer Degradation and Stability**, v. 170, 108995, 2019.

NUNES, M. A.; RODRIGUES, F.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Grape Processing By-Products as Active Ingredients for Cosmetic Proposes. [S. l.]: Elsevier Inc., 2017. E-book. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809870-7/00011-9>.

OLSZOWY, M.; DAWIDOWICZ, A. L. Is it possible to use the DPPH and ABTS methods for reliable estimation of antioxidant power of colored compounds. **Chemical Papers**, v. 72, n. 2, p. 393–400, 2018.

OTTO, S. et al. Food packaging and sustainability – Consumer perception vs. correlated scientific facts: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, p. 1-14, 2021.

PEIXOTO, C. M. et al. Grape pomace as a source of phenolic compounds and diverse bioactive properties. **Food Chemistry**, v. 253, p. 132–138, 2018.

PEDRAS, B. et al. Valorization of white wine grape pomace through application of subcritical water: Analysis of extraction, hydrolysis, and biological activity of the extracts obtained. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 128, p. 138–144, 2017.

PEDROZA, M. A. et al. Pre-bottling use of dehydrated waste grape skins to improve colour, phenolic and aroma composition of red wines. **Food Chemistry**, v.136, p. 224-236, 2013.

PENG, L.; ZHONGDONG, L.; KENNEDY, J. F. The study of starch nano-unit chains in the gelatinization process. **Carbohydrate Polymers**, v. 68, n. 2, p. 360–366, 2007.

PEZZINI, V. et al. Grape juice by-products extracted by ultrasound and microwave-assisted with different solvents: a rich chemical composition. **Food Science and Biotechnology**, v. 28, n. 3, p. 691–699, 2019.

PIERRE, A.C.; PAJONK, G.M. Chemistry of aerogel sand their applications. **Chem. Rev.** v. 102, n° 11, p. 4243-4265, 2002.

PORTA, R.; SABBAH, M.; DI PIERRO, P. Bio-Based Materials for Packaging. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 7, p. 10–14, 2022.

POSTINGHER, B. M. et al. Organic grape juice pomace as raw material for development of an antioxidant edible flour. **rLAS**, v. 1, n. 1, p. 33–47, 2016.

PRADO, J. M. et al. Obtaining sugars from coconut husk, defatted grape seed, and pressed palm fiber by hydrolysis with subcritical water. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 89, p. 89–98, 2014.

QIN, Y. et al. Development of active packaging film made from poly (lactic acid) incorporated essential oil. **Progress in Organic Coatings**, v. 103, p. 76–82, 2017.

RAINERO, G. et al. Breadstick fortification with red grape pomace: effect on nutritional, technological and sensory properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 6, p. 2545–2552, 2022.

RAOTA, C. S. et al. Green synthesis of silver nanoparticles using an extract of Ives cultivar (*Vitis labrusca*) pomace: Characterization and application in wastewater disinfection. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 5, p. 103-110, 2019.

RATNASOORIYA, C. C.; RUPASINGHE, H. P. V. Extraction of phenolic compounds from grapes and their pomace using  $\beta$ -cyclodextrin. **Food Chemistry**, v. 134, n. 2, p. 625–631, 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMA. **Resolução Consema nº372/2018**. Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. **Suco de Uva**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007, p. 45.

ROMANI, V. P.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C.; MARTINS, V. G. Active and sustainable materials from rice starch, fish protein and oregano essential oil for food packaging. **Industrial Crops and Products**, v. 97, p. 268–274, 2017.

RUFINO, M. S. M. et al. **Metodologia científica**: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007.

SALAMON, I. et al. Antiproliferative and Antimicrobial Activity of Anthocyanins from Berry Fruits after Their Isolation and Freeze-Drying. **Applied Sciences**, v. 11, 2096, 2021.

SALWA, H. N. et al. Green bio composites for food packaging. **International Journal of Recent Technology and Engineering**, v. 8, n. 2, Special Issue 4, p. 450–459, 2019.

SAMANI, S. A, et al. Valorization of red grape pomace for sustainable food packaging: Development of pectin/kidney bean protein based biocomposite films enriched with grape pomace polyphenols. **Food Hydrocolloids**, v.160, 2025.

SANCHEZ-SILVA, L. et al. Thermogravimetric-mass spectrometric analysis of lignocellulosic and marine biomass pyrolysis. **Bioresource Technology**, v. 109, p. 163–172, 2012.

SANTOS, N. S.; SILVA, M .R.; ALVES, J. L. Reinforcement of a biopolymer matrix by lignocellulosic agro-waste. **Procedia Engineering**, v. 200, p. 422-427, 2017.

SANTOS SILVA, M. E. et al. Microencapsulated phenolic-rich extract from juice processing grape pomace (*Vitis labrusca. Isabella Var*): Effects on oxidative stability of raw and pre-cooked bovine burger. **Food Bioscience**, v. 50, p. 1-12, 2022.

SANT'ANNA, V., et al. Análise multivariada do efeito de diferentes processos de secagem de bagaço de uvas de vinho sobre compostos bioativos e propriedades físico-químicas. **Revista Brasileira De Meio Ambiente e Sustentabilidade**, n.1(1), p. 84–106, 2021.

SHOGREN, R. L. et al. Structure and morphology of baked starch foams. **Polymer**, v. 39, n. 25, p. 6649–6655, 1998.

SHRESTHA, B, et al. In vitro antimicrobial effects of grape seed extract on peri-implantitis microflora in craniofacial implants. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 2, n. 10, p. 822-825, 2012.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 235 p.

SILVA, F. T. et al. Absorbent bioactive aerogels based on germinated wheat starch and grape skin extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 249, 126108, 2023.

SINGLETON, V.L.; ROSSI, J.A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.16, p. 144–158, 1965.

SIROHI, R. et al. Green processing and biotechnological potential of grape pomace: Current trends and opportunities for sustainable biorefinery. **Bioresource Technology**, v. 314, 123771, 2020.

SOUSSI, S. et al. Utilization of Grape Seed Flour for Antimicrobial Lipopeptide Production by *Bacillus amyloliquefaciens* C5 Strain. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 187, n. 4, p. 1460–1474, 2019.

SOUZA, A. C. et al. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **Lwt**, v. 54, n. 2, p. 346–352, 2013.

SOYKEABKAEW, N.; THANOMSILP, C.; SUWANTONG, O. A review: Starch-based composite foams. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 78, p. 246–263, 2015.

SPIGNO, G.; MARINONI, L.; GARRIDO, G. D. **State of the Art in Grape Processing By-Products**. Elsevier Inc, 2017. E-book.

SYAFIQ, R. et al. Antimicrobial activities of starch-based biopolymers and biocomposites incorporated with plant essential oils: A review. **Polymers**, v. 12, n. 10, p. 1–26, 2020.

TANAKA, M. et al. Design of biocompatible and biodegradable polymers based on intermediate water concept. **Polymer Journal**, v. 47, p. 114-121, 2015.

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, p. 257–271, 2022.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI T 204 cm-97**. Solvent extractives of wood and pulp. 2007.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY (TAPPI). **TAPPI T 222 om-02**. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 2002.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch - Composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151–165, 2004.

TOALDO, I. M. et al. Effect of grape seeds on the polyphenol bioactive content and elemental composition by ICP-MS of grape juices from *Vitis labrusca* L. **LWT - Food Science and Technology**, v. 53, n. 1, p. 1–8, 2013.

TONIETTO, J. et al. Condições meteorológicas e sua influência na safra vitícola de 2021 em regiões produtoras de vinhos finos do sul do Brasil. **Documentos 132**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2021, 28p.

VALENTE, M. et al. Investigation of grape marc combustion using thermogravimetric analysis. Kinetic modeling using an extended independent parallel reaction (EPR). **Fuel Processing Technology**, v. 131, p. 297-303, 2015.

VÁZQUEZ-OVANDO, A. et al. Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.). **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 168–173, 2009.

VENTURINI, FILHO, W.G. **Bebidas Não Alcoólicas**, Ciência e Tecnologia. 2. ed. – São Paulo: Blucher, 2018. 524 p.

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.

VERSINO, F.; LÓPEZ, O. V; GARCIA, M. A Sunflower Oil Industry By - product as Natural Filler of Biocomposite Foams for Packaging Applications. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, n. 6, p. 1869–1879, 2021.

WANG, c. et al. Biodegradable Active Packaging Material Containing Grape Seed Ethanol Extract and Corn Starch/ $\kappa$ -Carrageenan Composite Film. **Polymers** v. 14, 2022.

WOKADALA, O. C.; EMMAMBUX, N. M.; RAY, S. S. Inducing PLA / starch compatibility through butyl-etherification of waxy and high amylose starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 112, p. 216–224, 2014.

YALCIN, H. et al. Determination of fatty acid composition, volatile components, physico-chemical and bioactive properties of grape (*Vitis Vinifera*) seed and seed oil. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, p. 1–9, 2017.

YAMAGUCHI, T. et al. HPLC method for evaluation of the free radical-scavenging activity of foods by using 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl. **Biosci Biotechnol Biochem**, v. 62, p.1201-1204, 1998.

YAHYAOU, M. et al. Development of novel antimicrobial films based on poly(lactic acid) and essential oils. **Reactive and Functional Polymers**, v. 109, p. 1–8, 2016.

YAN, M. R.; HSIEH, S.; RICACHO, N. Innovative Food Packaging, Food Quality and Safety, and Consumer Perspectives2022. **Processes**, v.10, n. 4, p. 1-13, 2022.

YILDIRIM, S. et al. Active Packaging Applications for Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 1, p. 165–199, 2018.

YONG, H.; LIU, J. Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, p. 541- 550, 2020.

ZANINI, M. et al. Valorization of Wastes Generated in Organic Grape Processing. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.67, p, 2024.

ZUBAIR, M. et al. Microwave foaming of materials: An emerging field. **Polymers**, v. 12, n. 11, p. 1–39, 2020.