

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DOS ALIMENTOS**

**EFEITOS DO TEMPO, TEMPERATURA E INCIDÊNCIA DE LUZ NA
ESTABILIDADE DA COR E COMPOSTOS BIOATIVOS DURANTE O
ARMAZENAMENTO DO RESÍDUO SECO DE AMORA-PRETA**

Veronica Ballotin Baroni

Encantado
Novembro, 2023

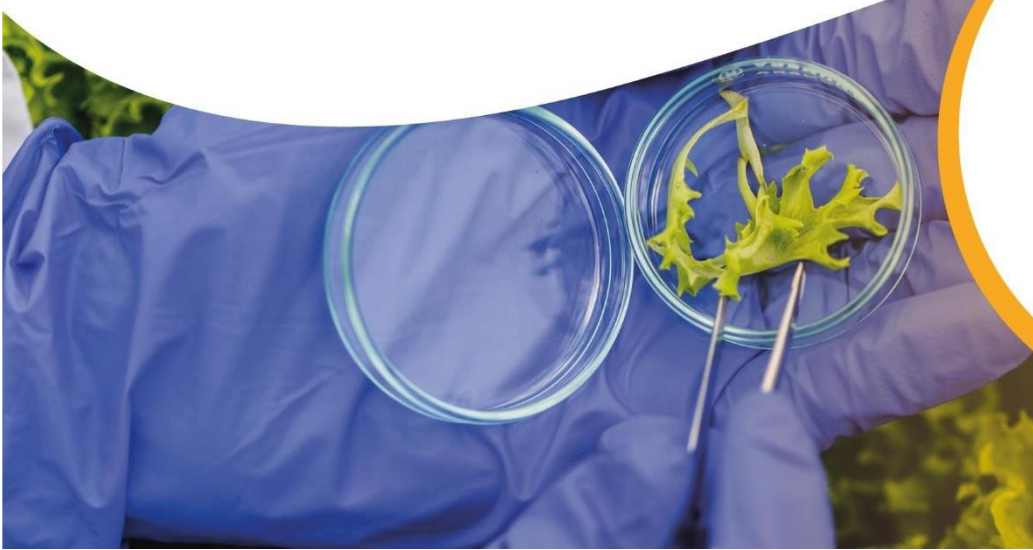


uergs

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

PPGCTA

Programa de Pós-Graduação em
Ciência e Tecnologia de Alimentos



VERONICA BALLOTIN BARONI

**EFEITOS DO TEMPO, TEMPERATURA E INCIDÊNCIA DE LUZ NA
ESTABILIDADE DA COR E COMPOSTOS BIOATIVOS DURANTE O
ARMAZENAMENTO DO RESÍDUO SECO DE AMORA-PRETA**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-graduação *Strictu
Sensu* em Ciência e Tecnologia dos
Alimentos, *Campus* Encantado -
UERGS, como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Bruna Klein Borges
de Moraes - UERGS

Co-orientadora: Prof.^a Caroline do
Amaral Friggi Rodrigues - IFRS

Banca examinadora

Documento assinado digitalmente



DENISE SANDE SANTOS OLIVEIRA

Data: 08/02/2024 00:57:58-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Denise Sande

Universidade Federal de Minas Gerais

Voltaire Sant' Anna

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Marc François Richter

Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Encantado

Novembro, 2023

Catálogo de publicação na fonte (CIP)

B266e Baroni, Veronica Ballotin

Efeitos do tempo, temperatura e incidência de luz na estabilidade da cor e compostos bioativos durante o armazenamento do resíduo seco de amora-preta/ Veronica Ballotin Baroni. – Encantado: Uergs, 2023.

108 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Unidade em Encantado, 2023.

Orientadora: Prof.^a Dra. Bruna Klein Borges de Moraes

Coorientadora: Prof.^a Dra. Caroline do Amaral Friggi Rodrigues

1. Compostos bioativos. 2. Desidratação. 3. Farinha. 4. Dissertação. I. Moraes, Bruna Klein Borges de. II. Rodrigues, Caroline do Amaral Friggi. III. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Unidade em Encantado, 2023. IV. Título.

Bibliotecário Marcelo Bresolin CRB 10/2136

*“Antes de me organizar, tenho que me desorganizar internamente
Para experimentar o primeiro e passageiro estado primário de liberdade
Da liberdade de errar, cair e levantar-me
Mas se eu esperar compreender para aceitar as coisas – nunca o ato de entrega
se fará
Tenho que dar o mergulho de uma só vez
Mergulho que abrange a compreensão e sobretudo a incompreensão
E quem sou eu para ousar pensar?
Devo é entregar-me
Como se faz?
Sei, porém, que só andando é que se sabe andar e – milagre – se anda.”*

Clarice Lispector – Água Viva

AGRADECIMENTOS

Eu sempre me recordo do dia que iniciei a graduação. Bom, em verdade, recordo antes do dia que fiz a minha matrícula na faculdade. Eu estava então com 30 anos de idade. Lembro de ter recebido a grade curricular do primeiro semestre. Surpresa! Eu estava matrícula em oito disciplinas!!!! Como assim? Oito? Não, não era isso. Eu ia fazer no máximo três! Eu tinha filhos pequenos, uma entrando na adolescência, um ainda criança... Como eu iria ficar tarde e noite fora de casa? Fiz a matrícula e voltei pra casa chorando. Se eu declinasse da matrícula em oito disciplinas, eu perderia a vaga – norma federal das instituições públicas – primeiro semestre integral. Ora!!! Eu tinha esperado tanto por isso. Desde o ensino fundamental a continuidade dos estudos estava na minha cabeça. Aos quinze anos estava morando sozinha, fazendo ensino médio, trabalhando, cuidando de mim. Aos dezessete anos engravidei, em seguida casei. Dificuldades financeiras, sonho de estudo deixado de lado, adormecido. Então eu segui. Trabalhei, cuidei dos meus filhos, do meu marido, da minha casa. Até que chegou o momento. Fiz o Enem.

Oportunidade de cursar a graduação pública, escolher um curso na instituição pública mais próxima – Tecnologia em Alimentos. Fiz a inscrição. Passei. Matrícula. Início das aulas. Primeiro dia – química orgânica – professor uruguaio. Além de não ver orgânica há treze anos – um professor ensinando com português estranho. Não, a aluna que esperou tanto não iria desistir por isso. Biblioteca – livros do ensino médio – revisão - aí vou eu! E fui. Segui a graduação. Ótima aluna. Notas altas. Dedicada. Afinal esperei tanto. Iniciação científica. Projetos. Monitorias. Formada - 36 anos. Logo, concursada – IFFAR/Alegrete – técnica em alimentos e laticínios. Putz, 500km longe da família. Dezoito horas de ônibus todo fim de semana para estar perto deles – filhos e marido. Passou um ano. Redistribuição. Voltei como servidora à instituição que me formou – IFRS/BG. Duas especializações. Parte de uma licenciatura - química. Nunca parei. Chegou a hora do mestrado. Incrível que o medo anterior sempre me rondou em todas as etapas. Será que sou capaz? Será que consigo? Bem, parece que sim. Assim como diz Clarice Lispector: devo é entregar-me e só andando é que se sabe andar. É isso. Eu sigo. E, claro, as pessoas que me cercam estão comigo nestas andanças – e o vinho que me acompanha sempre, paixão tatuada. E não posso esquecer dos meus livros, das minhas leituras. Estas que me acompanham mesmo nos momentos mais turbulentos. Meus livros me rondam, me cercam – sempre estão comigo – espalhados pela casa, no carro, no trabalho. Fuga? Talvez. Mas com eles aprendo e me inspiro, e talvez me entregue. Agora, chega de poesia e lenga-lenga.

Agradeço imensamente à UERGS pela oportunidade, a minha orientadora Bruna, sempre disposta, simpática e afetuosa. À instituição que hoje trabalho e que me formou – IFRS/BG e que igualmente oportunizou realizar todo meu trabalho de mestrado. Aos meus colegas Daiane, Orlando, Erasmo e Fernando, por apoiarem meu afastamento. À professora Karina da UFRB, que esteve realizando seu pós doutorado no IFRS enquanto eu executava meu mestrado – me deu muito apoio e oportunizou minha participação na sua pesquisa. A minha família por entender minha ausência e por apoiar as minhas maluquices de nunca parar de estudar – já matriculada em outra graduação da UFRGS, hahaha. E, sobretudo, agradeço ao professor Marc e à professora Jussara, ambos da UERGS e à professora Denise, da UFMG, em aceitar o convite para compor a minha banca.

Despeço-me com a sensação de dever cumprido – por ora!

RESUMO

Na indústria, a saudabilidade e a aparência dos alimentos são fatores primordiais a serem considerados no desenvolvimento de novos produtos. A saudabilidade engloba os compostos nutricionais, fundamentais para um desenvolvimento físico saudável, mas também os chamados compostos bioativos, que auxiliam na prevenção de doenças crônicas não-transmissíveis. Já a aparência está diretamente ligada aos sentidos humanos, sendo a cor um dos atributos visuais mais explorados, associado diretamente a determinados alimentos. Além destes dois fatores enunciados, uma preocupação crescente em todos os setores é a sustentabilidade, sendo a questão ambiental e a economia circular, pontos chave na fabricação de produtos e também de atenção dos consumidores. Ao beneficiar matérias-primas alimentares, muitas vezes obtêm-se, além do produto de interesse, um subproduto/resíduo. Este subproduto que ora é descartado, pode ser melhor explorado e transformado em outro produto de interesse à indústria. Especificamente as amoras-pretas, bagas ricas em compostos bioativos e com coloração intensa, ao submetê-las ao despulpamento, obtêm-se além da polpa, um resíduo, composto de casca, talos e sementes. Assim, este trabalho propôs estudar a aplicação de um tratamento inicial deste subproduto, a desidratação, estudando inicialmente seu comportamento cinético em diferentes temperaturas de secagem e caracterização físico-química, com aplicação de modelos matemáticos empíricos e semiempíricos. Posteriormente, aplicou-se uma das temperaturas de secagem e submeteu-se a farinha obtida, após tecnologias simples de moagem, a diferentes condições de armazenamento: ausência de luz e temperatura ambiente; ausência de luz e refrigeração; incidência de luz e temperatura ambiente; incidência de luz e refrigeração. Estas condições foram avaliadas durante quatro meses, analisando-se a farinha, a cada duas semanas, através das variáveis dependentes de: cor, capacidade antioxidante, conteúdo de flavonoides e de antocianinas, pH e acidez. Ambas as aplicações apresentaram dados de rendimento do processo. Cada variável dependente foi avaliada estatisticamente, de forma individual, aplicando-se a regressão polinomial. Os resultados obtidos para o resíduo seco e após os quatro meses de armazenamento foram analisados com auxílio do software *Statistica* versão 10 através de Análise de Variância (ANOVA), sendo que a comparação das médias foi realizada pelo teste de *Tukey* com diferença mínima significativa de 5%. O produto gerado – resíduo seco do despulpamento da amora-preta ou farinha de resíduo de amora-preta – embora tenha perdido algumas propriedades e apresentado modificações ao longo do tempo de armazenamento, principalmente nas condições com incidência de luz, demonstrou ser uma forma viável de aproveitamento integral dos alimentos, gerando novos produtos com tecnologias fáceis de replicar, com características interessantes de cor e propriedades funcionais.

Palavras-chave: subproduto; desidratação; cor; compostos bioativos; farinha; armazenamento.

ABSTRACT

In industry, the healthiness and appearance of food are key factors to be considered in the development of new products. Healthiness encompasses nutritional compounds, fundamental for healthy physical development, but also so-called bioactive compounds, which help in the prevention of chronic non-communicable diseases. Appearance is directly linked to the human senses, with color being one of the most explored visual attributes, being directly associated with certain foods. In addition to these two factors mentioned, a growing concern in all sectors is sustainability, with environmental issues and the circular economy being key points in the manufacture of products and also in consumer attention. When processing food raw materials, a by-product/residue is often obtained, in addition to the product of interest. This by-product, which is now discarded, can be better explored and transformed into another product of interest to the industry. Specifically blackberries, berries rich in bioactive compounds and with intense color, when subjected to pulping, in addition to the pulp, a residue is obtained, made up of peel, stalks and seeds. Thus, this work proposed to study the application of an initial treatment of this by-product, dehydration, initially studying its kinetic behavior at different drying temperatures and physical-chemical characterization, with the application of empirical and semi-empirical mathematical models. Subsequently, one of the drying temperatures was applied and the flour obtained, after simple milling technologies, was subjected to different storage conditions: absence of light and room temperature; lack of light and refrigeration; incidence of light and ambient temperature; incidence of light and refrigeration. These conditions were evaluated for four months, analyzing the flour every two weeks, using the dependent variables of: color, antioxidant capacity, flavonoid and anthocyanin content, pH and acidity. Both applications presented process yield data. Each dependent variable was statistically evaluated individually, applying polynomial regression. The results obtained for the dry residue and after four months of storage were analyzed with the aid of the Statistica software version 10 through Analysis of Variance (ANOVA), and the comparison of means was carried out using the Tukey test with a minimum significant difference of 5 %. The product generated – dry residue from blackberry pulping or blackberry residue flour – although it has lost some properties and presented changes over the storage time, especially in conditions with incidence of light, has demonstrated to be a viable form of full use of food, generating new products with technologies that are easy to replicate, with interesting characteristics of color and nutritional properties.

Key-words: by-product; dehydration; color; bioactive compounds; flour; storage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Amoreira	14
Figura 2. Amoras em diversos estágios de maturação e ainda apresentando flores.	15
Figura 3. Amora visualmente pronta para colheita	15
Figura 4. Estrutura básica dos flavonoides.....	19
Figura 5. Variação de cores das antocianinas em relação pH.....	20
Figura 6. Estrutura química das antocianinas.....	21

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.2	Objetivos.....	13
1.2.1	Objetivo geral.....	13
1.2.2	Objetivos específicos.....	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1	Cultivo e características da amora-preta cv <i>Tupy</i>	13
2.2	A cor como atributo sensorial.....	15
2.3	Compostos bioativos.....	16
2.4	Compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas.....	18
2.4.1	Características.....	18
2.4.2	Estabilidade das antocianinas e processamento.....	21
2.4.3	Benefícios à saúde.....	26
2.5	Secagem.....	28
3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	29
	Artigo 1.....	31
	Artigo 2.....	76
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122
	REFERÊNCIAS.....	123

1 INTRODUÇÃO

Os consumidores manifestam uma forte preferência por produtos de aparência mais atrativa. Dentro disto, o atributo cor é economicamente tão importante que deu origem a uma ciência e a toda uma linha de equipamentos para conseguir medições objetivas, com estudos e metodologias destinadas a melhoria da qualidade global do alimento, entregando esta qualidade ao melhor sensor: o homem. Sendo assim, a cor é uma das características sensoriais de importância em alimentos, tendo uma grande relevância no processo de escolha dos consumidores, estando fortemente interligada com outros aspectos, como sabor e aroma (GONZÁLES; VICENTE, 2007).

A qualidade de um alimento, bem como a aceitação deste pelo consumidor, engloba diversos fatores, dentre eles, o aspecto sensorial, o qual compreende muitas características, como sabor, aroma, textura e aparência. Quando se trata da aparência, a visão é o sentido que dará esta informação ao consumidor, sendo que as principais informações obtidas pela visão são o estado, o tamanho, a forma, a textura e a cor. Assim, o impacto visual é uma ferramenta importante na indústria para tornar o alimento mais atrativo. A percepção da cor acontece através de estímulos de diferentes comprimentos de onda da luz, caracterizadas pela saturação, tonalidade e intensidade, sendo também resultado produzido no cérebro pelo estímulo recebido quando a energia radiante penetra nos olhos, permitindo a distinção do verde, do azul, do vermelho e demais cores. Assim, a aceitação do alimento pelo consumidor está intrinsecamente ligada à sua cor (DUTCOSKY, 2011).

Alguns processos na indústria promovem perdas ou mudanças significativas na coloração dos alimentos. Em determinados processos, esta mudança é desejável, já em outros, não. Os corantes são utilizados nas indústrias de alimentos com a intenção de conferir, padronizar e mesmo intensificar a aparência, devido a estas perdas durante o processamento e durante a vida útil do produto.

Frente a isto, nos processos de fabricação, as indústrias de alimentos podem adicionar diversos aditivos, dentre eles, os corantes. Segundo a Portaria 540/97 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde - SVS/MS, aditivo é qualquer ingrediente adicionado intencionalmente aos alimentos com o objetivo de modificar suas características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante sua fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação, sem o propósito de nutrir. A mesma

portaria define corante como substância que confere, intensifica ou restaura a cor de um alimento (BRASIL, 1997). A referida Portaria é complementada pela Resolução da Diretoria Colegiada - RDC 239/2018 (BRASIL, 2018), que dispõe sobre o uso de corantes em suplementos alimentares e pela RDC 466/2021 (BRASIL, 2021), que dispõe sobre os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso na produção de alimentos e ingredientes na função de solventes de extração e processamento.

Em relação aos corantes, estes podem ser sintéticos ou naturais. Dos naturais, as antocianinas e os carotenoides são a maior classe de substâncias coloridas do reino vegetal. Estão distribuídas em flores, frutos e plantas. As antocianinas pertencem ao grupo de compostos orgânicos denominados de flavonoides e são capazes de absorver fortemente a luz na região do espectro visível, conferindo diversas cores (KOBLOITZ, 2015).

Ao longo de muitos anos, a indústria utilizou e ainda utiliza, corantes sintéticos, que são considerados aditivos alimentares e que, portanto, possuem limites de dosagens. Já os corantes naturais compõem uma alternativa frente à tendência de produtos *clean label*¹ e quando obtidos de resíduos agroindustriais, tornam-se produtos *eco-friendly*², principalmente quando aliados a processos de extração sem utilização de solventes tóxicos. Assim, a obtenção de pigmentos naturais para uso como corantes naturais é hoje uma área de pesquisa emergente, valorizando os resíduos, agregando valor aos produtos, dando uma abordagem sustentável e atendendo às demandas da indústria (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020; SHAHID; ISLAM; MOHAMMAD, 2013).

Os alimentos, em seu estado natural, possuem cores distintas, que os diferenciam e que estão associados ao seu grau de amadurecimento, como no caso de frutas, legumes e grãos. Quando as matérias-primas são submetidas aos processos de fabricação, podem modificar suas características naturais, em decorrência de processos físicos, químicos e microbiológicos. Destaca-se que, em

¹ *Clean-label*: significa a busca pelo rótulo 'limpo', tem como princípio norteador a elaboração ou a reformulação de alimentos, por meio da substituição de ingredientes pouco familiares aos consumidores, denominados por termos técnicos de difícil compreensão e que, transmitem percepção de serem artificiais e menos seguros e saudáveis, por ingredientes que usam termos mais familiares ao consumidor e que sejam ou pareçam mais naturais e saudáveis (BRASIL, 2020).

² *Eco-friendly*: produtos considerados ecológicos e sustentáveis, com o mínimo de prejuízo relativamente ao meio ambiente (NAVALHA, 2019).

muitos casos, a modificação da cor pode ser esperada e desejada, como na torrefação do café (BARROS; BARROS, 2010).

A mudança nos hábitos alimentares dos consumidores, preocupados com a saudabilidade, têm aumentado significativamente, com forte adesão de produtos sustentáveis e que tragam algo para além da simples ingestão do alimento em si. Para além disto, a pressão do mercado provocada por mudanças na legislação, exigiram alimentos formulados com ingredientes naturais. Neste ponto, o uso de pigmentos naturais para corantes alimentícios está em constante crescimento e evolução, estando associados à qualidade e promoção da saúde (SHAHID; ISLAM; MOHAMMAD, 2013).

Corantes e extratos que colorem, obtidos, tratados e/ou isolados a partir de alimentos ou seus subprodutos, são fontes de compostos bioativos, em especial, quando são de fontes vegetais. Os metabólitos secundários dos vegetais são compostos produzidos pela planta frente a situações adversas. Muitos destes compostos estão presentes nas cascas dos frutos, os quais, muitas vezes, são desprezados pela indústria (LACHNO *et al.*, 2019; PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

A extração de corantes das plantas é dependente das características do composto que se deseja extrair, se polar ou apolar, por exemplo. No caso das antocianinas, são compostos bioativos de plantas, com características polares, solúveis em água e em álcoois e sensíveis ao calor. Podem ter coloração rósea, vermelha, violeta ou azul, dependendo da sua origem química e posição das unidades de glicosídeo e grupos acilo ligados a aglicona. Sua coloração pode mudar dependendo das condições ácidas ou básicas do meio. Para além da coloração, as antocianinas apresentam propriedades funcionais, associadas à redução do risco de desenvolvimento de doenças crônicas não-transmissíveis, a exemplo das doenças coronarianas e carcinogênicas (BATTINO; FORBES-HERNANDEZ; GIAMPIERI, 2021; TEIXEIRA; STRINGUETA; OLIVEIRA, 2008).

As tendências apontam para a exploração de compostos bioativos com funcionalidades diversas, na perspectiva de melhoria da saúde e também de funcionalidades tecnológicas dos produtos, especificamente, colorir alimentos. Portanto, é importante conhecer novas fontes destes compostos e novos métodos de extração, que interfiram pouco na capacidade antioxidante da substância (OKOLIE *et al.*, 2019).

As limitações do uso de corantes naturais pela indústria de alimentos são a falta de estabilidade da sua cor. As antocianinas modificam sua coloração em razão do potencial hidrogeniônico (pH) do meio em que se encontram, como já informado, porém, outros fatores também influenciam, como concentração das antocianinas, tipo de solvente, temperatura, estrutura do pigmento, presença de substâncias capazes de reagir reversível ou irreversivelmente com o pigmento (VAGIRI; JENSEN, 2017).

Como os consumidores têm buscado cada vez mais produtos naturais, em busca de uma alimentação saudável, livre de produtos que possam causar toxicidade e que possuam compostos biologicamente ativos, torna-se necessário estudos que busquem conhecer fontes de corantes naturais, antioxidantes e sustentáveis. Para serem considerados naturais, as substâncias precisam seguir três critérios: existir na natureza; possuir matéria-prima natural e ter extração livre de reagentes. Desta forma, para além dos corantes, existe outra categoria de produtos que colorem, que são os alimentos que conferem cor. Seguindo esta linha, pode-se dizer que alimentos podem ser coloridos com outros alimentos e não aditivos (SILVA *et al.*, 2014).

Nesta tendência, a crescente preferência dos consumidores por pigmentos naturais, benéficos à saúde, torna-se imprescindível estudos que viabilizem o uso destes de forma segura e tecnologicamente aplicável, pois um dos grandes problemas é a sua baixa estabilidade e alto custo comparado aos pigmentos sintéticos. Utilizando resíduos de processamento de frutas, após processos tecnológicos adequados, pode-se obter um produto de cor intensa, dependendo da matéria-prima utilizada.

Na preparação de polpas de frutas, são gerados resíduos, que muitas vezes não são utilizados, causando desperdício de um produto com potencial de uso. O resíduo do despulpamento da amora-preta *Tupy (Rubus spp)*, basicamente composto de sementes e cascas, possui coloração que varia do vermelho intenso ao bordô, rico em compostos bioativos, como os flavonoides. Desta forma, o uso deste resíduo como potencial alimento para colorir e somando a isto, nutrir, é uma alternativa viável e que merece ser melhor pesquisada e estudada. Para além disso, as antocianinas podem prevenir a oxidação de lipídeos e proteínas em alimentos processados (SHIOZER; BARATA, 2007 *apud* VILJANEN *et al.*, 2014).

O estudo da potencialidade e viabilidade dos resíduos da indústria de alimentos como ingrediente é uma alternativa sustentável, pois minimiza impactos ambientais e, para além disso, são alternativas tecnológicas de alto valor agregado, visto que podem

acrescentar diversas características desejáveis em variados tipos de alimentos, como cor, nutrientes e não-nutrientes, também denominados de compostos bioativos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Estudar a estabilidade do resíduo seco do despulpamento da amora-preta *Tupy*, após processos tecnológicos adequados, em diferentes meios, para seu potencial uso como ingrediente alimentar para colorir e fornecer compostos bioativos funcionais a outros alimentos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar os sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável do resíduo fresco;
- Desidratar o resíduo utilizando diferentes temperaturas de secagem;
- Determinar a composição centesimal do resíduo fresco e desidratado;
- Determinar a quantidade de antocianinas totais e flavonoides totais do resíduo fresco e desidratado nas diferentes temperaturas de secagem;
- Determinar o pH e a acidez total titulável do resíduo desidratado;
- Avaliar a estabilidade da coloração, dos compostos bioativos e da atividade antioxidante do resíduo desidratado e armazenado em diferentes temperaturas e na incidência e ausência de luz.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cultivo e características da amora-preta cv. *Tupy*

O cultivo da amora-preta, assim como de outras pequenas frutas, em especial as frutas vermelhas, tem tido um interesse crescente por parte dos produtores de muitas regiões do Brasil. Em sua grande maioria, são pequenos agricultores, que agregam renda com o plantio da amora, intercalado com outras culturas. Outra característica comum é a não utilização de agroquímicos (PAGOT *et al.*, 2007).

A espécie amora-preta cv. *Tupy*, a mais cultivada no Brasil, é resultado do cruzamento entre as cultivares Uruguai x Comanche, apresenta porte ereto, com espinhos, produz frutos grandes de 8 a 10 g de massa média, teor de sólidos solúveis entre 8º e 9º Brix, com coloração preta e uniforme. É a opção mais viável de cultivo, pois apresenta bom equilíbrio entre sólidos solúveis e acidez, própria para o consumo como fruta fresca e até mesmo para o processamento (TULLIO; AYUB, 2013; SOUZA, 2013).

Em relação ao clima, as amoras são cultivadas desde regiões com invernos amenos até regiões com frios extremos. Quanto à exposição solar, deve-se buscar a orientação norte-sul, por proporcionar maior quantidade de radiação solar, fator importante para o desenvolvimento e a sanidade do pomar. É uma planta exigente em frio, sendo que seus aspectos fisiológicos podem variar de ano para ano em função das condições climáticas. A sua produção ocorre em ramos novos. Enquanto alguns ramos estão frutificando, outras hastes emergem e crescem, renovando o material para a próxima safra (SOUZA, 2013).

A colheita ocorre de outubro a janeiro, e assim, não há oferta do fruto fresco durante o ano todo, o que leva à necessidade de processamento, seja ele mínimo, como um congelamento ou mesmo máximo, como em geleias, polpas ou pastas. As Figuras 1, 2 e 3 apresentam registros da amora-preta *Tupy* em época de colheita, localizadas na Estação Experimental do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, no distrito de Tuiuty, Bento Gonçalves/RS.



Figura 1. Amoreira localizada na Estação Experimental em Tuiuty/Bento Gonçalves.
Imagem do autor.



Figura 2. Amoras em diversos estágios de maturação e ainda apresentando flores.
Imagem do autor.

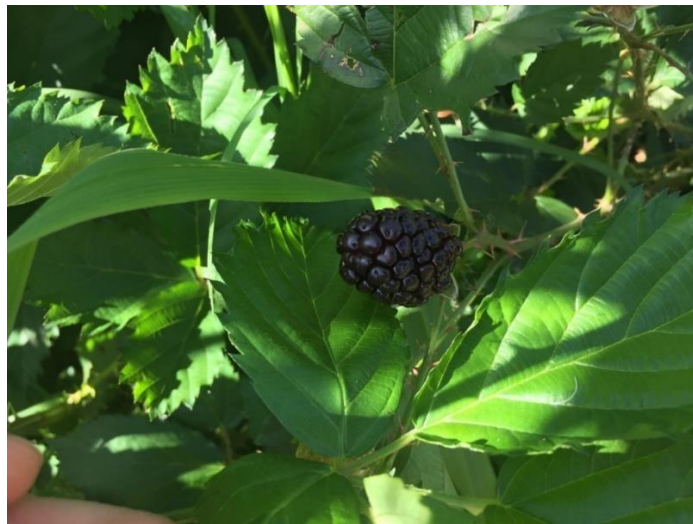


Figura 3. Amora-preta visualmente pronta para colheita.
Imagem do autor.

2.2 A cor como atributo sensorial

A cor refere-se à percepção humana de materiais coloridos. Os alimentos têm cor em face de sua capacidade de reflexão ou emissão de diferentes quantidades de energia em comprimentos de onda capazes de excitar as retinas dos olhos. A faixa visível de energia a que o olho é sensível é chamada de luz visível. Esta luz visível, dependendo da sensibilidade da pessoa, compreende comprimentos de onda de aproximadamente 380 nm a 770 nm, que representa uma porção muito pequena de

espectro eletromagnético, sendo caracterizadas por (DAMODARAN; PARKIN ,2018; DUTCOSKY, 2011):

- Saturação: profundidade da cor;
- Tonalidade: a cor efetiva;
- Intensidade: brilho.

A cor e a aparência são atributos essenciais para a qualidade dos alimentos, devido à capacidade humana de perceber com facilidade estes fatores, sendo os primeiros atributos a serem avaliados pelos consumidores. Mesmo fornecendo alimentos seguros, nutritivos e econômicos, se não forem atraentes, a aquisição não ocorrerá. O consumidor também relaciona cores específicas à qualidade dos alimentos, como no caso do amadurecimento de frutas (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

A cor também influencia na percepção do sabor, visto que o comprador espera sabores em determinadas cores de alimentos, sendo que o impacto da percepção da doçura também possui relação com a cor.

2.3 Compostos bioativos

Os compostos bioativos são substâncias consideradas não nutrientes, que fazem parte de uma dieta saudável e trazem benefícios à saúde, modulando o metabolismo na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis e aumentando a imunidade contra doenças infecciosas. Já o termo alimento funcional refere-se àquele alimento que contém um ou mais compostos bioativos presentes em seu conteúdo, com impactos positivos na saúde, consumido normalmente como alimento, possuindo ação metabólica ou fisiológica específica no organismo humano (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

Cabe aqui diferenciar o composto bioativo – não nutriente do nutriente. O nutriente é toda substância química consumida normalmente como componente de um alimento, que proporcione energia, que seja necessária ao crescimento, o desenvolvimento e a manutenção da saúde e da vida, cuja carência resulte em mudanças químicas ou fisiológicas características. Já o não-nutriente ou composto bioativo não possui níveis estabelecidos de baixa ingestão porque o baixo consumo não acarreta necessariamente alguma carência ao organismo. Assim, enquanto os nutrientes têm função no organismo, os compostos bioativos têm ação de modular

positivamente algumas funções no organismo, otimizando-as (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

Os compostos bioativos podem ter origem animal ou vegetal. Em relação aos de origem vegetal, as células e tecidos das plantas possuem pigmentos naturais que podem conferir ou não cor, sendo que estes pigmentos são os compostos bioativos. Os compostos bioativos, oriundos de vegetais, são metabólitos secundários gerados como mecanismo de defesa contra herbívoros, microrganismos patogênicos e radiação ultravioleta, diferenciando-se dos metabólitos primários, os quais estão relacionados ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas (SALGADO, 2017; DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Muitos compostos responsáveis pelas cores brilhantes de frutas e vegetais apresentam ação antioxidante. A cor das antocianinas e das antocianidinas (que são as antocianinas sem molécula de açúcar na sua estrutura), compostos bioativos presentes em vegetais, resultam da excitação de uma molécula pela luz visível. A facilidade com a qual uma molécula é excitada, depende da mobilidade eletrônica relativa da estrutura. As ligações duplas são excitadas com muita facilidade, sendo que sua presença é essencial na cor. O aumento da tonalidade é o resultado de uma mudança batocrômica – maior comprimento de onda -, o que significa que a banda de absorção da luz na faixa de espectro visível muda de um comprimento de onda pequeno para um grande, com alteração consequente da cor, de laranja/vermelho para roxo/azul (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Já a mudança oposta é denominada de hipsocrômica. No caso do efeito batocrômico, sua causa é advinda dos grupos auxocromos, que não possuem propriedades de cromóforo, mas que causam o aumento da tonalidade quando ligados à molécula. Os auxocromos são grupos de doadores de elétrons, que no caso das antocianidinas, são os grupos metoxi e hidroxila. O grupo metoxi, devido a sua ampla capacidade de doar elétrons, causam mais mudança batocrômica que os grupos hidroxila (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Nas antocianinas, o tipo e número da substituição de açúcares e da acilação também desempenham fator importante sobre as características da cor, tal como outros fatores: mudança de pH, formação de complexos metálicos e copigmentação. Neste sentido, as antocianinas são corantes vermelhos naturais interessantes devido à sua propriedade de coloração atraente, alta atividade antioxidante e efeitos

potenciais à saúde, fatores altamente exigidos nos mercados funcionais e naturais, sendo assim mais seguros no uso como corantes (DEYLAMI *et al.*, 2016).

Nos alimentos, a ação antioxidante presente nestes compostos possui ação de atrasar ou inibir a oxidação de determinado substrato de maneira eficaz. São substâncias presentes nos alimentos ou são a eles adicionados para impedir o início da oxidação de componentes alimentares via mecanismo dos radicais livres ou interromper a propagação destas reações em cadeia (WENZEL, 2012). Já em sistemas biológicos a ação do antioxidante atua sobre o desequilíbrio entre a produção e a remoção de radicais livres, ou seja, o estresse oxidativo, causado por fatores internos do próprio organismo humano (inerentes aos processos biológicos) ou fatores externos, como poluição, produtos químicos, radiação, dentre outros (SANDE; FABRINI; SOUZA, 2018; SALGADO, 2017).

2.4 Compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas

2.4.1 Características

Os compostos fenólicos são antioxidantes naturais, amplamente distribuídos em frutas e outros vegetais, caracterizados por uma grande diversidade estrutural. Têm características aromáticas e possuem ao menos uma hidroxila, o que lhe confere a capacidade antioxidante. Quanto mais hidroxilas, maior esta capacidade (maior o grau de hidroxilação). Todas as classes de fenólicos apresentam os requisitos estruturais de sequestrante de radical livre (SRL), variando a atividade pelo grau de hidroxilação, polaridade, solubilidade, potencial de redução, estabilidade do fenólico a operações de processamento e estabilidade do radical fenólico. Os níveis de fenólicos podem variar em função da maturidade da planta, do tipo de tecido, das condições de crescimento, da idade pós-colheita e das condições de armazenamento. Os polifenóis estão presentes nos vegetais na forma não glicosilada ou como glicosídeos associados ou não a vários ácidos orgânicos ou moléculas polimerizadas complexas de alto peso molecular (KAMMERER *et al.*, 2014; SALGADO, 2017; DAMODARAN; PARKIN, 2018; PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

Os antioxidantes, por sua vez, presentes na constituição dos alimentos, podem ser classificados segundo o seu mecanismo de ação, em primários ou secundários. Os primários atuam obstruindo a cadeia da reação por meio da doação de elétrons

aos radicais livres, ao tempo que os secundários atuam na complexação com metais, sequestro de oxigênio, decomposição de hidroperóxidos para formar espécie não radical, absorção da radiação ultravioleta ou desativação de oxigênio *singlet*. Os antioxidantes podem ser sintéticos, estes largamente utilizados pela indústria alimentícia, ou naturais, fazendo parte da constituição de alimentos. A atividade antioxidante está inversamente relacionada com seu potencial de oxidação. Em resumo, são capazes de aumentar a vida útil, melhorar a cor e o sabor e preservar a qualidade dos macronutrientes (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019; SALGADO, 2017; SINOPOLIY; CALOJERO; BARTOLOTTAY, 2019; CARDOSO *et al.*, 2021).

Dentro do grupo dos compostos fenólicos, está a classe dos flavonoides - a classe mais comum dentro deste grupo. Compreendem as flavanonas, flavanonóis, flavan-3-ol, flavan-3,4-diois, antocianinas, flavonas, flavanóis, isoflavonas, chalconas e auronas. Produto do metabolismo secundário das plantas, responsáveis por funções que englobam desde a regulação de enzimas metabólicas até a defesa contra insetos. São encontrados em sua maioria nos vacúolos das células, mas também em cromoplastos e cloroplastos. Em seres humanos e animais eles não são sintetizados, necessitando serem consumidos como parte da dieta (SALGADO, 2017; DAMODARAN; PARKIN, 2018; KAMMERER *et al.*, 2014).

Os flavonoides são substâncias com 15 átomos de carbono em sua estrutura básica, divididos em dois anéis aromáticos, que são ligados por três átomos de carbono e um heterocíclico oxigenado (Figura 4). A biossíntese ocorre no citosol, por meio de complexos mecanismos metabólicos. Os diferentes flavonoides diferem quanto ao arranjo das hidroxilas, metoxilas ou grupos glicosídeos e quanto à ligação dos anéis A e B. Sendo as diferentes substituições no anel C, promotora da divisão destes compostos em subclasses (SALGADO, 2017).

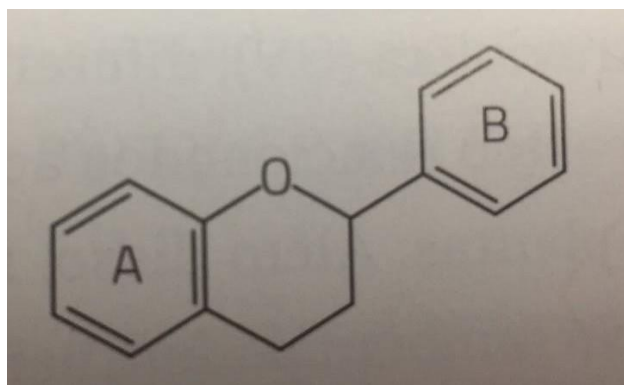


Figura 4. Estrutura básica dos flavonoides.
Fonte: SALGADO, 2017.

Além das diferenças estruturais, os flavonoides, em seus distintos subgrupos, diferem-se também quanto à biodisponibilidade, a estabilidade e as funções fisiológicas relacionadas à saúde humana (SALGADO, 2017).

Em relação ao conteúdo de flavonoides em frutas vermelhas, as chamadas 'berries', os flavonoides antocianídicos são os pigmentos mais encontrados. As antocianinas são compostos fenólicos bioativos hidrossolúveis, responsáveis pela coloração vermelha, azul, púrpura, rosa, malva e violeta dos alimentos. A variação das cores e formas é dependente do pH – potencial hidrogeniônico e quanto mais forte a coloração do fruto, maior o teor de antocianinas. Em meio ácido, encontram-se na forma de sais de oxônio e geralmente apresentam cor vermelho-brilhante. Com o aumento do pH, apresentam estrutura quinoidal e cor púrpura e em meio alcalino, sua cor é azul. A Figura 5 ilustra esta codependência. Nos frutos que possuem antocianinas na casca, a síntese destes pigmentos é dependente da intensidade e qualidade da luz, sendo controlada também pela temperatura, pois o declínio ou o aumento progressivo da temperatura podem reduzir a capacidade de formação (KOBLOITZ, 2015; PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019; SALGADO, 2017).



Figura 5. Variação de cores das antocianinas em relação pH.
Fonte: própria.

A palavra antocianina deriva de duas palavras gregas: *anthos* (flor) e *kyanos* (azul). São encontradas na forma de glicosídeos, facilmente hidrolisados por aquecimento em meio ácido, resultando em açúcares e aglicona. Elas diferem no número de grupos hidroxila e/ou nos grupos metoxi presentes, tipos, números, sítios de ligação dos açúcares na molécula e tipos e números de ácidos alifáticos ou aromáticos que estão ligados aos açúcares da molécula - glicosilação (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019; SALGADO, 2017).

Os açúcares mais comuns são glicose, ramnose, galactose, arabinose, xilose, di e trissacarídeos (homogêneos e heterogêneos) formados como glicosídeos desses

açúcares. As principais antocianinas presentes em frutas são cianidina, pelargonidina, delfinidina, malvidina e peonidina. A diferenciação se dá principalmente pelo número de hidroxilas no anel B (Figura 6) e, logo, no poder antioxidante do composto (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019; SALGADO, 2017).

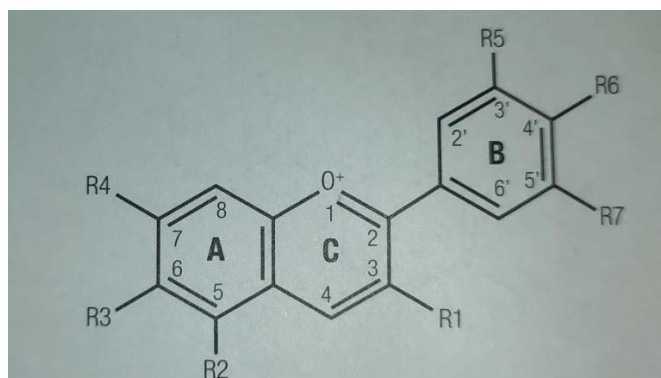


Figura 6. Estrutura química das antocianinas.

Fonte: PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019.

Em relação ao açúcar da antocianina, quando da ocorrência de hidrólise, que tem como produto a aglicona, a antocianina passa a ser chamada de antocianidina. Existem 19 antocianidinas de ocorrência natural, mas apenas seis costumam ocorrer nos alimentos (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

2.4.2 Estabilidade das antocianinas e processamento

A cor determina a vida útil de diversos alimentos e afeta muito a aceitação do produto pelo consumidor, exercendo, assim, uma função mercadológica importante. Os pigmentos de ocorrência natural em tecidos vegetais são os que são formados a partir de células vivas, sendo muito instáveis depois de extraídos de suas fontes. A manutenção da cor natural dos alimentos representa uma dificuldade, visto que o processamento e a estocagem resultam em degradação e mudanças na coloração. Produtos desidratados são mais estáveis, porém, deve-se ter em mente que o processo de secagem e armazenamento do material seco podem acompanhar perdas de componentes valiosos. O conhecimento acerca da química das antocianinas deve ser usado para que se minimize a degradação por meio da seleção adequada de processos e pigmentos antociânicos específicos para as aplicações pretendidas (AZEREDO, 2012; DAMODARAN; PARKIN, 2018; KAMMERER *et al.*, 2014).

Sendo assim, controlar a estabilidade de compostos bioativos, durante o processamento e o armazenamento, é um desafio. Sendo os flavonoides importantes na qualidade sensorial, nutricional e funcional de frutas e vegetais, conferindo-lhes cor, adstringência, aroma e estabilidade oxidativa, alterações e modificações no conteúdo podem provocar consequências indesejáveis nos produtos. Considerando o processamento de alimentos, a exposição dos compostos ao binômio tempo *versus* temperatura pode acarretar em perdas sensoriais e nutricionais significativas (SALGADO, 2017).

Os tecidos biológicos a partir dos quais os alimentos são obtidos contêm vários sistemas antioxidantes endógenos. As operações de processamento de alimentos podem remover antioxidantes ou causar estresse oxidativo, superando os sistemas antioxidantes endógenos do alimento. Desta forma, é comum que se incorpore proteção antioxidante adicional a alimentos processados. Os mecanismos antioxidantes dos compostos que são usados para aumentar a estabilidade oxidativa de alimentos incluem o controle de radicais livres, pró-oxidantes e intermediários da oxidação (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Em relação às antocianinas, sua estabilidade é altamente dependente do pH, sendo mais estáveis a baixo pH. A perda gradativa da cor vermelha com o crescente na alcalinidade, deriva de um equilíbrio entre duas formas da antocianina: o cátion *flavinium* (vermelho) e a pseudo-base carbitol (incolor), que é a forma hidratada do pigmento. Neste caso, a presença de um ou mais grupos acila na molécula de antocianina, inibe a hidrólise do cátion, resultando em pigmentos menos sensíveis às mudanças de pH, mantendo a coloração mesmo em níveis menos acidificados (AZEREDO, 2012; LOPES, 2007; WENZEL, 2012).

Dito isto, as antocianinas são pigmentos relativamente instáveis. As características de cor (tonalidade e saturação) e de sua estabilidade são muito influenciadas pelos substitutos na aglicona. A natureza e o número de açúcares ligados às moléculas também têm amplo efeito sobre a estabilidade dos pigmentos. Este comportamento se explica pelo fato de as moléculas de açúcar evitarem a degradação de intermediários instáveis. O aumento da glicosilação, como nos monoglicosídeos e dos diglicosídeos, aumenta a estabilidade, bem como o tipo de açúcar do meio. Antocianinas de amora que contém galactose são mais estáveis durante o armazenamento que as que contém arabinose, por exemplo (DAMODARAN; PARKIN, 2018; WENZEL, 2012).

Assim, tanto a glicosilação quanto a acilação são fatores críticos que influenciam a estabilidade das antocianinas, bem como os seus espectros de absorção.

A degradação das antocianinas acontece ainda na extração a partir dos tecidos vegetais, além do processamento e do seu armazenamento posterior. Os principais fatores que regem a degradação são o pH, como já explicado, mas também a temperatura e a concentração de oxigênio, sendo as enzimas deteriorantes e outros elementos, fatores de menor importância. Antocianinas possuem mais força corante em pH igual a 1,0, principalmente se estão na forma ionizada (DAMODARAN; PARKIN, 2018; AZEREDO, 2012).

Em relação às embalagens, durante a estocagem, as antocianinas podem sofrer degradação devido a presença de metais, como Fe^{+3} e Al^{+3} , que formam complexos escuros com os pigmentos. Porém a presença de metais e degradação está interligada a valores de pH, que podem tanto auxiliar na manutenção da cor como na perda. Sendo assim, deve-se evitar embalagens metálicas ou então revesti-las com vernizes, minimizando a interação ou então conhecer a origem do composto e os valores de pH ideais na manutenção da cor. A proteção em relação ao oxigênio, proporcionadas pela embalagem, também é fator relevante, visto que a estrutura insaturada das antocianinas a torna suscetível ao oxigênio molecular. Já a utilização de nitrogênio em substituição ao oxigênio pode aumentar a estabilidade. Em todos os valores de pH, a presença de oxigênio é um fator significativo na degradação de antocianinas, mesmo na ausência de luz (AZEREDO, 2012; DAMODARAN; PARKIN, 2018; LOPES *et al.*, 2007; WENZEL, 2012).

Existe um mecanismo de estabilização da cor chamado copigmentação, onde os pigmentos e copigmentos formam associações moleculares, gerando alteração na intensidade de cor. Os copigmentos são ricos em elétrons com alta afinidade por íons *flavinium* (reação de hidratação do cátion) que são pobres em elétrons. Esta associação protege as antocianinas de ataques nucleofílicos. A interação dos pigmentos com as antocianinas produz efeitos hiper-crômicos (aumento na intensidade da cor) e deslocamento batocrômico no espectro de absorção, ou seja, um deslocamento no comprimento máximo de absorção. Os copigmentos podem ser alcaloides, aminoácidos, ácidos orgânicos, nucleotídeos, polissacarídeos, metais e outros flavonoides não-antociânicos. Um copigmento sozinho é geralmente incolor, porém quando adicionado a uma solução de antocianina, aumenta consideravelmente

a cor desta solução (AZEREDO, 2012; LOPES *et al*, 2007; FALCÃO *et al*, 2003; BČAKOWSKA; KUCHARSKA; OSZMIAN'SKI, 2003).

A copigmentação tem potencial em projetar novas combinações de pigmento e copigmentos com cores estáveis e afinadas. As copigmentações podem ocorrer de forma intramolecular, quando o copigmento está covalentemente ligado ao cromóforo, ou intermolecular, quando a interação é entre moléculas diferentes não ligadas covalentemente, onde as ligações de hidrogênio e as interações hidrofóbicas levam à formação de um complexo 1:1 (SINOPOLIY; CALOJERO; BARTOLOTTAY, 2019).

Em alimentos processados, a presença de múltiplos antioxidantes (uso de outros fitoquímicos como copigmentos, por exemplo) aumenta a estabilidade oxidativa do produto devido às interações entre eles. O sinergismo é usado para descrever estas interações. Para que esta sinergia ocorra, o efeito das combinações deve ser maior que a soma dos antioxidantes individuais (DAMODARAN; PARKIN, 2018; LOPES *et al.*, 2007).

Em relação a luz, esta acelera a degradação das antocianinas, demonstrado em estudos em relação a sucos e vinhos, mas esta condição é fortemente influenciada com as interações do composto e seu meio. A combinação com copigmentos e outras substâncias, podem tanto auxiliar na fotoproteção, como podem prejudicar, bem como valores de pH, dependendo da origem vegetal das antocianinas. Kammener *et al.* (2014) relatam que a luz pode diminuir consideravelmente o conteúdo de compostos fenólicos totais durante o armazenamento, tanto em temperaturas de refrigeração, quanto ambientais (DAMODARAN; PARKIN, 2018; LOPES *et al.*, 2007).

Estudos evidenciaram a estabilidade das antocianinas em soluções com copigmentos, em pH de 2,5, 3,5 e 4,5, sob aquecimento, radiação ultravioleta (UV) e armazenamento por 3 meses. Foram utilizadas substâncias conhecidas como quercetina 5-O-ácido sulfônico, sal de sódio de morina-5-O-sulfônico, rutina, quercetina, ácido clorogênico e ácido tânico, as quais foram comparadas a flavonoides desconhecidos preparados de raízes de *Scutellaria baicalensis Georgi*. Este último apresentou os melhores resultados em todas as condições empregadas, inclusive inibindo a influência da degradação da UV, aumentando a absorvância a 525nm, especialmente em pH 3,5 (BČAKOWSKA; KUCHARSKA; OSZMIAN'SKI, 2003).

A estabilidade das antocianinas frente à temperatura é influenciada pela medida de acilação. Ao passo que se submete a solução de antocianinas a uma temperatura superior a ambiente - 25° C - a sua degradação é maior, mesmo quando

complexadas com ácidos, sendo a degradação ainda maior quando se aumenta o pH. As características estruturais que conduzem ao aumento de estabilidade do pH levam igualmente ao aumento da estabilidade térmica. Desta forma, autores sugerem a aplicação de antocianinas como corantes alimentares em alimentos com pH inferiores a 3,0, já que a complexação com ácidos leva a maior estabilidade, sendo o meio ácido, uma forma de manter a coloração desejada no alimento (LOPES *et al.*, 2007; DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Em temperatura constante, a degradação das antocianinas segue uma cinética de primeira ordem, ou seja, a velocidade duplica à medida que a concentração de um reagente dobra. Esta reação segue a equação $C_t = C_o \cdot \exp(-k \cdot t)$. Sendo assim, conhecendo-se a constante cinética da reação, pode-se determinar o tempo de meia vida através da seguinte equação $t_{1/2} = -\ln 0,5 / k$ (GALVÃO *et al.*, 2016; BASTIANI *et al.*, 2020).

Uma substância bastante relatada como prejudicial à estabilidade de antocianinas é o ácido ascórbico. Esta substância e seus produtos de degradação, como ácido de hidro-ascórbico, peróxido de hidrogênio, furfural e 5-hidroximetilfurfural são conhecidos por acelerar a degradação em vários produtos. A ação do peróxido de hidrogênio que se forma durante a oxidação do ácido ascórbico leva a instabilidade da antocianina, já que esta é sensível ao oxigênio molecular. Esta reação pode ser acelerada pela presença de cobre, porém inibida pela presença de outros flavonoides, como quercetina (ERTAN; TURKYILMAZ; OZKAN, 2020; DAMODARAN; PARKIN, 2018).

2.4.3 Benefícios à saúde

O papel dos metabólitos secundários das plantas nos alimentos e seus efeitos potenciais na saúde humana está em rápido e constante crescimento. Com consumidores cada vez mais conscientes dos problemas de saúde relacionados à dieta, com exigências em ingredientes naturais seguros e promotores da saúde. Além de contribuir muito para as propriedades antioxidantes dos alimentos, existe um interesse considerável nos efeitos positivos destes compostos na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (GÓMEZ; MIÑANO; ROCA, 2006; SHIEBER; STINTZUNG; CARLE, 2001).

É largamente aceito que os compostos bioativos à base de plantas têm funções fundamentais na manutenção do bem-estar humano, com estudos centrados na bioacessibilidade, transporte e interação com outros nutrientes da dieta humana. As espécies reativas de oxigênio (ROS) são constantemente geradas *in vivo* para fins fisiológicos e frequentemente superproduzidas em condições patológicas que resultam em estresse oxidativo. Frente a isto, os antioxidantes contidos naturalmente nos alimentos ou adicionados, podem contribuir para diminuição das consequências negativas dos radicais livres, para além dos antioxidantes endógenos produzidos naturalmente pelo organismo humano, neutralizando o estresse oxidativo e/ou inflamação, na população em geral ou grupos específicos (GÓMEZ; MIÑANO; ROCA, 2006; BATTINO; FORBES-HERNANDEZ; GIAMPIERI, 2021; BASTOS; ROGERO; ARÊAS, 2009; CARDOSO *et al.*, 2021; WENZEL, 2012).

Os efeitos imunomoduladores, anti-inflamatórios e antioxidantes são os mais estudados, abrangendo diversos tipos de compostos bioativos, nas mais variadas fontes vegetais e animais. Estudos de sistemas específicos de processamento, técnicas de armazenamento e encapsulamento, presença de outros nutrientes, podem melhorar a estabilidade e a biodisponibilidade dos flavonoides, incluindo antocianinas e, portanto, suas atividades biológicas (BATTINO; FORBES-HERNANDEZ; GIAMPIERI, 2021).

Cabe ressaltar que as propriedades biológicas dos flavonoides são influenciadas não somente pela concentração e natureza química, mas também pela biodisponibilidade, uma vez que a quantidade de compostos bioativos presente nos alimentos não reflete essencialmente a quantidade absorvida e metabolizada pelo organismo. Os flavonoides de uma forma geral não apresentam uma boa biodisponibilidade, atingindo valores de absorção no plasma inferiores a 10% da quantidade consumida após algumas horas. Diversos fatores influenciam, dentre eles, os constituintes nutricionais do alimento (SALGADO, 2017; SHARMAA *et al.*, 2021).

A absorção dos flavonoides também é influenciada pela ligação com açúcares, assim sendo, as formas glicosiladas são mais lentamente absorvidas, uma vez que cabe ao organismo a conversão para forma de aglicona por mecanismos de deglicosilação por enzimas. Neste caso, as antocianinas seriam melhor absorvidas do que as antocianidinas. A microbiota do cólon desempenha importante papel nessa conversão. Os flavonoides, além de fornecer esta atividade antioxidante diretamente, em virtude da sua estrutura química, é capaz de estimular a atividade de enzimas

antioxidantes endógenas, como o superóxido dismutase, a glutathione peroxidase e a catalase e inibir as atividades de enzimas pró-oxidantes, tais como ciclo-oxigenase, lipoxigenase e xantina oxidase. Esta ação protege as partículas de LDL - *Low-density lipoprotein*, atuando na prevenção contra a aterosclerose (SALGADO, 2017; CARDOSO; LEITE; PELUZIO, 2011).

Um estudo recente de revisão sistemática, relacionando especificamente os benefícios do consumo de alimentos contendo antocianinas, apresentou diversas pesquisas do uso deste composto na prevenção e tratamento de inúmeras doenças, as quais: aterosclerose, doença isquêmica, disfunção endotelial, doença neurodegenerativa como o Alzheimer, a neurotoxicidade, a doença de Huntington, diabetes *mellitus*, a cardiomiopatia diabética, doenças cancerígenas e doenças pulmonares, com mecanismos de proteção, redução, modulação celular e ativação de vias (GOMES *et al.*, 2022).

As vias de mecanismos utilizados pelas antocianinas na prevenção ou tratamento de doenças variam conforme a doença estudada. No caso da aterosclerose, o mecanismo foi de proteção, evitando a adesão dos monócitos às células endoteliais e a interação entre os monócitos e a monocamada endotelial. Já na doença isquêmica, o composto bioativo se liga ao citocromo C, reduzindo-o rapidamente e impedindo o início dos processos que levam à doença. Na diabetes *mellitus*, a antocianina ofereceu uma proteção contra a lipólise, impedindo a quebra dos triglicerídeos e evitando o desenvolvimento da hiperlipidemia que piora a resistência à insulina dos tecidos periféricos durante os quadros de hiperglicemia (GOMES *et al.*, 2022; PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

Em relação a carcinogênese, as antocianinas estão envolvidas nas ações antioxidantes, com estímulo à expressão das enzimas hepáticas, inibição da proliferação, indução do apoptose e da diferenciação celular, diminuição da expressão de metaloproteases e ação antiangiogênica. Os processos mutagênicos que promovem o desenvolvimento do câncer podem ser desencadeados por diversos fatores, dentre eles a exposição a mutagênicos químicos, como o corante de anilina, com combinação de fatores genéticos, além dos ambientais. Sendo, portanto, o corante sintético um destes desencadeadores de processos nocivos, desta forma, a substituição nos alimentos por corantes naturais ou alimento que colorem, é uma alternativa promissora e promotora da saúde, atrelada a segurança ambiental –

pigmentos biodegradáveis, eco compatíveis e renováveis, também denominados de química verde (STOETERAU, 2019; MANZOOR *et al.*, 2021).

Sendo assim, o consumo de alimentos contendo compostos bioativos ajuda a proteger as células de danos que podem levar ao câncer, estimulando o sistema imune, bloqueando possíveis carcinógenos, reduzindo inflamação, diminuindo a taxa de crescimento das células cancerosas, impulsionando as enzimas de fase de detoxificação e aumentando a apoptose de células danificadas (STOETERAU, 2019; SINOPOLIY; CALOGERO; BARTOLOTTAY, 2019).

Existem ainda outras atividades atribuídas às antocianinas, como antivirais, antialérgicas, antibacterianas e anti-hemorrágicas. É fundamental considerar ainda o efeito sinérgico entre os nutrientes e fitoquímicos contidos nos alimentos, principais responsáveis pelos benefícios oferecidos pelos alimentos de origem vegetal ao organismo humano. Importante salientar que muitos estudos são desenvolvidos com compostos isolados e com experimentos *in vitro* e em células animais (STOETERAU, 2019).

2.5 Secagem

A secagem ou desidratação é um tratamento térmico de conservação aplicado aos alimentos, com diversas finalidades, incluindo efeitos desejáveis na qualidade sensorial. A conservação, neste caso, se dá principalmente pela redução controlada da umidade e consequente inibição do crescimento e desenvolvimento de microrganismos, bem como da atividade enzimática. Contudo, a aplicação de calor pode reduzir a atividade de componentes nutricionais e a qualidade visual do alimento (OPAS, 2019).

Uma vantagem deste método é a redução no peso e no volume do alimento, diminuindo os custos de transporte e armazenamento. Destaca-se que para alguns tipos de alimento, a desidratação oferece um produto conveniente para o consumidor ou ingredientes mais facilmente manuseados para os processadores de alimentos.

Dois importantes critérios de qualidade de alimentos desidratados são a capacidade de reidratação e mínimas alterações nas características sensoriais do produto. Isso constitui grande desafio tecnológico, já que os níveis de umidade muito baixos, requeridos para se atingir boa estabilidade, dificilmente são obtidos com

poucas alterações dos alimentos, sendo um desafio tecnológico (OPAS, 2019; AZEREDO, 2012).

Fisicamente, a forma de energia térmica transferida neste processo se dá por convecção, condução ou radiação, dependendo do equipamento e processos utilizados. Todos os produtos sofrem mudanças durante a secagem, que reduzem a sua qualidade quando comparada com a do produto fresco. O objetivo de melhorar as tecnologias de secagem é minimizar essas mudanças e maximizar a eficiência do processo (OPAS, 2019).

As principais alterações nos alimentos desidratados são na textura e perdas no sabor ou aroma, mas as mudanças na cor e no valor nutricional são também significativas em alguns alimentos. A água que é removida de um alimento durante a desidratação não pode ser recolocada da mesma forma quando o alimento é reidratado. A secagem provoca mudanças na estrutura do alimento e assim, portanto, modifica a capacidade de retenção de água. Então, o grau de reidratação pode ser utilizado como um indicativo da qualidade. Os alimentos que são desidratados em condições ótimas sofrem menos danos e reidratam-se mais rapidamente e de uma forma mais completa do que os desidratados em condições não adequadas. Portanto, deve-se ter cuidado com a formação de *case hardening* – película dura e impermeável na superfície do produto (AZEREDO, 2012; DAMODARAN; PARKIN, 2018).

3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em três (3) partes, onde primeiramente se apresentou os objetivos do trabalho e um estudo teórico referencial sobre o assunto, abrangendo os seguintes temas:

- cultivo do fruto da amoreira;
- a cor nos alimentos;
- os compostos bioativos: estrutura, estabilidade no processamento e armazenamento, benefícios à saúde;
- métodos tecnológicos de processamento: desidratação e/ou secagem convectiva.

Em seguida é apresentada a construção de um artigo, referente ao estudo da secagem convectiva do resíduo do despulpamento da amora-preta em três temperaturas distintas, analisando-se a cinética de secagem com modelos

matemáticos e caracterizando a farinha obtida em cada temperatura de secagem, com amoras-pretas da safra de 2021. Este artigo apresenta-se com a formatação da Revista Semina.

Por último um artigo referente ao estudo da secagem do resíduo do despulpamento da amora-preta na temperatura de 65° C, analisando-se a sua estabilidade durante o armazenamento por quatro (4) meses em diferentes condições, com amoras-pretas da safra de 2022.

Análise cinética e modelos matemáticos aplicados à desidratação do resíduo fresco do despulpamento da amora-preta *Tupy* e qualidade nutricional da farinha obtida

Kinect analysis and mathematical models applied to dehydration of fresh waste of pulping of *Tupy* blackberry and nutritional quality of the flour obtained

Highlights

O modelo matemático de Page foi o que melhor se ajustou à curva cinética de secagem do resíduo.

A análise quantitativa de compostos bioativos da farinha foi significativa, principalmente de flavonoides totais.

A farinha do resíduo do despulpamento da amora é um potencial ingrediente para outros alimentos, contribuindo com o desenvolvimento sustentável, além de contribuir com a segurança alimentar e nutricional.

Resumo

O processamento industrial de frutas e vegetais geram subprodutos que são naturalmente descartados. Contudo, atualmente, estes subprodutos têm despertado o interesse de pesquisadores e diversos estudos têm analisado estes resíduos, com diferentes tratamentos, para posteriores usos como valiosos alimentos e ingredientes, contendo compostos altamente nutritivos, vitaminas, minerais, fibras e metabólitos secundários que conferem pigmentação de interesse da indústria. No intuito de valorizar e agregar valor ao resíduo do despulpamento da amora-preta *Tupy*, bem como, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), esta pesquisa estudou o comportamento da secagem do resíduo e alguns de seus parâmetros nutricionais. Os resíduos foram obtidos após despulpamento dos frutos, sendo posteriormente submetidos à secagem convectiva em desidratador com ventilação, em temperaturas de 45° C, 55° C e 65° C até massa constante. Após foram triturados e tamizados, tendo as sementes isoladas da farinha. A análise da cinética da secagem foi realizada pelo estudo da razão de umidade (adimensional) e as curvas de razão de umidade em função do tempo de secagem, sendo empregados os modelos matemáticos empíricos e semiempíricos de: Page, Peleg, Aproximação da Difusão, Wang e Sing, Lewis, Midilli *et al.* e Weibull. A farinha obtida em cada secagem

foi submetida às análises de compostos antociânicos e flavonoídicos, potencial hidrogeniônico (pH) e acidez em porcentagem de ácido orgânico. Os resultados demonstraram que o modelo matemático que mais se adequou a secagem foi o de Page, com ótimos índices de coeficiente de determinação – R^2 e Erro Relativo Médio (MRE). Contudo, outros modelos aplicados também obtiveram ótimos valores de R^2 e MRE. Os resultados de compostos bioativos variaram entre 2649,64 – 45° C e 2783,26 – 65° C para flavonoides e 160,89 mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo – 55° C e 219,50 mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo – 45° C. Para o pH os valores variaram entre 2,94 a 3,01 e acidez 9,15% a 9,45% de ácido orgânico, ambos aumentando à medida do aumento da temperatura de secagem. O aproveitamento dos resíduos vegetais visando a elaboração de farinhas, representa excelente alternativa para o aproveitamento de um material que seria descartado. Ao tratar adequadamente estes resíduos, garante-se seu uso posterior como alimento seguro e natural, com valor potencial de uso.

Palavras-chave: compostos bioativos; farinha; secagem; temperatura.

Abstract

The industrial processing of fruits and vegetables generates by-products that are naturally discarded. However, at the moment, these byproducts have aroused the interest of researchers and several studies have analyzed these residues, with different treatments, for further uses as valuable foods and ingredients, containing highly nutritious compounds, vitamins, minerals, fiber and secondary metabolites that provide pigmentation of interest to the industry. In order to enhance and add value to the residue from pulping Tupy blackberries, as well as, in line with the Sustainable Development Goals (SDG), this research studied the drying behavior of the residue and some of its nutritional parameters. The residues were obtained after pulping the fruits, being subsequently subjected to convective drying in a dehydrator with ventilation, at temperatures of 45° C, 55° C and 65° C until constant mass. Afterwards, they were crushed and sieved, with the seeds isolated from the flour. The analysis of drying kinetics was carried out by studying the moisture ratio (dimensionless) and the moisture ratio curves as a function of drying time, using the empirical and semi-empirical mathematical models of: Page, Peleg, Diffusion Approximation, Wang and Sing, Lewis, Midilli *et al.* and Weibull. The flour obtained from each drying was

subjected to analysis of anthocyanin and flavonoid compounds, hydrogenion potential (pH) and acidity in percentage of organic acid. The results demonstrated that the mathematical model that best suited drying was that of Page, with excellent Coefficient of Determination indices – R^2 and Mean Relative Error (MRE). However, other applied models also proved to be predictive, with excellent R^2 and MRE values. The results for bioactive compounds varied between 2649.64 – 45° C and 2783.26 – 65° C for flavonoids and 160.89 mg 100 g⁻¹ of cyanidin 3-glucoside – 55° C and 219.50 mg 100 g⁻¹ of cyanidin 3 -glucoside – 45° C. For pH, values ranged from 2.94 to 3.01 and acidity from 9.15 to 9.45, both increasing as the drying temperature increased. The use of vegetable residues for the production of flour represents an excellent alternative for using material that would otherwise be discarded. By properly treating these wastes, their subsequent use as safe and natural food, with potential use value, is guaranteed.

Key-words: bioactive compounds; flour; drying; temperature.

Introdução

A agroindústria processadora de polpa de frutas gera inúmeros resíduos, como cascas, talos e sementes, os quais são, muitas vezes, desperdiçados. O *campus* Bento Gonçalves, do Instituto Federal do Rio Grande do Sul - IFRS, produz em média, anualmente, 150 kg de amora-preta *Tupy*. Este quantitativo é processado pela Agroindústria do *Campus* para obtenção de polpa, sendo que o resíduo produzido é descartado. Segundo Sande et al. (2018), 'Esses resíduos gerados a partir do desperdício geram impactos ambientais, econômicos e de ordem nutricional para o país e para o mundo'. Entretanto, podem ser utilizados como ingredientes para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Estes resíduos gerados possuem nutrientes e baixo teor calórico, pelo elevado teor de fibras presentes em sua composição, além de compostos bioativos, minerais e vitaminas. Para além da nutrição, muitos destes coprodutos têm se destacado na produção de corantes alimentares, por ser uma rica fonte de antocianinas (VAGINI & JENSEN, 2017). Somado a isto, estas partes não convencionais de frutas e hortaliças são frequentemente descartadas de maneira inadequada, gerando preocupação com relação às questões ambientais (FEITOSA et al., 2019).

Os subprodutos da indústria, gerados durante o processo produtivo, podem ter um relevante aproveitamento econômico, desde que tratados adequadamente, mantendo sua qualidade nutricional e aplicabilidade, com agregação de valor. Além disto, a popularidade dos produtos à base de plantas aumentou consideravelmente nos últimos anos. Neste sentido, a elaboração de farinhas a partir da utilização de resíduos de frutas, representa uma excelente alternativa para o aproveitamento de um material que seria descartado, já que estes resíduos podem ser aplicados na produção de outros produtos como biscoitos, bolos, pães e doces (GUIMARÃES et al., 2023; NOGUEROL et al., 2021). McClements & McClements (2023) em uma importante revisão acerca dos alimentos de origem vegetal, em comparação com os de origem animal, destacou a diferença potencial de ambos em relação a composição nutracêutica dos vegetais, visto seus fitoquímicos terem relação estreita com modulações epigenéticas positivas no organismo humano.

Os pigmentos naturais, encontrados nestes alimentos, podem contribuir substancialmente para o desenvolvimento de alimentos funcionais, contribuindo ainda com uma Economia Circular, com valorização e reciclagem de materiais residuais (SHARMA et al., 2021; KANDEMIR et al., 2022). O conceito social de utilização cíclica também tem estimulado a extração, purificação e isolamento destes compostos, contudo, é um processo caro, de baixo rendimento, com uso de substâncias químicas/reagentes, e que ainda produz outros resíduos, os quais possuem compostos nutritivos, que são descartados, mas que em conjunto com os compostos de interesse extraídos, formava um produto de alto valor agregado (ZHAO et al., 2020).

Desta forma, a desidratação dos resíduos, com redução do teor de água, através da evaporação, é uma alternativa de preservação de todos os compostos nutritivos, concentrando-os, estabilizando o produto, com desfavorecendo à multiplicação de microrganismos. Nesta linha, têm-se a utilização de temperaturas mais baixas que a temperatura de ebulição do líquido que se pretende retirar do material sólido (GERARDI et al., 2022). Contudo, mesmo com temperaturas mais baixas, alguns efeitos podem ocorrer ao longo do tempo de secagem, devido às mudanças químicas e físicas no material a ser seco. A textura, o valor nutricional, a cor e o *flavor* (sabor e aroma) podem ser modificados por reações de escurecimento enzimático e não-enzimático, oxidação de vitaminas e degradação de pigmentos (SANTANA e SILVA et al., 2021).

Do mesmo modo, existem diversas vantagens neste tipo de tratamento, como a redução de peso e volume e o prolongamento da vida de prateleira, tomando-se os devidos cuidados com seu armazenamento, além de ser um produto seguro ao consumidor. As principais variáveis envolvidas no processo de secagem são a temperatura, o tempo e o conteúdo de umidade do alimento (SOZZI et al., 2021). Assim, o controle do processo, através das curvas cinéticas e da sua taxa de secagem, é crítico para a qualidade do produto final, pois se trata de um fenômeno complexo, o qual envolve transferência de calor e massa, com sua difusividade efetiva variando conforme a mudança das condições aplicadas e a energia de ativação (SILVA et al., 2020).

Em relação a especificidade do objeto de estudo, amoras, estas são ricas fontes de compostos fenólicos e podem ser consumidas cruas, minimamente processadas ou como alimentos processados em sucos, vinhos, chás, geleias, dentre outros. Neste sentido, quando processadas para produção de polpa, gera-se um resíduo com qualidade nutricional significativa, que varia na sua quantidade e qualidade a depender do método de obtenção empregado. Estudos já relataram a presença de quantidades significativas de ácidos fenólicos (gálico e cafeico), quercetina (flavonol) e antocianinas, além dos estudos positivos com referência aos efeitos na prevenção de doenças cardiovasculares e tipos específicos de câncer (KANDEMIR et al., 2022).

Assim, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), na busca pelo alcance da segurança alimentar e da melhoria da nutrição (enriquecimento de produtos alimentícios), promovendo uma agricultura sustentável, considerando todos os agentes envolvidos na produção de alimentos e o uso dos recursos desde a plantação até o processamento agroindustrial (alternativa ao descarte, evitando desperdício), estudou-se o tratamento térmico da desidratação do resíduo fresco do despulpamento da amora preta *Tupy* e parâmetros nutricionais qualitativos e quantitativos, na busca de um aproveitamento integral do alimento e valorização do produto descarte deste processo.

Material e Métodos

Amostras

O Instituto Federal do Rio Grande do Sul - IFRS, *campus* Bento Gonçalves, no local chamado Estação Experimental, na localidade de Tuiuty, possui produção anual de amora-preta da espécie *Tupy*. A colheita das amoras inicia no mês de outubro, se estendendo até o mês de dezembro. A coleta é realizada diariamente, com imediato congelamento dos frutos em câmara fria a -18° C.

As amoras são então transportadas até as dependências da Seção de Agroindústria do *campus*, onde são armazenadas em câmaras na mesma temperatura, até o seu processamento. Para esta pesquisa, foram utilizadas 90,35 Kg de amora -preta safra 2021 de matéria-prima inicial.

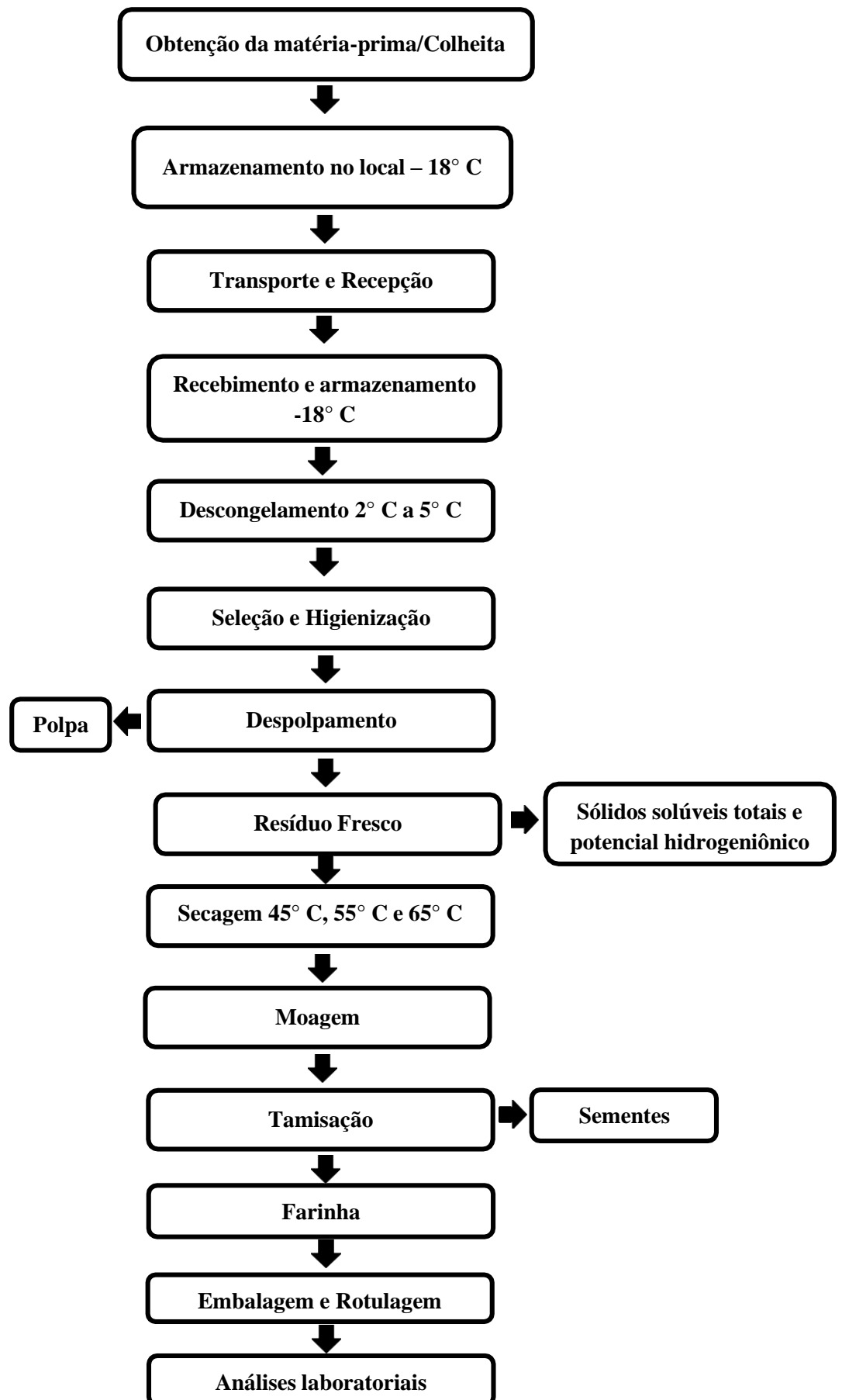
Descrição das etapas de processamento e análises laboratoriais

A Figura 1 apresenta o fluxograma com as etapas de processamento para obtenção da polpa de amora e do resíduo fresco, bem como o processo de secagem do resíduo. Inicialmente as amoras foram descongeladas lentamente em câmara fria com temperaturas oscilando entre 2° C a 5° C. Estando descongeladas, foram higienizadas com lavagem em água corrente e selecionadas, descartando folhas e frutos machucados. Após a etapa de seleção, foram sanitizadas em solução clorada a 100 ppm por 15 minutos, sendo novamente lavadas em água após este período.

Em seguida, as amoras foram despulpadas no equipamento Despulpadeira Horizontal Dois Estágios, de aço inoxidável AISI 204 polido e acabamento sanitário, marca Cianox. Durante o processo foram coletados os resíduos dos dois estágios do despulpamento, o qual foi reservado para a secagem e aferido os sólidos solúveis totais em $^{\circ}$ Brix. Sendo a polpa armazenada para a produção rotineira da Agroindústria.

O resíduo fresco deste processo foi armazenado em sacos plásticos, envoltos em papel alumínio e mantidos sob congelamento à -18° C, em porções de aproximadamente 1,5 Kg até o seu tratamento. Após descongelamento do resíduo sob refrigeração, foram realizadas secagens em três temperaturas distintas (45° C, 55° C e 65° C) em desidratador a gás Modelo PD25, ventilação com potência de 15 wats, dimensões 580 cm x 700 cm x 750 cm, com dez prateleiras de área $1,0$ m² cada,

marca Meloni. O resíduo foi disposto em bandejas de alumínio (dimensões 0,0266 m²), previamente perfuradas, totalizando dez bandejas com aproximadamente 200 g de resíduo cada uma, para cada temperatura de secagem, que foram dispostas nas prateleiras, sendo feito rodízio a cada pesagem. A secagem foi realizada até massa constante, sendo as bandejas pesadas a cada uma hora, em balança semianalítica, com precisão de 0,01 g, marca AAKER. Após a secagem, foi feita a moagem em liquidificador industrial de alta rotação, de inox, marca Metvisa, com capacidade de 6 (seis) litros, por cerca de 20 minutos. Após moagem do resíduo seco, contendo todas as partes, o material foi tamizado em peneira de inox com *mesh* de 1 mm, sendo separadas as sementes do restante. Depois, a parte seca, separada das sementes, foi acondicionada em embalagens *Stand Pouch Up* preta, com zíper, 0,20 micras, com filme plástico de duas camadas e devidamente identificadas. A farinha obtida em cada temperatura de secagem foi reservada para análises laboratoriais de compostos antociânicos, pelo método do pH diferencial, expresso em mg 100 g⁻¹ cianidina 3-glucosídeo (metodologia proposta por ZIA & ALIBAS, 2021) e compostos flavonoídicos (metodologia de BOROSKI et al., 2015), expresso em mg EQ 100 g⁻¹, potencial hidrogeniônico - pH e acidez em porcentagem de ácido orgânico (metodologia proposta por CECCHI, 2003) e realizadas no Laboratório de Alimentos do IFRS, *campus* Bento Gonçalves.



**Figura 1. Fluxograma de processamento da amora preta Tupy.
Análise da cinética de secagem**

A análise da cinética da secagem foi realizada pelo estudo da razão de umidade (adimensional) e as curvas de razão de umidade em função do tempo de secagem, de acordo com a Equação 1.

$$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e}$$

Equação 1

Em que:

RX - razão de umidade (adimensional)

X - teor de água do produto

X_i - teor de água inicial do produto

X_e - teor de água de equilíbrio do produto

Foram empregados os modelos matemáticos empíricos e semiempíricos constantes no Quadro 1 e ajustados aos dados experimentais do estudo, através da comparação da razão de umidade experimental e da calculada, aferidos pela regressão não-linear e pelos indicadores do Coeficiente de Determinação (R²) e Erro Relativo Médio (ERM), utilizando a ferramenta Solver® do Microsoft Excel.

Quadro 1

Modelos matemáticos de regressão não-linear utilizados para representar a cinética de secagem convectiva do resíduo da amora.

Modelo Matemático	Equação
Page	$RU = \exp(-kt^N)$
Peleg	$RU = t / K_1 + K_2t$
Aproximação da Difusão	$RU = a.\exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$
Wang e Sing	$RU = 1 + at + bt^2$
Lewis	$RU = \exp(-kt)$
Midilli <i>et al.</i>	$RU = a.\exp(-kt^N) + bt$
Weibull	$RU = \exp(-t/\beta)$

RU é a razão de umidade, adimensional; *t* é o tempo de secagem (minutos); *k* é o coeficiente de secagem e *N*, *a*, *b* e β são constantes dos modelos.

Resultados e Discussão

Gravimetria de rendimento do despulpamento e da secagem do resíduo da amora-preta Tupy

O despulpamento da amora-preta *Tupy* apresentou um rendimento de 93% de polpa e 7% de resíduo fresco. Ao desidratar o resíduo fresco obtido no processo, após moagem e tamisação, obteve-se o total de 409,4 g de farinha e 1226,6 g de sementes. A Tabela 1 apresenta o detalhamento do rendimento para cada temperatura de secagem.

Tabela 1
Rendimento da desidratação resíduo fresco

Amostra	Tempo de liquidificação (minutos)	Rendimento		
		Resíduo fresco (g)	Resíduo seco/ farinha (g)	Semente (g)
45° C	20	2197,6	163,5	385,9
55° C	20	1939,8	122,2	414,7
65° C	20	2187,2	123,7	426,0
Total		6324,6	409,4	1226,6

As sementes não foram submetidas às análises laboratoriais, sendo reservadas para outro estudo. O resíduo fresco apresentou sólidos solúveis totais no valor de 10° Brix e potencial hidrogeniônico de valor 3,0.

Análise da cinética de secagem e adequação aos modelos matemáticos

Na Tabela 2 estão apresentados os parâmetros dos modelos matemáticos de Page, Peleg, Aproximação da Difusão, Wang e Sing, Lewis, Midilli et al. e Weibull para cada temperatura de secagem e na Tabela 3 os valores de R^2 (absoluto) e ERM (%) ajustados aos modelos empregados. O R^2 é uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada, que em conjunto com o ERM, estabelecem uma relação entre a melhor cinética e qualidade do produto (SILVA et al., 2020).

Considerando que quanto mais próxima a Razão de Umidade Experimental e a Razão de Umidade Calculada, dada pelo ajuste do modelo em função da magnitude do R^2 (absoluto) e ERM (%), o modelo que mais se adequou ao experimento foi o de Page. Com valores de R^2 de um (1) para as temperaturas de 45° C e 55° C e 0,99 para 65° C e valores de ERM de zero (0) para temperatura de 45° C e muito próximos de zero para as demais. Assim, este modelo é altamente preditivo para a secagem do resíduo de amora nas condições de secagem detalhadas na metodologia.

Tabela 2
Parâmetros dos modelos matemáticos ajustados para a cinética de secagem do resíduo do despulpamento da amora

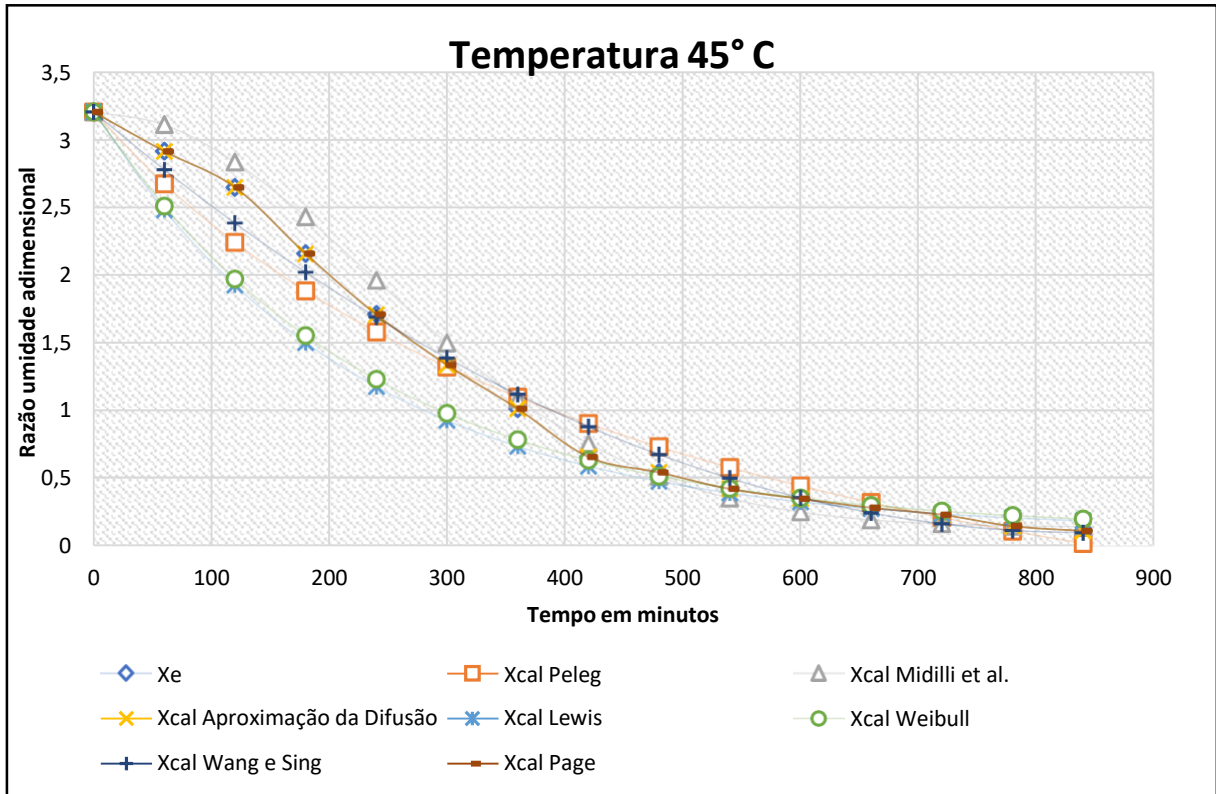
Modelo	Temperatura	Parâmetros						
		k	N	β	a	b	k_1	k_2
Page	45	0,00005	0,0005	-	-	-	-	-
	55	0,001	0,001	-	-	-	-	-
	65	0,002	0,002	-	-	-	-	-
Peleg	45	-	-	-	-	-	101,65	0,1935
	55	-	-	-	-	-	102,05	0,1479
	65	-	-	-	-	-	75,55	0,1112
Aproximação da Difusão	45	0,0000008	-	-	0,5	0,00001	-	-
	55	0,0005	-	-	4,6609	0,0001	-	-
	65	0,0005	-	-	5,9149	0,0001	-	-
Wang e Sing	45	-	-	-	-0,0024	1,4107	-	-
	55	-	-	-	-0,0031	2,2501	-	-
	65	-	-	-	-0,0041	3,7929	-	-
Lewis	45	0,0044	-	-	-	-	-	-
	55	0,0065	-	-	-	-	-	-
	65	0,0094	-	-	-	-	-	-
Midilli <i>et al.</i>	45	0,000009	2,00	-	1,0012	0,00001	-	-
	55	0,0000001	3,00	-	1,0159	0,00006	-	-
	65	6,05	2,00	-	-0,01	0,0002	-	-
Weibull	45	-	-	236,00	-	-	-	-
	55	-	-	152,90	-	-	-	-
	65	-	-	105,99	-	-	-	-

Tabela 3
Valores do Coeficiente de Determinação (R^2) e Erro Relativo Médio (ERM) para os sete modelos matemáticos analisados na secagem do resíduo da amora

Modelo	45 °C		55 °C		65 °C	
	R^2	ERM (%)	R^2	ERM (%)	R^2	ERM (%)
Page	1	0,00	1	0,06	0,99	0,11
Peleg	0,98	0,11	0,98	0,07	0,97	0,02
Aproximação da Difusão	1	0,00	0,96	0,00	0,95	0,00
Wang e Sing	0,99	0,38	0,99	0,00	0,97	0,13
Lewis	0,95	5,90	0,90	0,13	0,84	0,33
Midilli <i>et al.</i>	0,99	0,32	0,97	0,04	0,94	0,07
Weibull	0,96	0,016	0,91	0,074	0,84	0,20

O modelo de Aproximação da Difusão também apresentou bom rendimento estatístico, sendo um (1) para R^2 e zero (0) para ERM (%) no ajuste para a temperatura de 45° C. Observa-se que os valores de zero (0) para ERM (%) também estão para as demais temperaturas. É importante asselar que em ambos os casos, a temperatura de secagem de 45° C apresentou as melhores adequações aos modelos, bem como em todos os demais modelos em comparação as demais temperaturas. Contudo, deve-se considerar que o tempo de secagem é uma desvantagem neste caso, com maior consumo de energia e possivelmente maior perda de nutrientes.

Para uma melhor análise da cinética de secagem e observação de adequação dos modelos, os gráficos apresentados nas Figuras 2, 3 e 4 demonstram as linhas de regressão ajustadas aos modelos matemáticos, onde X_e representa a curva cinética experimental.



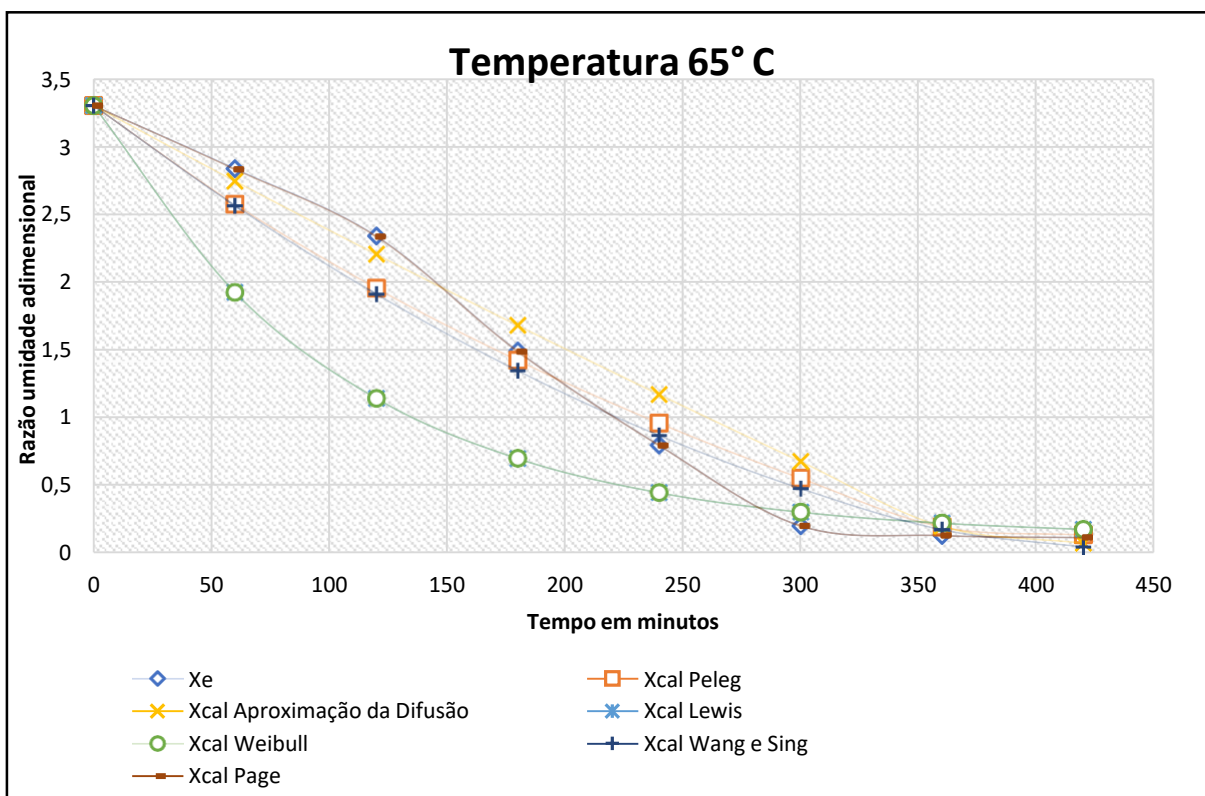


Figura 4. Gráfico da cinética de secagem em relação ao ajuste dos modelos matemáticos na temperatura de 65° C.

Como pode ser visualizado nos 3 (três) gráficos, a curva cinética experimental, calculada pela razão de umidade, é perfeitamente acompanhada pela curva cinética calculada do modelo matemático de Page em todas as temperaturas aplicadas. Para além disso, a constante da taxa de secagem (parâmetro κ), deste modelo, aumentou com a elevação da temperatura de secagem, o que acede com Côrrea et al. (2007) e estudos conduzidos por Silva et al. (2020) com diversos resíduos agroindustriais de frutas.

No estudo de Sozzi et al. (2021), que especificamente estudou o comportamento da secagem do resíduo de amora, o parâmetro κ também foi elevado à medida que a temperatura de secagem aumentou. Ainda, o modelo de Page apresentou uma adequação preditiva, com valores de coeficiente de determinação de 0,99.

Já o modelo de Aproximação da Difusão tem uma curva similar na secagem a 45° C, porém apresenta distanciamento nas demais temperaturas. Este modelo apresenta muitas constantes, tornando-o menos robusto. Estudos com a secagem de diversas matrizes alimentares igualmente demonstraram que o modelo de Page apresenta uma correlação entre dados experimentais e modelo aplicado, com enorme

confiabilidade do início ao fim da curva cinética (DOMENICO & CONRAD, 2015). Modelos semiempíricos como o de Page possuem alta aplicabilidade em produtos agroalimentares. No entanto, eles não consideram toda a complexidade do fenômeno, visto considerarem apenas a transferência de umidade da superfície do produto.

Já modelos como o de Wang e Sing possuem modelagem empírica, que considera a interrelação entre teor de umidade e tempo de secagem em diferentes temperaturas. Este modelo apresentou bons índices de R^2 e ERM, com valores preditivos para este estudo.

Outro fator a considerar é o tempo de secagem. A temperatura de 65° C reduziu o tempo da secagem à metade, de 840 minutos – 45° C para 420 minutos – 65° C. Já a temperatura de 55° C ficou em 540 minutos. Interessante ressaltar que a escalada de pesagens ao longo da secagem em 45° C possibilitou as melhores previsões aos modelos, com os melhores índices de R^2 e ERM em todos os casos, reduzindo estes valores gradativamente à medida que a temperatura de secagem aumentou.

Valores de R^2 inferiores a 0,90 são considerados modelos não aplicáveis, sendo a temperatura de 65° C a única que apresentou valores menores para os modelos de Lewis e Weibull. Já valores de R^2 entre 0,90 e 0,95 são considerados modelos aceitáveis. Neste caso, na temperatura de 55° C, os modelos de Lewis e Weibull ficaram em 0,90 e 0,91, respectivamente e para a temperatura de 65° C o modelo de Midilli *et al.* ficou em 0,94. Já para todos os demais casos, os valores de R^2 ficaram todos iguais ou acima de 0,95, sendo então considerados modelos preditivos para a secagem do resíduo de amora nas condições apresentadas (ALVES & NICOLETI, 2016).

Resultados das análises laboratoriais de compostos bioativos e caracterização físico-química

A antocianina é um composto bioquímico, pertencente à classe dos flavonoides, sendo um pigmento natural, solúvel em água, que dá cor vermelha, roxa e azul aos frutos silvestres, raízes, caules, folhas, flores e sementes em diferentes plantas. O resíduo da amora-preta transporta estes compostos, carregando uma cor significativa. Estes compostos são solúveis em água, não tóxicos, possuindo diversos benefícios à saúde, com elevada atividade antioxidante, anti-inflamatória,

cardioprotetora, anticancerígena, dentre várias outras já relatadas (SHARMAA et al., 2021; ZHAO et al., 2020).

Kaluseviy et al. (2016) analisaram subprodutos da indústria de sucos de framboesa e amora, para potencial uso destes resíduos como ingredientes funcionais. Em relação ao resíduo da amora, encontraram valores entre 10,1 mg C3GE g⁻¹ de antocianinas monoméricas totais e elevada atividade antioxidante pelo método DPPH. Este valor é maior que o encontrado no resíduo seco deste estudo (Tabela 4), porém na pesquisa citada, as sementes não foram isoladas nas análises. Contudo, no estudo de Sozzi et al. (2021) após secagem de resíduo de amora em leite fluidizado – 50° C, 60° C e 70° C, encontraram valores antociânicos na ordem de 240 a 300 mg C3GE 100 g⁻¹, variações próximas deste estudo.

Estudos realizados com frutos inteiros de mirtilo, ao final do processo de secagem convectiva, encontraram valores maiores, variando entre 400 e 700 mg 100 g⁻¹ de antocianinas monoméricas totais, após secagem em temperaturas variando entre 50° C e 90° C (ZIA & ALIBAS, 2021). Entretanto, os valores encontrados no resíduo da amora ainda são significativos, visto que são um resíduo e não do fruto inteiro, com valores entre 160,89 e 219,50 mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo (Tabela 4). Tarone et al. (2021), em estudo com cascas de jaboticaba e a bioacessibilidade *in vitro* de antocianinas antioxidantes presentes, concluiu que estas são capazes de limitar a formação de hidroperóxidos lipídicos e aldeídos deletérios decorrentes da oxidação induzida pela dieta de lipídios essenciais ômega 6 no trato gastrointestinal, destacando assim estes resíduos como promissores ingredientes alimentares funcionais.

Tabela 4
Resultados laboratoriais da composição da farinha nas três diferentes temperaturas

Temperatura de Secagem (° C)	Flavonoides (mgEQ 100 g ⁻¹)	Antocianinas monoméricas totais (mg 100 g ⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo)	Potencial Hidrogeniônico	Acidez em porcentagem de ácido orgânico (%)
45	2783,26 ± 18,3 ^a	219,50 ± 0,6 ^a	2,94 ± 0,005 ^a	9,15 ± 0,03 ^a
55	2675,65 ± 5,1 ^b	160,89 ± 0,8 ^b	2,97 ± 0,005 ^b	9,19 ± 0,01 ^b
65	2649,64 ± 1,1 ^c	171,10 ± 0,8 ^c	3,01 ± 0,005 ^c	9,45 ± 0,03 ^c

Média de três repetições e respectivo desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ao nível de 5% de significância (Teste de Tukey).

Valduga et al. (2008) em estudo de extração de antocianinas em bagaço de uva 'Isabel' (*Vitis labrusca*) desidratada a 40° C por 33 horas, encontraram valores variando entre 101 e 300 mg 100 g⁻¹ de antocianinas monoméricas totais, a depender do método de extração. Os resultados antociânicos podem variar substancialmente não apenas em razão do método de extração para quantificação, mas também pela cultivar, espécie, maturidade e condições climáticas. Assim, é interessante destacar que a variabilidade é uma constante nestes estudos, visto que além das mudanças de espécie e cultivo, há variações significativas nos métodos de secagem, bem como nas metodologias laboratoriais aplicadas na quantificação dos compostos.

Os valores de potencial hidrogeniônico (pH) e acidez elevada do resíduo seco são compatíveis com a coloração do produto, já que valores de pH baixos são próprios de frutos contendo antocianinas, na qual esta faixa entre 2,8 e 3,5 são essenciais na manutenção da cor vermelha a roxa apresentada. O que também auxilia na conservação da cor e obviamente na conservação do produto em si, combinando a baixa umidade e a alta acidez, ambas que em conjunto promovem a dificuldade da proliferação dos microrganismos. Destaque também para a capacidade antioxidante dos compostos bioativos (antocianinas e flavonoides) presentes, os quais igualmente auxiliam na conservação. Sendo o resultado do conteúdo de flavonoides no resíduo estudado, extremamente significativo, com valores variando entre 2649,64 mgEQ 100 g⁻¹ – 65° C e 2783,26 mg EQ 100 g⁻¹ – 45° C. Somado a isto, o sistema ao qual o resíduo está disposto, não sendo os compostos isolados antes do processo de secagem e estando na sua própria matriz alimentar, contribuem para a proteção à degradação em virtude da temperatura (ZHANG et al., 2020; WROLSTADA et al., 2005).

Em relação às diferentes condições de secagem, todos os parâmetros físico-químicos apresentaram diferença significativa conforme temperatura empregada. Para os compostos bioativos – flavonoides e antocianinas – ocorreu uma redução ao acréscimo da temperatura de secagem, corroborando com a literatura, que indica a sensibilidade destes compostos à temperatura, sendo degradados. Contudo, tanto a acidez quanto o pH elevaram-se com a elevação da temperatura de secagem. Santana e Silva et al. (2021), em uma revisão aprofundada do estudo de diversas técnicas de secagem, recomendaram como indicadores essenciais na qualidade final do produto seco, o pH e a acidez, bem como os compostos bioativos, além do conteúdo de vitaminas, análise de cor e a capacidade antioxidante.

A sinergia entre a baixa umidade e o pH ácido contribuem para a estabilidade das farinhas alimentícias produzidas a partir dos resíduos agroindustriais (FEITOSA et al., 2019). Somado a isto, produtos ácidos são menos afetados pelas reações de escurecimento enzimáticos e não-enzimático, oxidação de vitaminas e degradação de pigmentos (ZHANG et al., 2020).

Um interessante estudo realizado por Silva et al. (2014) quantificou compostos bioativos em polpas de frutas tropicais do Brasil e seus respectivos resíduos, tendo estes apresentado quantidades significativamente maiores de compostos. Tal dado reforça a importância do aproveitamento dos resíduos e sua incorporação como ingrediente adicional, carreando elementos nutricionais em produtos. Acede-se assim, que a secagem é um tratamento adequado para armazenamento dos resíduos, proporcionando manutenção da qualidade a um potencial ingrediente para produtos alimentares, em especial os que visam agregar valor de ordem natural, sustentável e saudável.

Conclusões

A elaboração de farinhas a partir da utilização de resíduos de frutas, representa uma excelente alternativa para o aproveitamento de um material que seria descartado, visto que estes resíduos podem ser aplicados no processo produtivo de outros produtos alimentícios, agregando um maior valor funcional, de acordo com o resultado de compostos bioativos deste estudo – flavonoides e antocianinas. Para além disso, os subprodutos do bioprocessamento de alimentos permanecem como uma sobra que pode levar à poluição ambiental, pela caracterização de elevada acidez, prejudicial ao solo.

Assim, ao tratar adequadamente os resíduos alimentares, conferindo sua integralidade e capacidade nutritiva, prolongando seu tempo de uso, com garantia de seu uso posterior como alimento seguro e natural, confere ao subproduto um valor potencial de uso. A garantia de sustentabilidade alimentar e atenção às demandas por produtos naturais, permeiam o interesse nos resíduos vegetais e atendem perfeitamente às temáticas atuais dos ODS, bem como aos produtos *clean label*.

Já com relação aos modelos matemáticos, vários obtiveram curvas aplicáveis, mas a de Page foi a que mais se adequou à secagem do resíduo da amora, nas condições metodológicas apresentadas.

Esta pesquisa foi realizada com fomento da FAPERGS - Authors are thankful for the Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio Grande do Sul (FAPERGS, RS, Brazil) for the financial support a (Grant number 21/2551-0000531-9) e com o apoio do IFRS.

Referências Bibliográficas

- Alves, T. P., Nicoleti, J. F. (2016). Influência das variáveis de processo sobre a secagem osmo-convectiva de pimentão verde. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*. 10 (2016) 2022-2037. doi: <http://dx.doi.org/10.3895/rbta.v10n1.2014>.
- Boroski, M., Visentainer, J.V., Cottica, S.M. & Morais, D.R. de. (2015). *Antioxidantes: princípios e métodos analíticos*. 1 ed. Curitiba: Appris, 2015, 141 p.
- Cecchi, M. H. (2003). *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. 2 ed, Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.
- Domenico, C. N. B. di. & Conrad, T. M. (2015). Simulação de processos de secagem através dos modelos matemáticos exponencial e de Page. *Vivência: Revista Eletrônica de Extensão da URI*. 11 (2015) 134-146. <https://docplayer.com.br/38316027-Simulacao-de-processos-de-secagem-atraves-dos-modelos-matematicos-exponencial-e-de-page.html>.
- Feitosa, B. F., Oliveira, E. N. A. de., Neto, J. O. de. O., Oliveira, D. B. de. & Feitosa, R. M. (2019). Cinética de secagem dos resíduos da agroindústria processadora de polpa de frutas. *Energia na Agricultura*. 34 (2019) 134-141. doi: 10.17224/EnergAgric.2019v34n01p134-14.
- Gerardi, C., Durante, M., Tufariello, M., Grieco, F. & Giovinazzo, G. (2022). Effects of Time and Temperature on Stability of Bioactive Molecules, Color and Volatile Compounds during Storage of Grape Pomace Flour. 12 (2022) 3956. doi: 10.3390/app12083956.
- Guimarães, M. L. L., Viana, E. B. C., Silva, L. E. da., Zanuto, M. E. & Souza, C. C. E. de. (2023). Potential of use tropical fruit co-products in the elaboration of new

food products. *Research, Society and Development*. 12 (2023). doi: 10.33448/rsd-v12i2.40012.

Kaluseviy, A., Saleviy, A., Yoryeviy, R., Veljoviy, M. & Nedoviy, V.(2016). Raspberry and blackberry pomaces as potential sources of bioactive compounds. *Ukrainian Food Journal*. 5 (2016). https://www.researchgate.net/publication/310879581_Raspberry_and_blackberry_pomaces_as_potential_sources_of_bioactive_compounds.

Kandemir, K., Piskin, E., Xiao, J., Tomas, M. & Capanoglu, E. (2022). Fruit juice industry as a source of bioactives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 70 (2022) 6805-6832. doi: 10.1021/acs.jafc.2c00756

McClements, I. F. & McClements, D. J. (2023). Designing healthier plant-based foods: Fortification, digestion, and bioavailability. 169 (2023) 112853. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112853>.

Noguerol, A. T., Pagan, M. J., Segóvia, G. & Varela, P. (2021). Green or clean? Perception of clean label plant-based products by omnivorous, vegan, vegetarian and flexitarian consumers. 149 (2021) 110652. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110652>.

Sande, D., Fabrini, S. P. & Souza, J. de P. M. (2018). *Farinhas antioxidantes: uma estratégia de aproveitamento integral dos alimentos*. Edição do Autor: Belo Horizonte - MG, 2018, 50 p. ISBN: 978-85-93770-27-2.

Santana e Silva, A. B., Silva, E. G., Rigo, L., Oliveira, M. P. de., Loss, R. A., Guedes, S. F. & Paula, J. M. de. (2021). Techniques of drying fruits: a review. *Scientific Electronic Archives*. ISSN 2316-9281. Issue ID: Sci. Elec. Arch. 14 (10). doi: 10.36560/141020211424.

Sharmaa, M., Usmanibe, Z., Guptac, V. K. & Bhata, R. (2021). Valorization of fruits and vegetable wastes and byproducts to produce natural pigments. *CriticalReviews in Biotechnology*. 41 (2021) 535-563. doi: 10.1080/07388551.2021.1873240.

- Silva, A. P. de F., Souza, A. P. M. de., Macedo, A. D. B. de., Dantas, D. L., Costa, L. D. & Almeida, A. F. de. (2020). Obtaining floury product from agro-industrial waste by different drying methods. *Research, Society and Development*. 9 (2020)2525-3409. doi: 10.33448/rsd-v9i9.7334.
- Silva, L. M. R. da., Figueiredo, E. A. T. de., Ricardo, N. M. P. S., Vieira, Í. G. P., Figueiredo, R. W. de., Brasil, I. M. & Gomes, C. L. (2014). Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 143 (2014) 398-404. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.001.
- Sozzi, A., Zambon, M., Mazza, G. & Salvatori, D. (2021). Fluidized bed drying of blackberry wastes: Drying kinetics, particle characterization and nutritional value of the obtained granular solids. *Powder Technology*. 385(2021) 37-49. doi: 10.1016/j.powtec.2021.02.058.
- Tarone, A. G., Goupy, P., Ginies, C., Junior, M. R. M. & Dufour, C. (2021). Advanced characterization of polyphenols from *Myrciaria jaboticaba* peel and lipid protection in *in vitro* gastrointestinal digestion. 359 (2021) 129959. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129959>.
- Vagiri, M. & Jensen, M. (2017). Influence of juice processing factors on quality of black chokeberry pomace as a future resource for colour extraction. 217 (2017) 409-417. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.121>.
- Valduga, E., Lima, L., Prado, R. do., Padilha, F. F. & Treichel, H. (2008). Extraction, spray drying and microencapsulating of 'Isabel' grape (*Vitis labrusca*) bagasse anthocyanin. *Ciênc. Agrotec. Lavras*. 32 (2008) 1568-1574. <https://www.scielo.br/j/cagro/a/hJNnXS7MLgT5mpJtwN9KKkG/?lang=pt>.
- Wrolstada, R. E., Dursta, R. W. & Leeb, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends and Food Science & Technology*. 16 (2005) 423-428. doi: 10.1016/j.tifs.2005.03.019.
- Zhang, Y., Sun, Y., Zhang, H., Mai, Q., Zhang, B., Li, H. & Deng, Z. (2020). The degradation rules of anthocyanins from eggplant peel and antioxidant capacity in fortified model food system during the thermal treatments. *Food Bioscience*. 38 (2020) . 100701. doi: 10.1016/j.fbio.2020.100701.

Zhao, X., Zhang, S-S., Zhang, X-K., He, F. & Duan, C-Q. (2020). An effective method for the semi-preparative isolation of high-purity anthocyanin monomers from grape pomace. 310 (2020) 125830. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125830>.

Zia, M. P. & Alibas, I. (2021). Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and *in vitro* bioaccessibility of blueberry fruits. Food Bioscience. 42 (2021) 101179. doi: [10.1016/j.fbio.2021.101179](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101179).

DETERMINAÇÃO DA QUALIDADE TECNOLÓGICA DO RESÍDUO SECO DO DESPOLPAMENTO DA AMORA-PRETA *TUPY* ARMazenado EM DIFERENTES CONDIÇÕES FÍSICAS

DETERMINATION OF THE TECHNOLOGICAL QUALITY OF THE DRY RESIDUE FROM TUPY BLACKBERRY PUPPING STORED IN DIFFERENT PHYSICS CONDITIONS

RESUMO

O aproveitamento integral dos alimentos é uma vertente nas pesquisas atuais. Os resíduos gerados durante o processamento podem ser utilizados como alimento, após tratamentos tecnológicos adequados. Estes resíduos são ricos em diversos nutrientes e não-nutrientes, os chamados compostos bioativos. Muitos destes, além da composição nutricional, possuem também uma coloração de interesse à indústria de alimentos. Além disto, a economia circular gerada neste processo está em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS. Desta forma, este estudo buscou uma alternativa de uso ao subproduto gerado durante o despulpamento da amora-preta *Tupy*. Após gerado este resíduo, foram aplicadas técnicas convencionais de secagem convectiva em temperatura de 65 °C, tendo o produto deste processo gerado uma farinha. Este produto foi analisado durante o armazenamento em quatro diferentes condições de temperatura e embalagem por quatro meses: ausência de luz e refrigeração; ausência de luz e ambiente; incidência de luz e refrigeração; incidência de luz e ambiente. Inicialmente foi determinada a composição centesimal do resíduo fresco e seco, sólidos solúveis e acidez. Ao longo do tempo de armazenamento, foram realizadas análises quinzenais de cada tratamento, sendo monitorada a sua qualidade através das análises de antocianinas, flavonoides, potencial hidrogeniônico, acidez, capacidade antioxidante e análise de cor. Para os resultados das análises de potencial hidrogeniônico, antocianinas monoméricas totais, flavonoides totais, análise de cor e acidez, foi realizada análise de regressão polinomial. Com relação às variáveis independentes aplicadas aos tratamentos no tempo de armazenamento, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA). Os resultados apontaram para valores consideráveis de compostos bioativos na farinha. A análise de cor apontou diferença significativa para todos os tratamentos em relação ao tempo zero, com maior clareamento da cor vermelha do tratamento com incidência de luz, o qual também teve a maior perda de antocianinas e maior aumento do pH. O tratamento que mais preservou os flavonoides foi o com ausência de luz e temperatura ambiente. Com os resultados foi possível verificar que a farinha produzida pode ser utilizada como ingrediente em outros alimentos, conferindo cor e nutrientes. Embora tenha havido significativa diferença estatística do início ao fim do armazenamento, a cor se manteve dentro do quadrante vermelho, constatado pelo ΔC .

PALAVRAS-CHAVE: desidratação; compostos bioativos; cor; capacidade antioxidante; temperatura; armazenamento.

ABSTRACT

The full use of food is an aspect of current research. Waste generated during processing can be used as food, after appropriate technological treatments. These residues are rich in various nutrients and non-nutrients, so-called bioactive compounds. Many of these, in addition to their nutritional composition, also have a color of interest to the food industry. Furthermore, the circular economy generated in this process is in line with the Sustainable Development Goals – SDGs. Therefore, this study sought an alternative use for the by-product generated during the pulping of Tupy blackberries. After generating this residue, conventional convective drying techniques were applied at a temperature of 65 °C, with the product of this process generating a flour. This product was analyzed during storage in four different temperature and packaging conditions for four months: absence of light and refrigeration; absence of light and environment; incidence of light and refrigeration; incidence of light and environment. Initially, the proximate composition of the fresh and dry residue, soluble solids and acidity were determined. Throughout the storage time, biweekly analyzes were carried out for each treatment, monitoring its quality through analyzes of anthocyanins, flavonoids, hydrogen potential, acidity, antioxidant capacity and color analysis. For the results of the hydrogen potential, total monomeric anthocyanins, total flavonoids, color and acidity analysis results, polynomial regression analysis was performed. Regarding the independent variables applied to the treatments during storage time, Analysis of Variance (ANOVA) was performed. The results pointed to considerable amounts of bioactive compounds in the flour. The color analysis showed a significant difference for all treatments in relation to time zero, with greater lightening of the red color in the treatment with incidence of light, which also had the greatest loss of anthocyanins and the greatest increase in pH. The treatment that best preserved the flavonoids was the one with the absence of light and room temperature. With the results it was possible to verify that the flour produced can be used as an ingredient in other foods, providing color and nutrients. Although there was a significant statistical difference from the beginning to the end of storage, the color remained within the red quadrant, as verified by ΔC .

KEY-WORDS: dehydration; bioactive compounds; color; antioxidant capacity; temperature; storage.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade no processamento de alimentos, bem como a minimização de resíduos, são preocupações fundamentais para a indústria moderna, visto que são geradas quantidades significativas pela indústria todos os anos. A recuperação destes subprodutos provenientes dos processos agroindustriais impacta positivamente na indústria, na economia e no meio ambiente, já que o descarte causa um prejuízo econômico e ambiental. O aproveitamento integral das frutas pode levar a um agronegócio com menor desperdício, aumentando a rentabilidade industrial e proporcionando uma economia circular, com reciclagem e valorização de materiais residuais que são devolvidos à cadeia de abastecimento. A utilização, portanto, de todo tecido vegetal pode trazer benefícios econômicos aos produtores, levando a uma maior diversidade de produtos (KANDEMIR *et al.*, 2022; SILVA *et al.*, 2014; SHARMAA *et al.*, 2021).

Os subprodutos de frutas, tais como cascas, talos e sementes, contêm altos níveis de várias substâncias que contribuem para a saudabilidade, podendo ter um teor maior de nutrientes e não nutrientes (fitoquímicos – compostos bioativos) do que a própria polpa. As dietas ricas em fitoquímicos têm sido associadas a um risco reduzido de várias doenças: inflamação, catarata, câncer, degeneração macular, doenças neurodegenerativas e cardiovasculares, dentre outras (SILVA *et al.*, 2014; GALVÃO *et al.*, 2016). Os fitoquímicos, pigmentos à base de plantas, são o resultado de caminhos que ocorrem dentro da planta, resultando em um grande número de compostos orgânicos com propriedades físicas e químicas únicas. Estes pigmentos absorvem seletivamente alguns comprimentos de ondas de luz e refletem outros (BENUCCI *et al.*, 2021).

Os resíduos agroindustriais de frutas são boas fontes de compostos bioativos e a exploração desses recursos renováveis abundantes e de baixo custo, pode ser utilizada pela indústria alimentícia, com oportunidade de desenvolvimento de novos produtos, redução de resíduos industriais e custos, proporcionando um impacto econômico e ambiental positivo, em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (SILVA *et al.*, 2014; KANDEMIR *et al.*, 2022).

É considerável e relevante a incorporação de subprodutos de vegetais, após tratamentos adequados, em diversas matrizes alimentares, melhorando o valor

nutricional ou como coadjuvante de tecnologia, contribuindo como corante alimentar natural (LÓPEZ *et al.*, 2018). Portanto, é importante adquirir conhecimento sobre os tipos e teores de compostos fenólicos, ou parte deles, nas frutas e seus resíduos, a fim de valorizá-los de forma eficiente. Neste caso, a composição química e o conteúdo dos compostos são determinados pela variedade, local de cultivo, circunstâncias ambientais, estágio de maturação após a colheita e condições de armazenamento (KANDEMIR *et al.*, 2022; JIANG *et al.*, 2022).

A pesquisa das propriedades antioxidantes contidas nas frutas vermelhas cresceu na última década. Especificamente, as amoras são bagas ricas em compostos fenólicos e são consumidas cruas, minimamente processadas ou como alimentos processados, em forma de sucos, vinho, chá, geleias, etc... Quando tratadas, uma porcentagem acaba sendo descartada, como as sementes, cascas, caule, os quais contêm quantidades significativas de fibras, ácidos fenólicos (gálico e cafeico), flavonoides como quercetina (flavonol) e antocianinas, que possuem propriedades antioxidantes (eliminadoras de radicais livres) e funcionais, protegendo biomoléculas importantes contra danos oxidativos (DABIJA; RUSU; CODINYA, 2023; JIANG *et al.*, 2022; GRUNOVAITÉ *et al.*, 2016). Diversos estudos apontam os efeitos positivos do consumo das amoras nas doenças cardiovasculares e tipos específicos de câncer. Portanto, utilizar a integralidade e a totalidade deste alimento, agregando valor a todas as partes, é uma forma inteligente e sustentável de proporcionar alternativas de uso a um subproduto que seria usualmente descartado (KANDEMIR *et al.*, 2022; ZAFRA-ROJAS *et al.*, 2018; SOZZI *et al.*, 2021; SHARMAA *et al.*, 2021).

Sobre os aspectos sensoriais, os ácidos orgânicos e os açúcares, que são constituintes solúveis nas bagas, são responsáveis pelo sabor e servem como índices de maturação dos frutos, ambos interferindo na aceitabilidade do consumidor. Para além da sensorialidade, os consumidores buscam alimentos saudáveis e nutritivos que os ajudem a evitar riscos para a saúde, estando interessados em alimentos nutricionais e funcionais (DABIJA; RUSU; CODINYA, 2023). Os metabólitos secundários contidos nas frutas vermelhas e seus resíduos, como as antocianinas, possuem anéis aromáticos e grupos hidroxilas, que individualmente ou em combinação, apresentam alta capacidade antioxidante. A estrutura química varia de monômeros, oligômeros a polímeros, tendo sua classificação dependente desta estrutura, bem como no seu papel biológico (ZAFRA-ROJAS *et al.*, 2018; SHARMAA *et al.*, 2021; JIANG *et al.*, 2022).

Em relação ao tratamento dado ao resíduo para o fim de uso como ingrediente alimentar funcional, a abordagem economicamente mais viável para armazenar o bagaço a longo prazo é reduzir seu alto teor de água, através da desidratação/secagem. A redução do volume, a concentração de nutrientes, facilidade de manuseio e diminuição de custos com transporte e armazenamento são fatores extremamente relevantes a se considerar. Os métodos de secagem escolhidos afetam tanto o conteúdo e a atividade dos fenóis, quanto as propriedades funcionais. Altas temperaturas podem comprometer a bioatividade de compostos termolábeis e um estudo das melhores temperaturas de aplicação a dado resíduo são fatores que devem ser considerados no momento da secagem (GERARDI *et al.*, 2022).

A secagem pode aumentar o uso potencial do bagaço, viabilizando seu uso futuro, por facilitar e prolongar seu manuseio e armazenamento. Dito isto, ao secar e moer estes resíduos, obtém-se uma farinha integral, rica em diversos compostos, fácil manuseio e armazenamento, e que pode ser incorporada a diversos produtos alimentícios. Diversos estudos revelam a possibilidade de criar produtos de alto valor agregado através da incorporação de subprodutos em produtos de panificação ou massas. A adição de farinha à sêmola tem um impacto positivo nas propriedades funcionais e físico-químicas das massas, como adesividade, firmeza e perfil volátil. Levando ainda a um aumento no teor de polifenóis e na atividade antioxidante e uma diminuição no índice glicêmico, como resultado do aumento no teor de amido resistente e fibras. Melhora ainda as propriedades tecnológicas das massas utilizadas para a produção de alimentos sem glúten de alta qualidade (KALUSEVIY *et al.*, 2016; GERARDI *et al.*, 2022).

A fim de explorar a farinha de bagaço de amora como ingrediente alimentar funcional para a indústria alimentícia é importante compreender como o armazenamento a longo prazo afeta a estabilidade, tanto das moléculas bioativas, como de outros compostos, além da cor. A estabilização e as condições de armazenamento desempenham papel significativo na sua utilização subsequente como ingrediente funcional (GERARDI *et al.*, 2022).

Na utilização de produtos naturais, dois fatores têm extrema relevância: a cor e a capacidade antioxidante, ambos importantes na formulação de alimentos. A resistência e a estabilidade são afetadas por vários fatores durante o processamento e o armazenamento. Pigmentos extraídos de recursos vegetais ou resíduos agroindustriais alimentares são altamente instáveis e suscetíveis à degradação por

agentes intrínsecos e extrínsecos: condições de processamento; temperatura e potencial hidrogeniônico – pH; concentração dos pigmentos e luz. Estes são alguns exemplos de agentes inclinados a degradar facilmente os compostos, mas que quando controlados e, conhecidos os parâmetros que melhor se comportam na preservação dos pigmentos e/ou fitoquímicos, podem até auxiliar na sua fixação na matriz alimentar, como o pH baixo na presença de antocianinas, por exemplo (SHARMAA *et al.*, 2021).

Assim, o objetivo deste trabalho é verificar os efeitos de diferentes condições de armazenamento do resíduo do despulpamento da amora-preta *Tupy*, seco à 65° C. Especificamente, caracterizar seu conteúdo inicial e analisar as características físicas, químicas e capacidade antioxidante ao longo do tempo de armazenamento, sob diversos tratamentos de variáveis independentes, como temperatura ambiente/refrigerada e incidência/ausência de luz.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostras

As amostras de amora-preta da espécie *Tupy* foram coletadas na Estação Experimental do Instituto Federal do Rio Grande do Sul - IFRS, *campus* Bento Gonçalves, na localidade de Tuiuty. A colheita das amoras iniciou no mês de outubro, se estendendo até o mês de dezembro 2022. A coleta era realizada diariamente, com imediato congelamento dos frutos em câmara fria a -18° C. Ao obter-se um estoque significativo, as amoras eram transportadas até as dependências da Seção de Agroindústria do *campus*, onde eram armazenadas em câmaras na mesma temperatura, até o seu processamento. Para esta pesquisa, foram utilizadas 33,45 Kg de amora de matéria-prima inicial.

2.2 Descrição das etapas de processamento da amora e análises no resíduo fresco

O processo de obtenção do resíduo foi realizado nas dependências da Agroindústria do *campus* Bento Gonçalves, do IFRS. Inicialmente, as amoras foram descongeladas lentamente em câmara fria com temperaturas oscilando entre 2° C a

5° C. Estando descongeladas, foram higienizadas com lavagem em água corrente e selecionadas, descartando-se folhas e frutos machucados. Após a etapa de seleção, foram sanitizadas em solução clorada a 100 ppm por 15 minutos, sendo novamente lavadas em água após este período.

Em seguida, as amoras foram despulpadas no equipamento Despulpadeira Horizontal Dois Estágios, de aço inoxidável AISI 204 polido e com acabamento sanitário, marca Cianox. Durante o processo foram coletados os resíduos dos dois estágios do despulpamento, os quais foram reservados para a secagem posteriormente. Já a polpa foi armazenada para a produção rotineira da Agroindústria.

O resíduo fresco coletado foi inicialmente analisado, sendo aferido os sólidos solúveis totais em °Brix, com auxílio de refratômetro analógico e a acidez total titulável, cálculo do índice de maturação - Ratio, bem como determinada a sua composição centesimal, segundo metodologias de Cecchi (2003) e Lutz (2008), sendo as análises realizadas no Laboratório de Alimentos do *campus* Bento Gonçalves, do IFRS.

Após as análises iniciais, o resíduo fresco foi armazenado em sacos plásticos, envoltos em papel alumínio e mantidos sob congelamento à -18° C, em porções de aproximadamente 500 g até a secagem. Após o descongelamento do resíduo sob refrigeração, foi realizada a secagem em temperatura de 65° C, em desidratador a gás Modelo PD25, ventilação com potência de 15 wats, dimensões 580 cm x 700 cm x 750 cm, com dez prateleiras de área 1,0 m² cada, marca Meloni. O resíduo foi disposto em bandejas de alumínio (dimensões 266 cm²), previamente perfuradas, totalizando dezenove bandejas com aproximadamente 200 g de resíduo cada uma. A secagem foi realizada até massa constante, sendo as bandejas pesadas a cada duas horas, em balança semianalítica, marca AAKER. Após a secagem, foi feita a moagem em liquidificador industrial de alta rotação, de inox, marca Metvisa, com capacidade de 6 (seis) litros, por cerca de 20 minutos. Após a moagem do resíduo seco, contendo todas as partes, o material foi tamisado em peneira de inox com *mesh* de 1mm, sendo separadas as sementes do restante.

Após a secagem e moagem foi realizada a determinação da composição centesimal do resíduo seco, sendo utilizada a metodologia descrita por Cecchi (2003) e Lutz (2008).

O resíduo seco e moído foi acondicionado em embalagens vedadas, conforme os tratamentos ilustrados na Tabela 1. O meio protegido da luz foi armazenado em embalagem *Stand Pouch Up* Preta Fecho Zip 12x17,5+3 (capacidade 150 g e

espessura de 0,20 micras), enquanto o meio exposto a incidência de luz em embalagem *Stand Up Pouch* Transparente Fecho Zip 12x19+4 (capacidade 160g e espessura de 0,20 micras). Ambas as embalagens contendo filme plástico de duas camadas e devidamente identificadas (Figura 1).

Figura 1. Embalagens *Stand Up Pouch* contendo o objeto de estudo.



O meio refrigerado se deu em câmara fria, com temperaturas entre $4\pm 2^{\circ}$ C, destacando que ocorreu monitoramento das temperaturas em planilha. Na condição de temperatura ambiente, o produto acondicionado nas embalagens descritas, ficou armazenado em prateleira, igualmente com temperatura ambiental monitorada através de planilha, ambas medidas com auxílio de instrumento (Termo Higrômetro Digital com Sensor Externo e Relógio - AK28). Na Tabela 2 estão contidas as médias das temperaturas dos intervalos de dias entre análises, coletadas ao longo do tempo de armazenamento.

Para a incidência de luz, foi utilizado lâmpada LED de alta potência, 50W, e27, tonalidade de cor luz branco frio, sendo que a distância das amostras da emissão de luz foi a mesma dentro e fora da refrigeração. Os tratamentos foram avaliados aproximadamente a cada quinze dias, em triplicata, durante 4 meses, sendo que no tempo zero foram armazenadas 32 amostras, sendo retiradas 4 amostras de cada tratamento a cada período de análise das variáveis dependentes.

Tabela 1. Delineamento experimental.

Tratamentos	Variáveis independentes		Variáveis dependentes
	Incidência ou ausência de luz	Temperatura de armazenamento	
1 ALA	Ausência de luz	Ambiente	Capacidade antioxidante
2 ALR	Ausência de luz	Refrigerado	Cor
3 ILA	Incidência de luz	Ambiente	Flavonoides totais
4 ILR	Incidência de luz	Refrigerado	Antocianinas monoméricas totais
			Potencial hidrogeniônico
			Acidez solução molar
			Acidez em porcentagem de ácido orgânico

Tabela 2. Controle da temperatura de armazenamento.

Tempo	Intervalo de dias	Média temperatura refrigerado (° C)	Amplitude térmica meio refrigerado	Média temperatura ambiente (° C)	Amplitude térmica meio ambiente
0	-	-	-	-	-
1	14 dias	3,5	7,2	20,3	8,8
2	21 dias	4,4	4,5	23,7	7,2
3	14 dias	4,3	5,7	20,5	11,6
4	13 dias	3,4	4,7	17,8	11,0
5	16 dias	5,2	6,0	15,9	7,9
6	13 dias	3,8	4,5	15,0	5,9
7	14 dias	4,6	4,3	11,0	6,4
Total dias	105 dias	-	-	-	-
Média geral	-	4,2	-	17,7	-

2.3 Determinação de compostos bioativos e análises físico-químicas

As análises foram realizadas no resíduo seco e nos tratamentos durante os quatro meses de armazenamento.

O conteúdo antocianídico foi realizado pelo método diferencial de pH, através de leitura em espectrofotômetro marca Kasuaki, modelo IL-593-BI e seguiu metodologia proposta por Zia e Alibas (2021) e Teixeira, Stringueta e Oliveira (2008). Foram pesadas amostras iniciais de 0,125 g, realizando-se extração sólido-líquido, com agitação magnética por 4 horas, utilizando metanol como solvente, na quantidade

de 50 mL, perfazendo uma concentração de 2,5 mg mL⁻¹. As amostras foram mantidas ao abrigo da luz durante e após a extração. Após período de repouso, 1 mL do sobrenadante foi completado até 25 mL, em proveta, com as soluções tampão de pH 1,0 e pH 4,5, separadamente, sendo as absorvâncias das amostras lidas em 510 nm e 700 nm, descontando o valor do branco e realizadas em triplicata. O cálculo seguiu a Equação 1. O resultado é dado em mg g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo, sendo multiplicados por 100 para expressar a quantidade contida em 100 g de amostra.

$$\text{Antocianinas monoméricas totais} = \frac{(A_{510} - A_{700})_{\text{pH}1.0} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}4.5} \times MW \times V \times DF \times 1000}{\epsilon \times m \times 1}$$

DF = valor da diluição seriada

MW = massa molar da cianidina-3-glucosídeo (449,2g/mol)

ϵ = coeficiente de extinção molar da cianidina-3-glucosídeo (26,9 l/mol/cm)

1000 = conversão de gramas para mg

1 = caminho da onda na cubeta em cm

V = volume da solução da amostra

m = massa de sólido seco utilizado na extração

Equação 1

Ainda, de posse dos dados dos valores antociânicos, calculou-se o tempo de meia-vida das antocianinas para os 4 (quatro) tratamentos da Tabela 1. Para tanto, foram utilizadas as fórmulas cinéticas de degradação de primeira ordem (GALVÃO *et al.*, 2016):

$$C_t = C_0 \cdot \exp(-k \cdot t)$$

C_t = concentração final de antocianinas em dado tempo

C₀ = concentração inicial de antocianinas

K = constante cinética

T = tempo total até concentração final

Equação 2

$$T_{1/2} = -\ln 0,5/k$$

T_{1/2} = tempo de meia-vida

K = constante cinética

Equação 3

O conteúdo flavonoídico foi realizado por metodologia proposta por Boroski *et al.* (2015) e Picó (2015). Foram pesadas amostras iniciais de 0,125 g, realizando-se extração sólido-líquido, com agitação magnética por 4 horas, utilizando metanol como solvente, na quantidade de 50 mL, perfazendo uma concentração de 2,5 mg mL⁻¹. As amostras foram mantidas ao abrigo da luz durante e após a extração. Primeiramente foram realizadas diluições seriadas com Quercetina Padrão HPLC, marca Sigma Aldrich, em metanol, para obtenção da curva de calibração, com concentrações variando entre 0 e 100 mg L⁻¹ e lidas em absorvância de 425 nm (espectrofotômetro marca Kasuaki, modelo IL-593-BI). Obtida a curva e calculada a equação de regressão linear, amostras de 0,5 mL foram diluídas em 0,25 mL de solução de cloreto de alumínio e 4,25 mL de metanol, agitando o tubo e aguardando 30 minutos para a reação. As análises foram realizadas em triplicata e preparado um branco nas mesmas condições. Após o tempo de reação, foi feita a leitura em comprimento de onda de 425 nm e calculado o resultado a partir da equação de regressão linear obtida. O resultado é dado em mg EQ 100 g⁻¹.

A capacidade antioxidante foi realizada pelo método do DPPH (radical livre 2,2-difenil-1-picrilhidrazila), em metodologia proposta por Boroski *et al.* (2015). As amostras foram preparadas na concentração de 2 mg mL⁻¹ e a solução de DPPH na concentração de 4,7 mg 100 mL⁻¹. As amostras e a solução de DPPH foram mantidas ao abrigo da luz durante e após a extração. Foram realizadas curvas padrões de DPPH para cada amostra, obtendo-se 4 diluições seriadas, em triplicata, as quais foram diluídas em 2 mL da solução de DPPH e aguardado 30 minutos para a reação. Após leitura de cada diluição em 517 nm, contra o branco, obteve-se uma equação de regressão linear para expressão dos resultados em IC₅₀, que representa a concentração necessária para inibir 50% do radical DPPH.

A análise de cor foi feita através do equipamento Colorímetro CR 400 Minolta, pelo sistema de medição de cores CIELAB – sendo o CIE a Comissão Internacional de Iluminação e o LAB o espaço de cor L*a*b. As amostras foram lidas avaliando-se os parâmetros das coordenadas L* que representa a coordenada de brilho, variando entre 0 e 100 (0 para preto e 100 para branco), representando uma medida de leveza/luminosidade; a coordenada a* que denota vermelho para valores positivos e verde para valores negativos, b* que denota o amarelo para valores positivos e azul para negativos, avaliando-se ainda o Diagrama do Espaço de Cor, com cálculo do C*

inicial e final, que refere-se especificamente a cor da amostra. De posse destes dados, calculou-se o ΔE , o Δh e o C^* através das fórmulas:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

ΔE = diferença total de cor

ΔL = diferença entre os parâmetros L^* inicial e final

Δa = diferença entre os parâmetros a^* inicial e final

Δb = diferença entre os parâmetros b^* inicial e final

Equação 4

$$\Delta h = \sqrt{(\Delta E)^2 + (\Delta L)^2 + (\Delta C)^2}$$

ΔE = diferença total de cor

ΔL = diferença entre os parâmetros L^* inicial e final

ΔC = diferença entre C^* inicial e final, onde C se calcula através da fórmula:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Equação 5

A acidez total titulável foi realizada pelo método da titulação potenciométrica, de acordo com Cecchi (2003) e Lutz (2008). Alíquotas contendo 2 g de amostra diluídas em 20 mL de água destilada, após agitação por 30 minutos, foram tituladas com solução fatorada de hidróxido de sódio NaOH 0,1M, até atingir pH 8,2 (ponto de equivalência), com auxílio do peagâmetro Digimed DM-22. O resultado foi expresso em Acidez em Solução Molar por 100 g e Porcentagem de Ácido Orgânico.

Para o potencial hidrogeniônico, em metodologia proposta por Cecchi (2003) e Picó (2015), alíquotas contendo 2 g de amostra diluídas em 20 mL de água destilada, após agitação por 30 minutos e repouso, ecoado o sobrenadante, procedeu-se a leitura do pH em peagâmetro Digimed DM-22, calibrado com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0.

2.4 Análise estatística

As análises instrumentais foram realizadas em triplicata. Para os resultados das análises de potencial hidrogeniônico, antocianinas monoméricas totais, flavonoides totais, análise de cor e acidez, durante os quatro meses de armazenamento, foi realizada análise de Regressão Polinomial, com curva de ajuste em grau 3 (três), relacionando-se a variável independente de tempo (X) em relação as variáveis dependentes (Y), onde Y depende de X. A equação polinomial cúbica é representada pela equação 6:

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + e$$

Onde 'e' representa o erro experimental.

Equação 6

A medida de ajuste do modelo estatístico polinomial e linear foi determinada pelo valor do Coeficiente de Determinação (R^2), variando de 0 a 1, onde através do diagrama de dispersão, obedecendo-se a Equação 7, valores entre 0,90 e 1,00, representam correlação muito forte.

$$R = \frac{\frac{\sum(X_1 - X_m)(Y_1 - Y_m)}{n - 1}}{\sqrt{\frac{\sum(X_1 - X_m)^2}{n - 1} \cdot \frac{\sum(Y_1 - Y_m)^2}{n - 1}}}$$

Equação 7

Os resultados obtidos para o resíduo seco e após os quatro meses de armazenamento foram analisados com auxílio do software *Statistica* versão 10 através de Análise de Variância (ANOVA), sendo que a comparação das médias foi realizada pelo teste de Tukey com diferença mínima significativa de 5%.

A análise da capacidade antioxidante pelo método DPPH, devido a metodologia aplicada apresentar curva de regressão linear para cada resultado, com quatro diluições em triplicata, não utilizando curva padrão e, assim, não ser realizada triplicata da amostra, foram apresentados os resultados sem análise estatística de

correlação entre tratamentos, mas igualmente apresentados e expressos ao longo do tempo de armazenamento para cada tratamento aplicado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Gravimetria de rendimento do despulpamento e da secagem do resíduo da amora-preta Tupy e caracterização do resíduo fresco e seco

A quantidade inicial de amora-preta foi de 33,450 Kg. Ao realizar o despulpamento, o resíduo obtido ao final do processo foi de 4,466 Kg. Portanto, o rendimento de resíduo fresco foi de 13,35%, quantidade que usualmente seria descartada. Ao secar este resíduo, obteve-se um total de massa seca de 1,542 Kg, onde, após moagem e tamisação (separação das sementes), obteve-se uma quantidade de farinha num total de 1,060 Kg e de 0,5 Kg de sementes. Assim, houve uma perda de água de 65,48%, com resultado de extrato seco de 34,52%, sendo que destes, 68,53% é de farinha e 31,46% de sementes.

O tempo total de secagem, até massa constante, foi de 9 horas, nas exatas condições descritas na metodologia. Este tempo pode variar conforme a espessura da massa do resíduo distribuída nas bandejas, numa mesma temperatura empregada.

Foram determinados os parâmetros de sólidos solúveis totais e acidez total titulável do resíduo fresco, antes da desidratação. Os SST ficaram em 10° Brix, enquanto a ATT ficou em 0,93%. A partir destes dados, foi possível calcular o Índice de Maturação – Ratio, que é a relação entre SST/ATT. Assim, o Ratio apresentou um valor de 10,75. O cálculo do Ratio é importante para realizar comparações com outros estudos, dos valores posteriores de compostos bioativos, já que este índice permite saber em qual estágio de maturação se encontrava o fruto, o que pode influenciar na quantidade destas substâncias produzidas pela planta e acumuladas nos tecidos vegetais (DEYLAMI *et al.*, 2016; ROTILI *et al.*, 2022).

A amora é um fruto não-climatérico, portanto as mudanças ligadas ao amadurecimento ocorrem de forma lenta e gradativa, enquanto estes frutos estão ligados à planta. Assim, devem ser colhidos na maturidade horticultural, ou seja, quando estiverem com características ótimas para o consumo e processamento. Qualquer mudança no manejo do tempo de colheita, pode influenciar nos resultados finais de composição. Ainda, os frutos não-climatéricos sintetizam compostos voláteis

em menor quantidade e com aroma menos intenso que os frutos climatérios (KOBBLITZ, 2015).

Realizado o processo de desidratação, moagem e tamização, obteve-se, então a farinha. A Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n° 711, de 1° de julho de 2022, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, define farinha como o:

Produto obtido de partes comestíveis de uma ou mais espécies de cereais, leguminosas, frutos, sementes, tubérculos e rizomas por moagem ou outros processos tecnológicos considerados seguros para a produção de alimentos.

Os requisitos de composição, qualidade, segurança e rotulagem que os diversos tipos de farinha devem seguir estão descritos na mesma RDC n° 711/2022. Com relação aos requisitos físico-químicos, as farinhas devem conter teor de umidade inferior a 15 %, serem denominados inicialmente de farinha, seguido do nome comum das espécies vegetais utilizadas e podem ser adicionados outros ingredientes que não descaracterizem o produto. Para além disto, o produto mencionado – farinha - pode ser caracterizado por denominações consagradas pelo uso, podendo ser acrescida de expressões relativas ao ingrediente que caracteriza o produto - resíduo, processo de obtenção – desidratado/seco - forma de apresentação - moído, finalidade de uso e/ou característica específica.

Neste caso específico, a farinha produzida poderia ser conceituada como farinha de resíduo de amora e/ou simplesmente farinha de amora. Sande, Fabrini e Souza (2018) destacam que as farinhas produzidas a partir de resíduos de frutas e verduras é uma opção de aproveitamento que tem recebido muita atenção e já apresenta alguns exemplares de produtos no mercado, em componentes ou misturas.

As principais análises físico-químicas iniciais do produto no qual emprega-se o método de secagem, segundo Santana e Silva *et al.* (2021), em revisão de diversos estudos da técnica sendo empregada em vegetais, são a cor, o pH, a acidez, o Brix e a composição centesimal. A Tabela 3 apresenta a composição centesimal do resíduo fresco obtido a partir do despulpamento da amora-preta e do resíduo seco a 65° C. A umidade inicial do resíduo era de 63,82%. Zafra-Rojas *et al.* (2018) estudando resíduo de amora mexicana, encontraram valor de umidade de 74,83%, caracterizando o produto como fibroso e semissólido. Em relação ao teor de umidade final após desidratação, observa-se que o parâmetro se encontra dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente, abaixo de 15%, apresentando um teor de 9,66% de umidade final.

Dos demais macronutrientes contidos na farinha do resíduo de amora, destaca-se o conteúdo proteico, 8,32% e a fibra bruta 12,89%. Na farinha tradicional de trigo, o conteúdo mínimo proteico deve ser de 7,5%, sendo assim, a farinha do resíduo de amora encontra-se igualmente dentro dos parâmetros convencionais. Contudo, para farinhas gerais, não há conteúdo de macronutrientes determinados, além da umidade máxima (BRASIL, 2022). Com relação ao conteúdo de fibras, apresentou um valor significativo antes e após a secagem. Cabe ressaltar que o resíduo fresco analisado continha as sementes, as quais foram separadas após a secagem e moagem. Portanto, não há como realizar uma comparação do conteúdo antes e depois da secagem. Contudo, pode-se afirmar que as sementes contribuem muito para a quantidade de fibras presentes, já que os valores ficaram muito próximos, mesmo com a quantidade de umidade contida no resíduo fresco.

A denominação do que são fibras têm passado por uma readequação. Do ponto de vista analítico, as fibras podem ser divididas em solúvel e insolúvel. Em razão de algumas propriedades, algumas ainda são fermentescíveis e/ou viscosas e outras são não fermentescíveis. Já do ponto de vista fisiológico, as solúveis seriam capazes de formar géis, apresentando capacidade de afetar a absorção de glicose e lipídeos, enquanto as insolúveis auxiliariam a formar o bolo alimentar, com maior influência no funcionamento intestinal. Porém, esta distinção fisiológica de forma simplificada é inadequada, já que algumas fibras insolúveis são fermentáveis, caso do amido resistente e alguns tipos solúveis não afetam a absorção de glicose e lipídeos (PIMENTEL; ELIAS; PHILIPPI, 2019).

De acordo com o método analítico empregado, as fibras determinadas seriam com relação a porção relacionada especificamente às fibras não digeridas em solução ácida e alcalina a 1,25%, assim, estariam relacionadas ao benefício de compor o bolo alimentar, absorvendo água e contribuindo com a formação do bolo fecal. Além, claro, de diminuir a densidade energética do composto e baixar o índice glicêmico do alimento consumido.

Tabela 3. Composição centesimal do resíduo fresco e seco.

Macronutriente (%)	Amostra	
	Resíduo fresco	Resíduo seco
Umidade	63,82 \pm 8,41	9,66 \pm 0,28
Proteínas	3,58 \pm 1,42	8,32 \pm 0,18
Extrato etéreo	0,20 \pm 0,02	4,22 \pm 0,69
Cinzas	0,62 \pm 0,04	2,48 \pm 0,00
Carboidratos	19,01	62,43
Fibra bruta	12,77 \pm 1,19	12,89 \pm 0,42
Valor energético (kcal/100g)	92,16	320,98

Fonte: autora (2023)

A quantidade de carboidratos apresentou-se significativa, contribuindo com o valor energético elevado. É possível que parte deste composto determinado por diferença, possa ser de fibras fermentescíveis, as quais não foram determinadas, estando este valor equivocado e, portanto, sendo computado no valor energético erroneamente.

3.2 Resultados das análises de compostos bioativos e caracterização físico-química

As antocianinas, em meio a um pH maior que 2,0, possuem um equilíbrio entre o cátion flavílico e uma estrutura conhecida como pseubase carbinol. A variação de suas cores e formas do pigmento são dependentes do pH. Em meio ácido, as antocianinas encontram-se na forma de sais de oxônio, apresentando cor vermelho-brilhante. Com o aumento do pH, apresentam estrutura quinoidal e cor púrpura, e em meio alcalino cor azul (MARÇO; POPPI, 2008; KOBLITZ, 2015).

As Figuras 3 a 6 apresentam os gráficos com as curvas de ajustes aos dados de pH dos diferentes tratamentos ao longo do tempo de armazenamento. Verifica-se que todos os tratamentos apresentaram aumento nos valores de pH, o que pode interferir na cor apresentada pela farinha do início ao fim do tempo de armazenamento, devido ao pigmento que dá cor ao produto – a antocianina, ser codependente deste parâmetro físico-químico.

Pode-se observar também, que todos os tratamentos, com exceção do tratamento 2 (ALR), apresentaram valores de coeficiente de determinação com correlação muito forte, com valores acima de 0,90. O tratamento 2 (ALR), no tempo 1 e 2, apresentou um leve declínio de pH, com posterior aumento no decorrer do tempo, apresentando pontos distantes da curva, o que pode ter corroborado com um R^2 mais baixo. Todos os demais tratamentos apresentaram tendência de aumento do pH durante todos os intervalos de análise.

Figura 3. Curva de ajuste pH ALA.

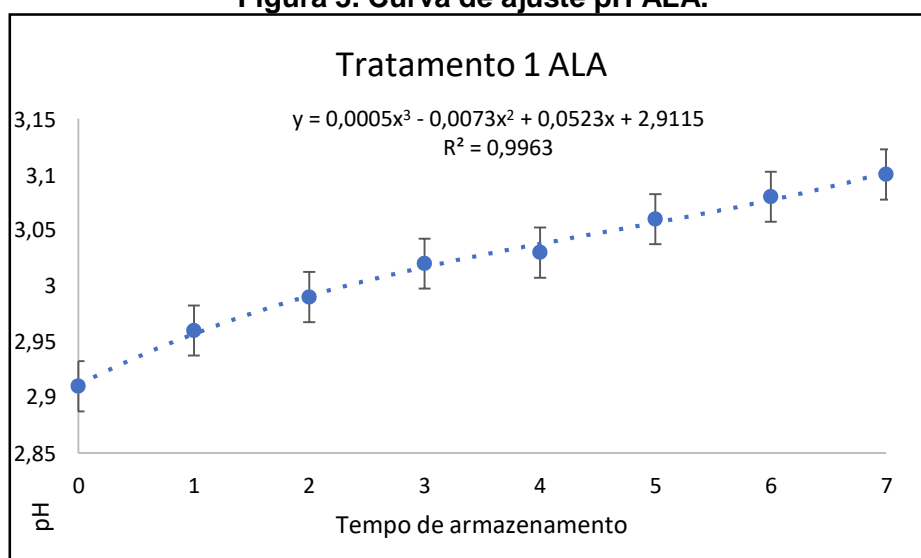


Figura 4. Curva de ajuste pH ALR.

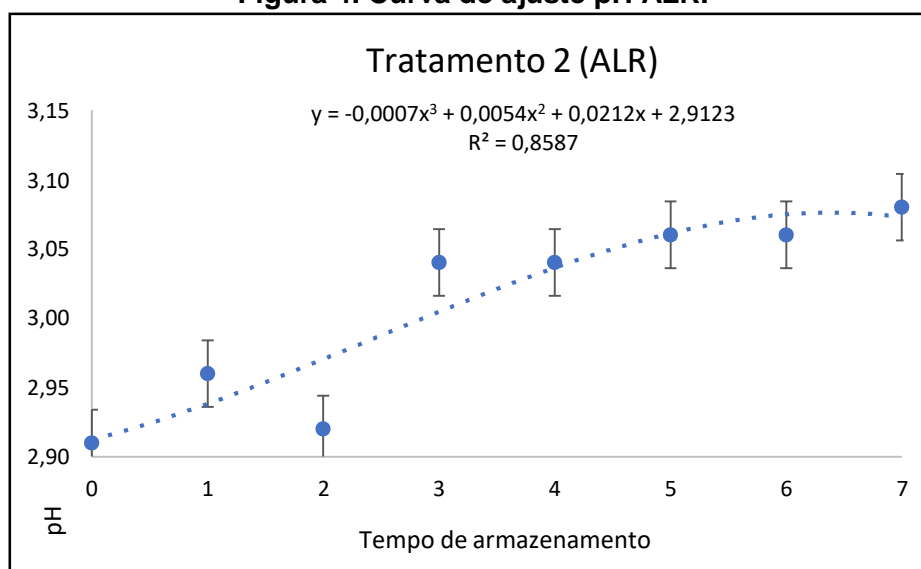


Figura 5. Curva de ajuste pH ILA.

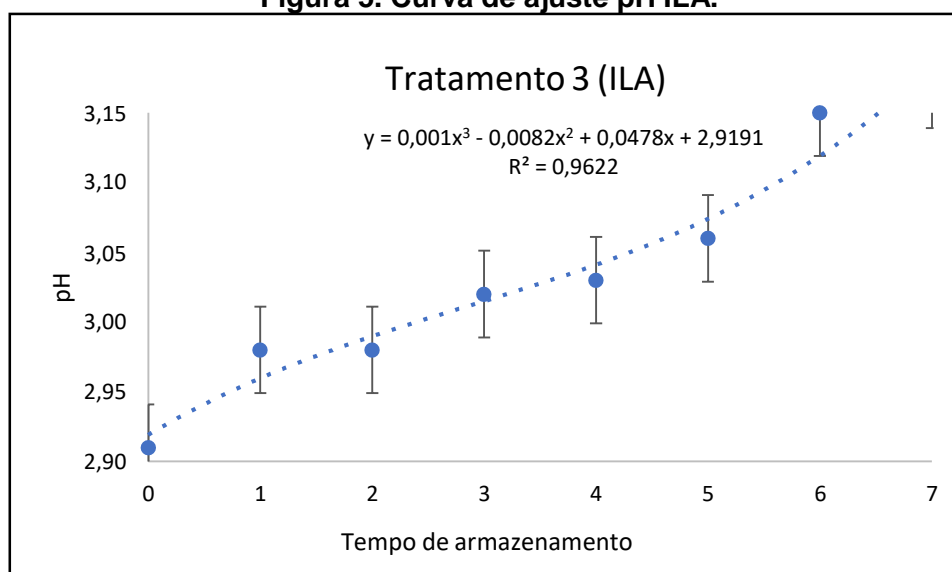
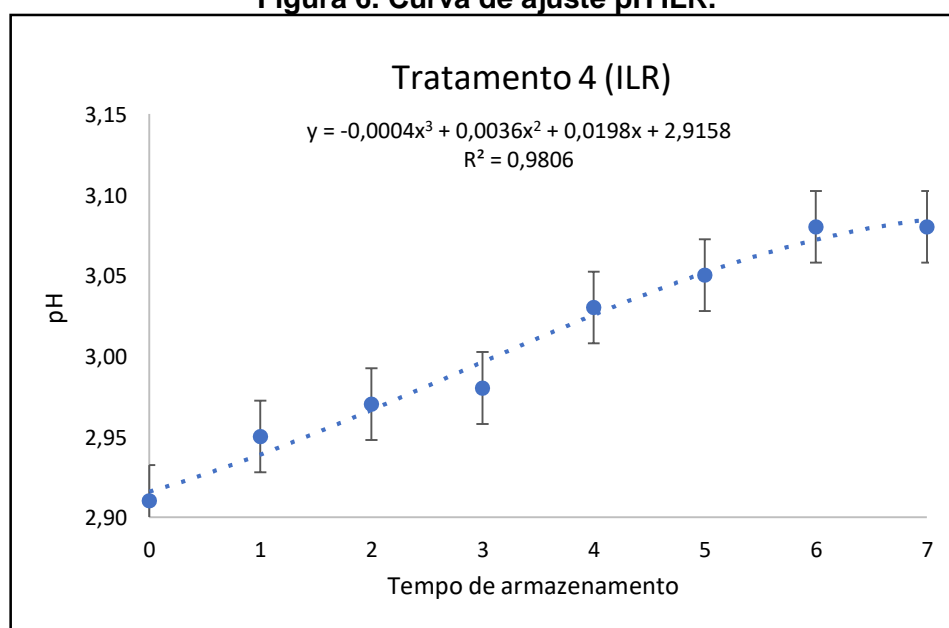


Figura 6. Curva de ajuste pH ILR.



Assim como o pH aumentou, a acidez das amostras apresentou tendência de redução ao longo do tempo de armazenamento, visto que estes parâmetros físico-químicos são inversamente proporcionais. As Figuras de 6 a 9 explicitam as curvas de ajuste para a acidez em porcentagem de ácido orgânico, com valores de R^2 apresentando correlação muito forte, todos com valores $\geq 0,96$.

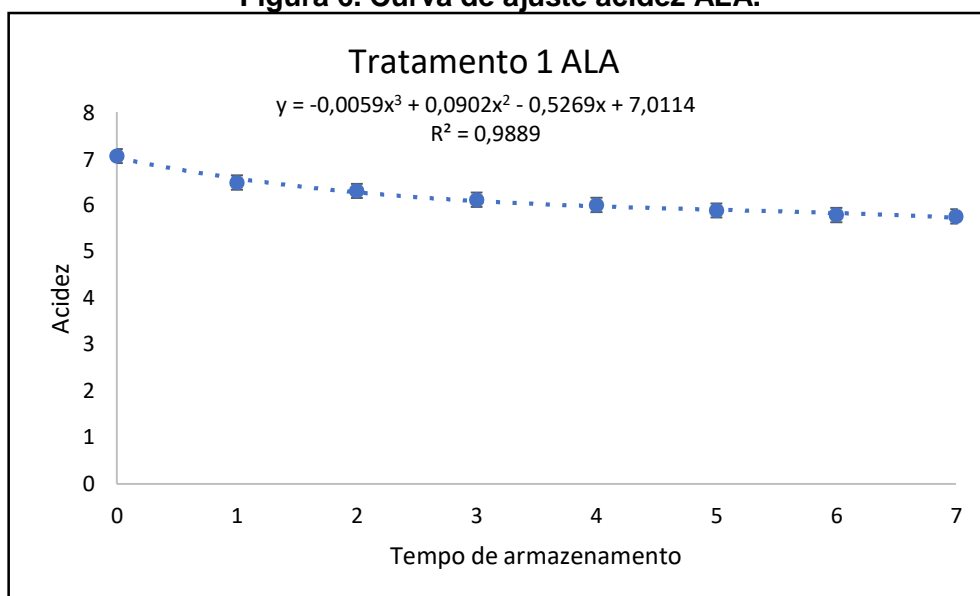
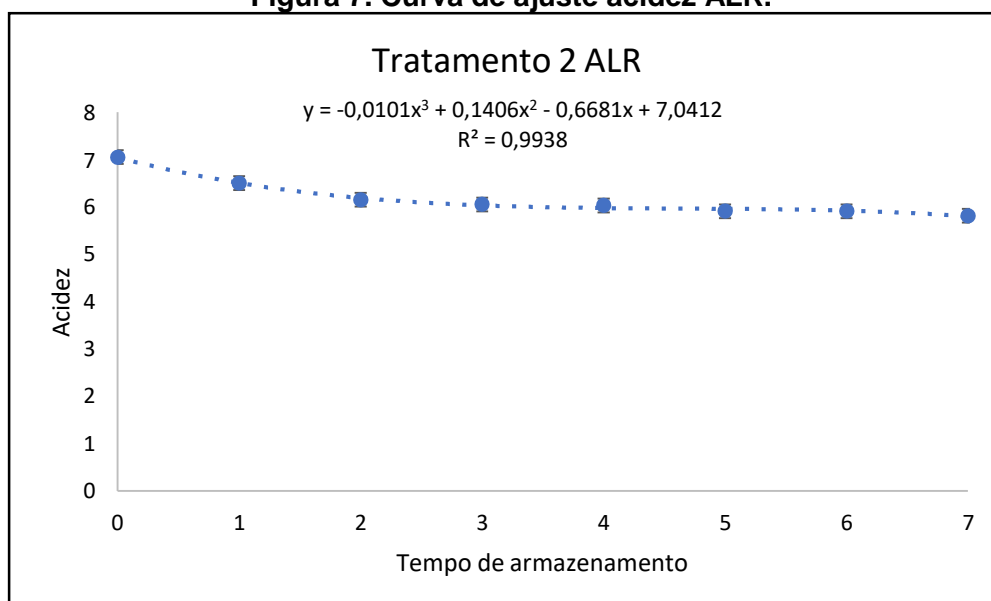
Figura 6. Curva de ajuste acidez ALA.**Figura 7. Curva de ajuste acidez ALR.**

Figura 8. Curva de ajuste acidez ILA.

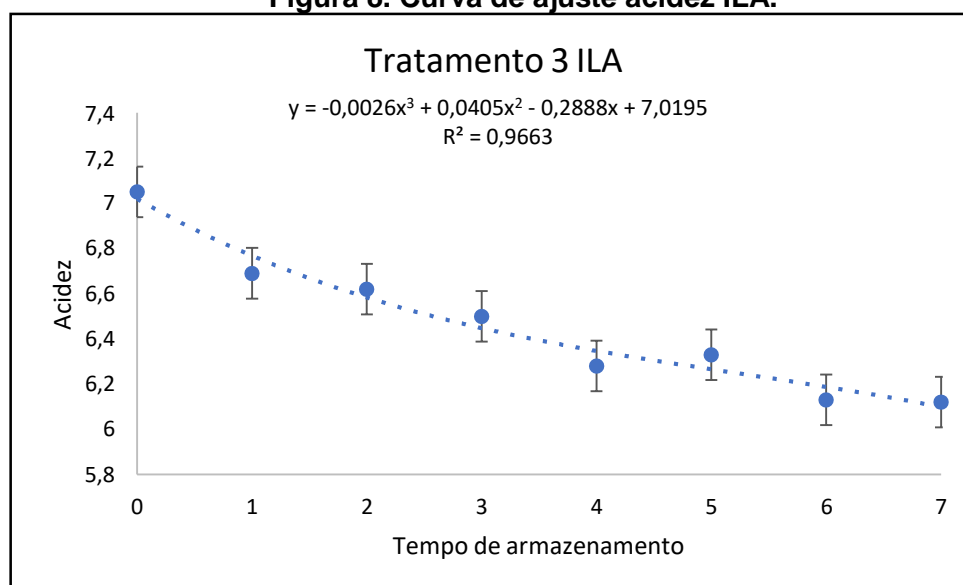
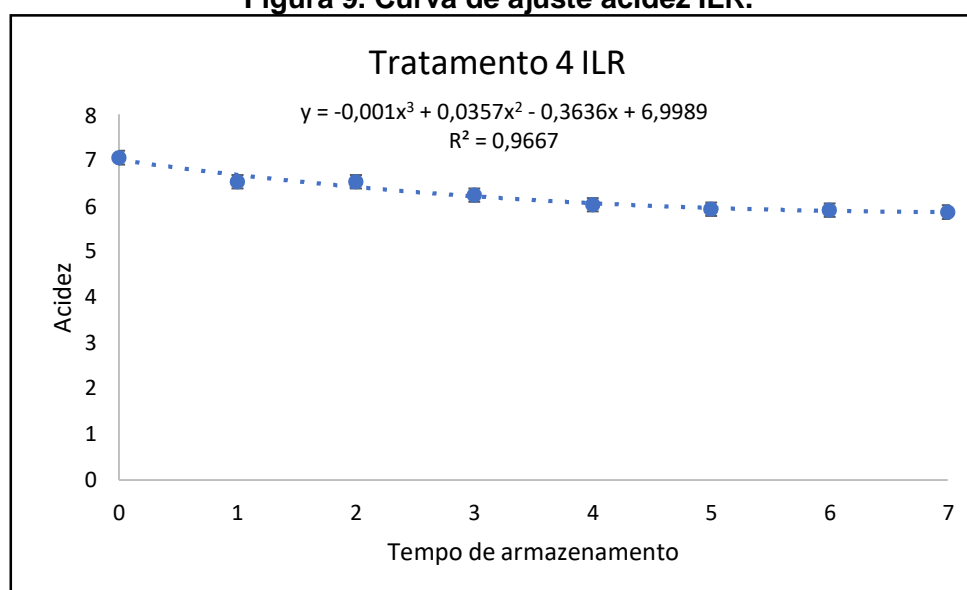


Figura 9. Curva de ajuste acidez ILR.



Já foi discutido que a acidez do meio contribui fortemente para a coloração da farinha produzida, pela interdependência deste parâmetro com o composto que dá cor ao produto, a antocianina. Para investigar a qualidade de forma sistemática e aprofundada é necessário medir objetivamente a cor, assim como a concentração do pigmento. A cor denota a aparência visual do produto – exerce influência em seu valor estético e serve de base para a aceitação dos produtos por parte dos consumidores - enquanto os pigmentos são os compostos químicos que conferem a cor desejada. Pigmentos antocianínicos se degradam facilmente durante o processamento e o armazenamento de alimentos, o que pode acarretar em um impacto na cor e, para

além disto, afetar as propriedades nutricionais. Por isso, o conteúdo total de antocianinas e os índices de cor polimérica são medidas interrelacionadas, já que as mudanças nos resultados numéricos possuem relação com a degradação da cor. Diferente do resultado de flavonoides totais, pois neste estão também contabilizados compostos bioativos de cores, muitas vezes, imperceptíveis no sistema CIELAB, mas possíveis de serem mensurados espectrofotometricamente (WROLSTADA; DURSTA; LEEB, 2005; MARÇO; POPPI, 2008).

O espaço de cor CIELAB não fornece definição de cor, além do cálculo do chroma (ΔC), mas é eficaz para medir diferenças de cor e rastrear mudanças durante o processamento e armazenamento de alimentos e ingredientes contendo pigmentos. Isto porque os pigmentos são compostos lábeis que sofrem uma série de reações degradativas, sendo a sua estabilidade variável em função da sua estrutura e da composição da matriz em que se encontra. Não obstante, fatores extrínsecos, como embalagens, exposição à luz, temperatura de armazenamento, poderão promover a destruição do pigmento. Em contrapartida, a umidade reduzida do alimento e/ou ingrediente, aumentará a sua estabilidade (WROLSTADA; DURSTA; LEEB, 2005).

As radiações luminosas, sejam naturais ou artificiais (caso do tratamento empregado), catalisam reações fotoquímicas em alimentos, principalmente em reações de oxidação, o que também se correlaciona com o aumento do pH. Quando o alimento é exposto à luz, a etapa de indução é acelerada. A energia luminosa é inversamente relacionada ao comprimento de onda. No entanto, a luz emitida por lâmpadas fluorescentes é mais pobre em energia e menos prejudicial aos alimentos do que a luz solar. A sensibilidade de um alimento à luz depende de fatores como o tempo de exposição, a intensidade (distância, ângulo e fonte luminosa), comprimento de onda, composição química do alimento, espectro de transmissão da embalagem e níveis de fotossensibilizadores (AZEREDO, 2012).

Sendo assim, a Tabela 4 apresenta os resultados dos parâmetros CIELAB, C^* inicial e final, calculado com a medição de a^* e b^* , bem como o resultado do ΔE , que denota a gradação de diferença, o Δh , que é a diferença de tonalidade e o ΔC que é a diferença de cor e/ou chroma. Quando os valores de ΔE se encontram na faixa de 3,5 a 5,9, diz-se que há uma diferença visível na mudança de cor ao longo do tempo, enquanto valores acima de 6,0 são altamente perceptíveis (HIKITA; TOYODA; AZUMA, 2001).

Tabela 4. Resultado da análise de cor.

Parâmetros colorimétricos	Tratamentos			
	1	2	3	4
	ALA	ALR	ILA	ILR
ΔE	5,11	5,12	7,60	7,40
Δh	7,21	7,23	10,71	10,46
C* inicial	29,39	29,39	29,39	29,39
C* final	30,90	30,58	31,15	31,97
ΔC	1,51	1,20	1,76	2,58

Como pode ser observado, os tratamentos com embalagens protegidas da luz - ALA e ALR -, tiveram resultados inferiores de ΔE , 5,11 e 5,12 em comparação com os resultados dos tratamentos com embalagens que permitiam a passagem de luz - ILA e ILR, com valores de 7,60 e 7,40, respectivamente.

Os tratamentos ALA e ALR, se diferenciavam exclusivamente pelo fator extrínseco de temperatura. As antocianinas, pigmentos que conferem a cor da farinha obtida, são instáveis em soluções com pH neutro e alcalino, contudo, mesmo em soluções ácidas – o que é o caso, a cor pode desaparecer gradualmente quando ocorre exposição do pigmento à luz e estas amostras estavam protegidas pela embalagem escura. Como já apresentado nos gráficos de pH e acidez, as amostras sofreram leve aumento do pH e diminuição da acidez em todas as amostras, porém continuaram em faixas consideradas ácidas (MARÇO; POPPI, 2008).

O resultado da análise inicial do resíduo antes da secagem apresentou valores de 25,69 ($\pm 0,50$) para L^* , 27,80 ($\pm 0,77$) para a^* e 11,92 ($\pm 0,21$) para b^* . Os valores de L^* e a^* são menores que o resíduo já seco e o b^* é maior. Ou seja, a amostra antes da secagem mostrava-se, portanto, com tendência mais escura, mas ainda na faixa direcionada à predominância do vermelho. Rigolon *et al.* (2020) estudaram a casca de amora-preta e determinou valores diferentes para estes parâmetros, com 31,12 para L^* , 19,41 para a^* e 6,41 para b^* . Tal resultado reforça que cada estudo é único, pois existem mudanças significativas que vão desde o modo de cultivo, até o tratamento inicial e final da amostra antes das análises, o conteúdo que se avalia (todo resíduo/parte dele), bem como nos métodos empregados em laboratório, o que torna difícil comparações fidedignas.

As Figuras de 10 a 21 apresentam as curvas de ajuste de ordem polinomial – terceira ordem, dos três parâmetros da análise de cor. Em relação ao parâmetro L^* , analisando-se visualmente os gráficos, nota-se que as curvas do tratamento com ausência de luz possuem a cinética muito parecida, assim como as curvas de incidência de luz também possuem a curva cinética com verossimilhança. A curva que apresentou o coeficiente de determinação (R^2) com maior correlação foi o do tratamento ALR, com valor de 0,9603. Porém, todas as curvas apresentaram valores de R^2 maiores que 0,90, o que corresponde a correlações muito fortes.

Figura 10. Curva de ajuste parâmetro L^* ALA.

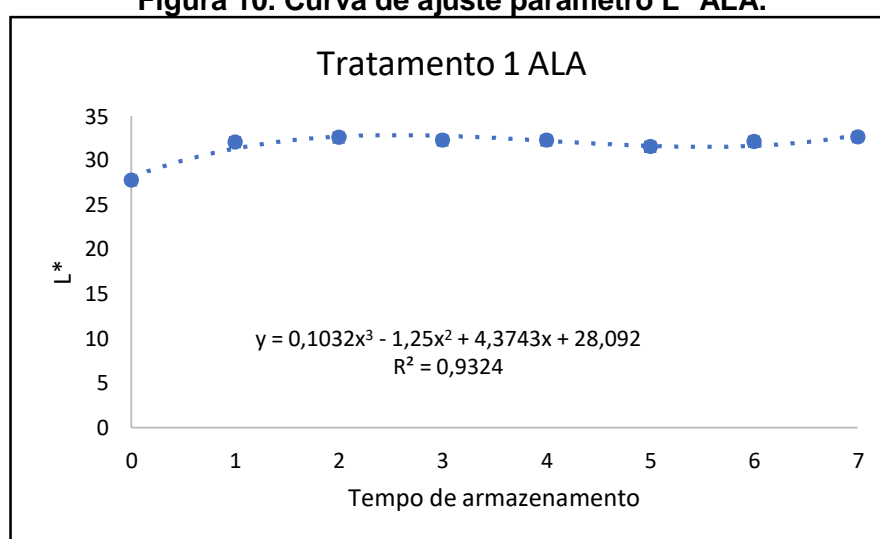


Figura 11. Curva de ajuste parâmetro L^* ALR.

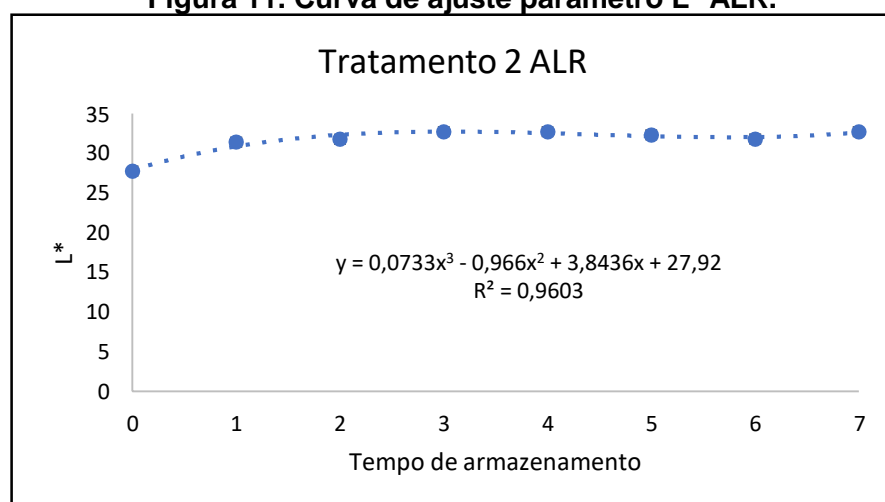


Figura 12. Curva de ajuste parâmetro L* ILA.

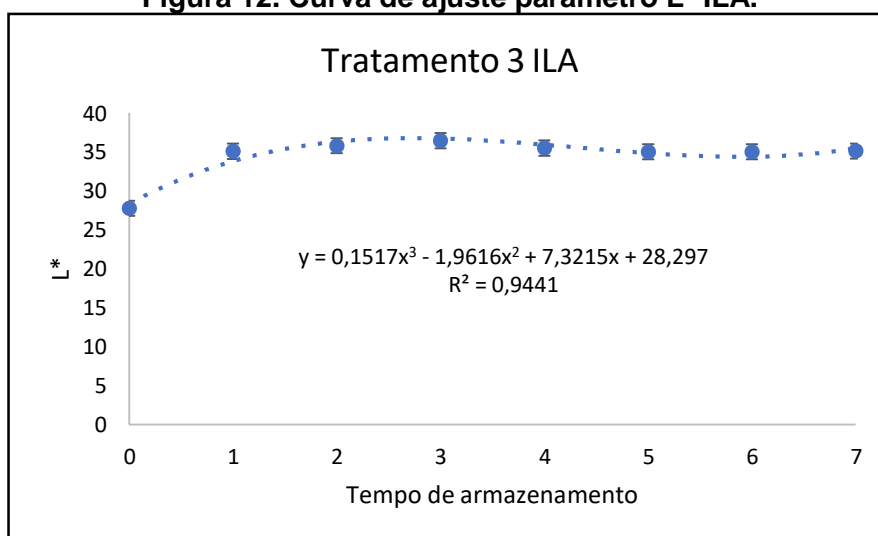
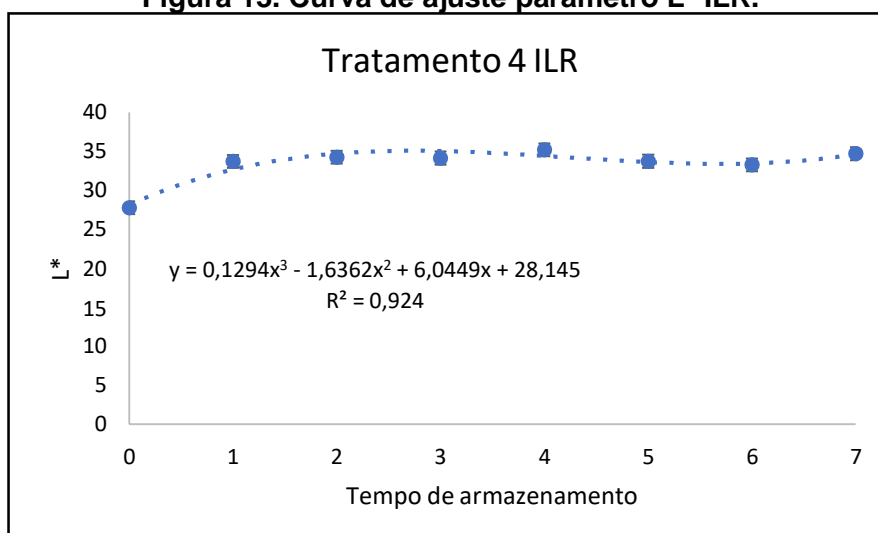


Figura 13. Curva de ajuste parâmetro L* ILR.



Referente ao parâmetro L*, responsável pela medida da luminosidade ou brilho, ou seja, se o produto está mais para o claro ou para o escuro, onde o preto corresponde ao 0 e o branco corresponde ao 100, todas as amostras apresentaram aumento em direção ao claro, com o maior valor para o tratamento ILA. O que significa que esta amostra apresentou a maior perda de cor ao longo do tempo de armazenamento, com influência da incidência de luz e da temperatura, a qual também apresentou o maior valor de ΔE , o que confirma esta afirmação.

O parâmetro a*, coordenada cromática que apresenta se a cor é mais vermelha +a ou mais verde -a, todos os resultados iniciais e finais foram positivos, partindo do valor 28,19 e aumentando gradativamente ao longo do tempo. Tal comportamento demonstra que o produto continuou predominantemente vermelho, porém, clareando

ao longo do tempo de armazenamento. Ao analisar este parâmetro conjuntamente com o parâmetro b^* , o qual apresenta se a cor é mais amarela $+b$ ou mais azul $-b$, com todos os valores positivos, iniciando-se em 8,30 e subindo gradativamente, com tendência ao amarelo, nota-se que ocorreu perda de cor, visto que aumentaram em direção ao positivo. Segundo Deylami *et al.* (2016) o parâmetro a^* é o mais suscetível a detectar mudanças na coloração das antocianinas e quando diminui é porque há formação de pigmentos acastanhados, com formação de chalconas e diminuição da forma colorida, com perda de vermelhidão, o que não ocorreu neste estudo. Chalcona é uma forma instável e se degrada posteriormente em produtos marrons.

Interessante destacar que ao considerar o aumento do pH e a diminuição da acidez apresentada por todas as amostras, estes valores cromáticos acendem com este comportamento, já que as antocianinas, responsáveis pela pigmentação desta farinha, tem mais estabilidade em meio ácido, despigmentando-se com a perda de acidez. A tonalidade vermelha brilhante deste composto é encontrada predominante em condições ácidas. O tratamento que mais apresentou aumento do pH foi o ILA, ficando em 3,17. A Tabela 7, que apresenta as diferenças significativas entre os tratamentos após 4 meses e no tempo 0, corrobora com a análise de cor, já que o único tratamento que se diferenciou foi o ILA, tanto no resultado do pH, como no resultado antociânico. Já para a acidez, todos os tratamentos apresentaram diferença significativa somente em relação ao tempo zero, ou seja, ao início do tratamento, não tendo diferença dos tratamentos ao final do tempo de armazenamento (FANA *et al.*, 2019).

Com relação às curvas de ajuste polinomiais dos parâmetros a^* e b^* , observa-se que o R^2 de todos os ajustes estão acima de 0,90, e ainda que as curvas dos tratamentos com incidência de luz, possuem maior verossimilhança dentro do mesmo parâmetro, o que pode sugerir que a degradação pela luz não possui influência negativa ou positiva em razão da temperatura.

Figura 14. Curva de ajuste parâmetro a* ALA.

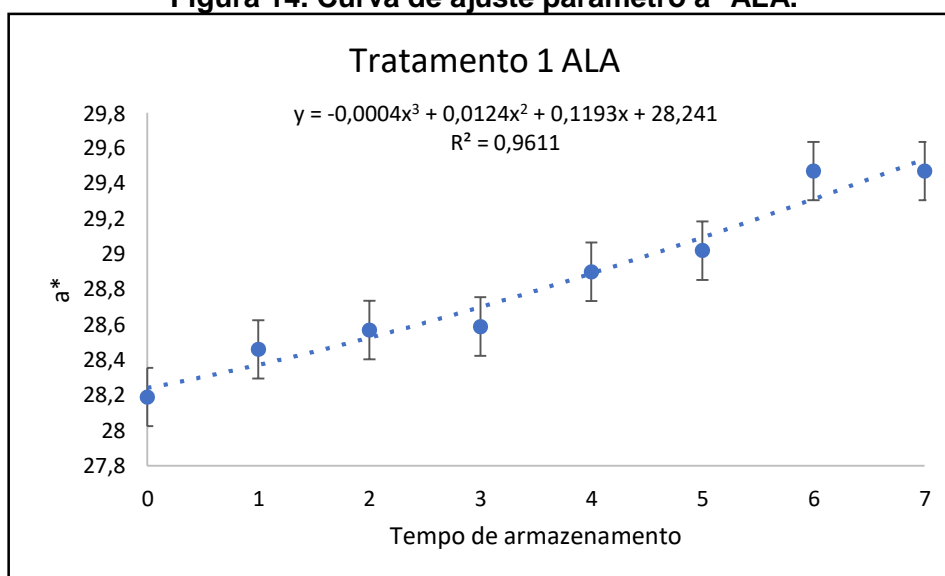


Figura 15. Curva de ajuste parâmetro a* ALR.

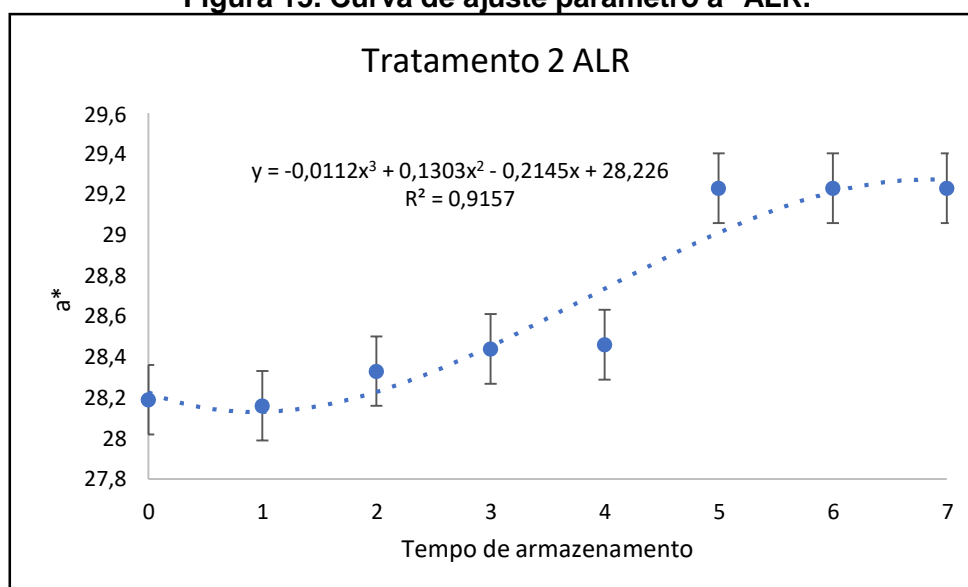


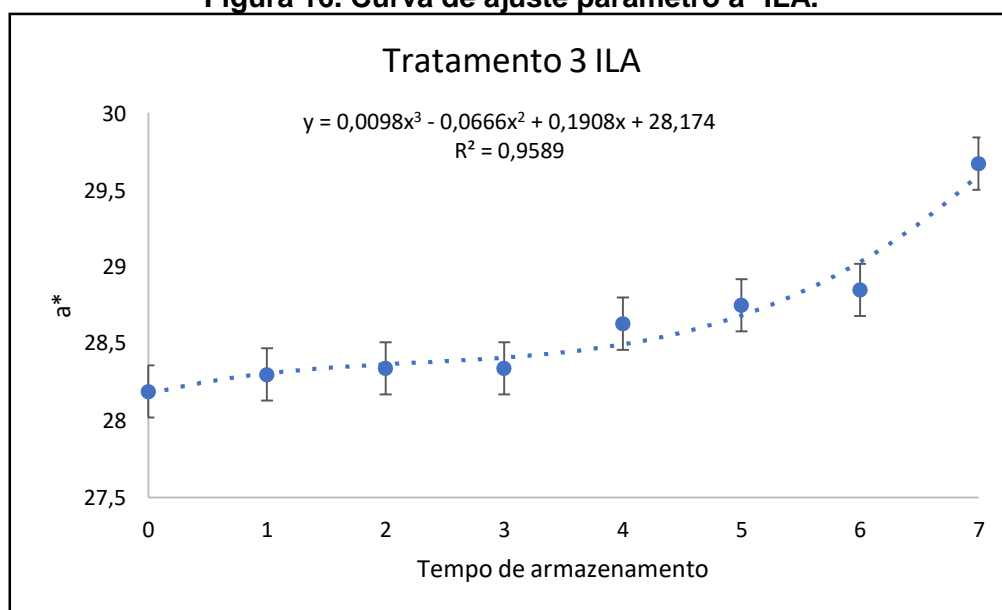
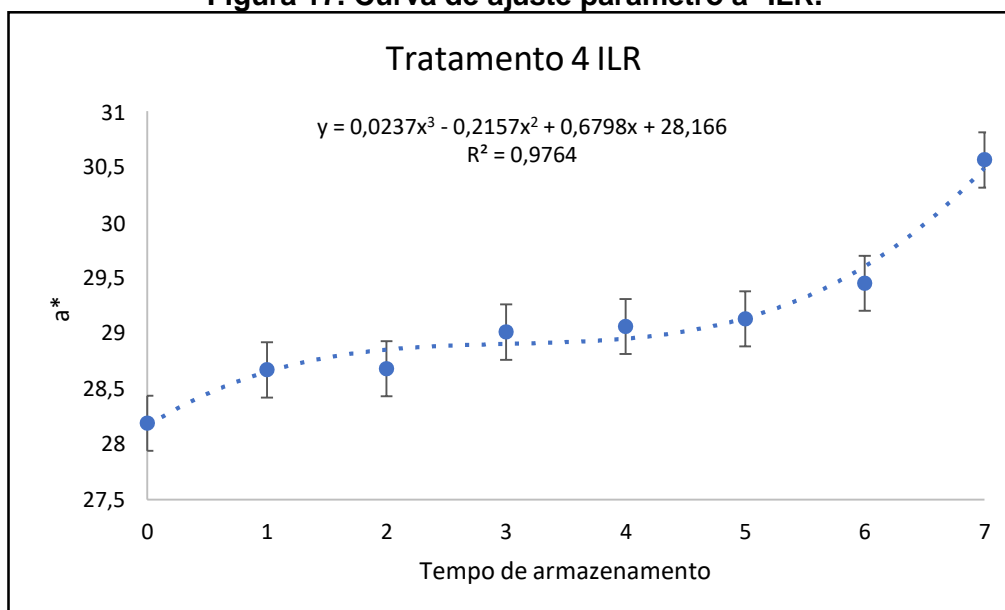
Figura 16. Curva de ajuste parâmetro a* ILA.**Figura 17. Curva de ajuste parâmetro a* ILR.**

Figura 18. Curva de ajuste parâmetro b* ALA.

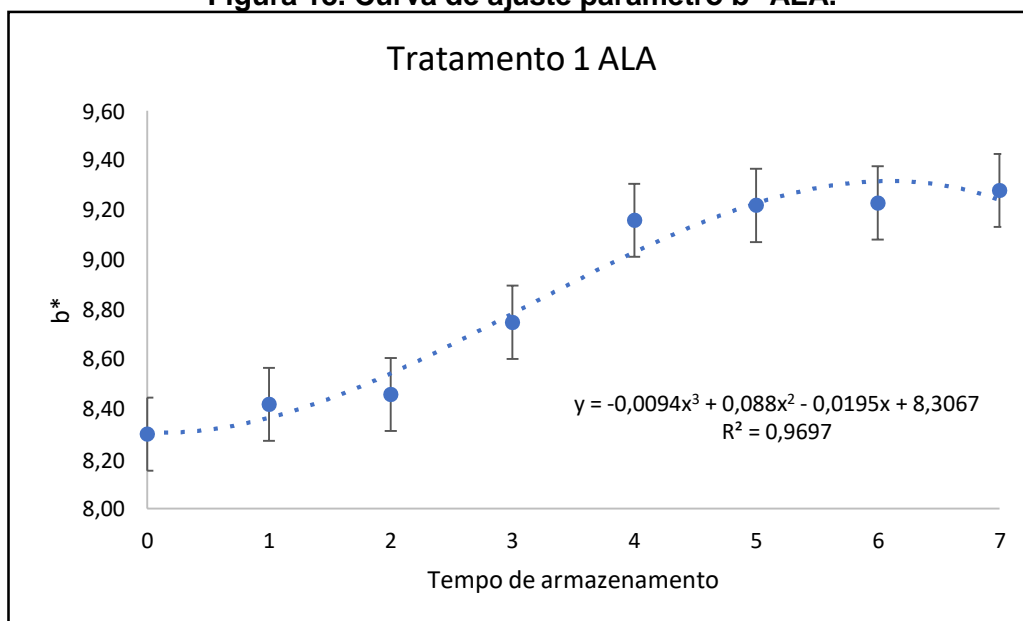


Figura 19. Curva de ajuste parâmetro b* ALR.

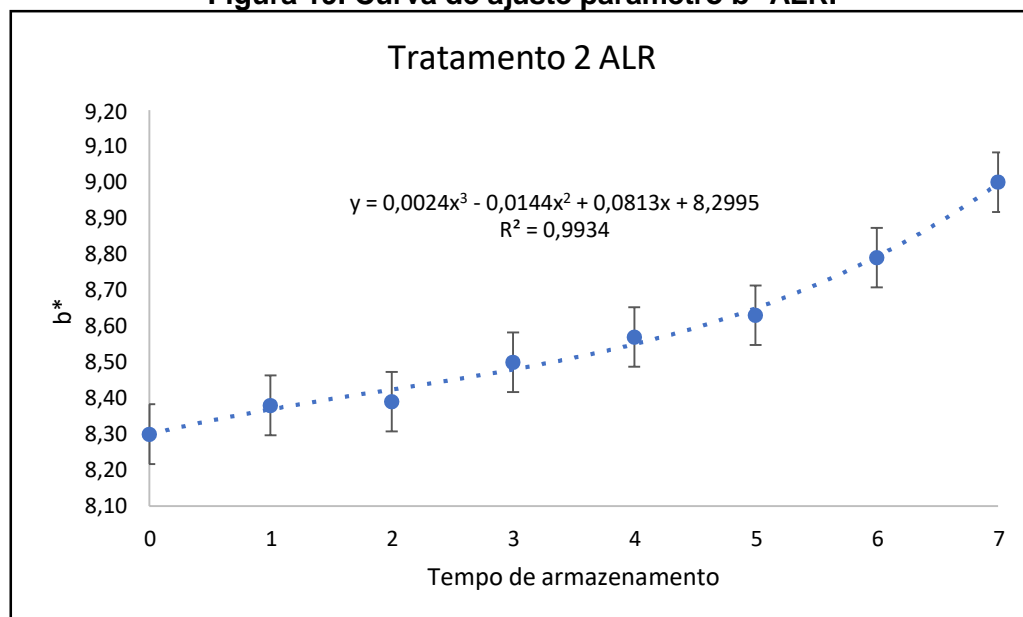


Figura 20. Curva de ajuste parâmetro b* ILA.

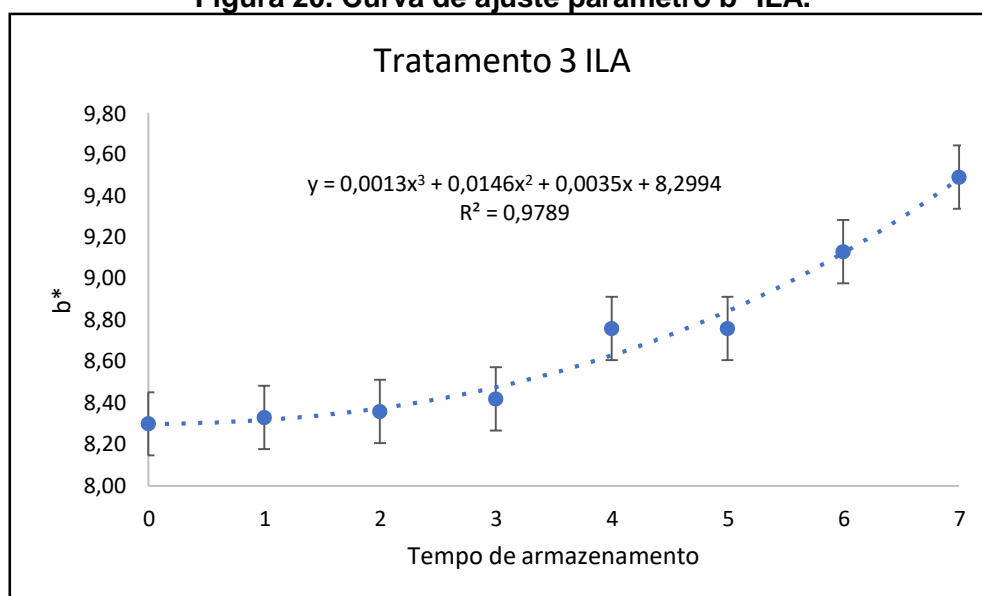
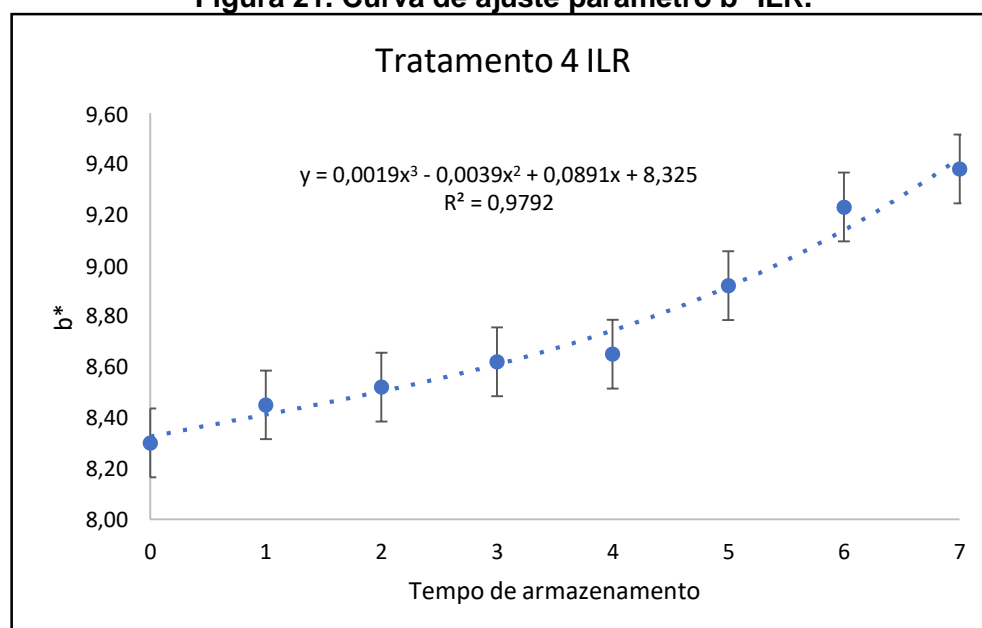


Figura 21. Curva de ajuste parâmetro b* ILR.



No trabalho conduzido por Gerardi *et al.* (2022), com farinha de bagaço de uva, amostras armazenadas por tempo prolongado em temperatura de 4°C e 25°C, no escuro, também apresentaram aumento em todos os parâmetros colorimétricos L*a*b*, sugerindo leve clareamento da cor vermelha (L*a*) e em direção ao amarelo (b*). Ao analisar o Diagrama do Espaço de Cor CIELAB, o encontro de todos os parâmetros medidos, para todas as amostras, encontra-se no quadrante superior direito, predominantemente vermelho, visto que o encontro das linhas a* (eixo x) e b* (eixo y), encontram-se mais próximos da linha do x, que é vermelho. É este encontro

entre os parâmetros a^* e b^* que determina a cor da amostra C^* , a qual aumentou com o tempo de armazenamento. O valor de C^* é a força relativa de qualquer cor, sendo que quanto maior for o seu valor, maior é a saturação das cores perceptíveis ao ser humano (SANTOS; PARAÍSO; MADRONA, 2020).

Cabe salientar que as cores vermelha, azul e roxa nas frutas dependem das antocianinas e ainda do número e orientação dos grupos hidroxila e metoxila da molécula. Portanto, um aumento na hidroxilação produz uma mudança para tons azuis, enquanto um aumento na metoxilação gera coloração vermelha. Tal afirmação sugere que o resíduo da amora-preta analisado pode conter grande quantidade de grupos metoxila (ZAFRA-ROJAS *et al.*, 2018).

Em produtos naturais, a maioria das substâncias responsáveis pela coloração pertencem à classe dos flavonoides – estrutura marcada pela presença de um esqueleto com 15 átomos de carbono, arranjados em 3 (três) anéis, que são divididos em classes dependendo do estado de oxidação do anel de pirano. São formados a partir dos aminoácidos aromáticos L-fenilalanina e L-tirosina. Sua classificação baseia-se de início no estudo das propriedades de solubilidade e reações de coloração, sendo considerados o maior grupo de compostos fenólicos. Os principais flavonoides encontrados no reino vegetal são as flavonas, flavanonas, isoflavonas, flavonóis, flavanóis e antocianinas. Especialmente nas bagas vermelhas a roxas, os principais polifenóis encontrados são as antocianinas e os flavonóis, os quais possuem variadas evidências epidemiológicas indicando os benefícios para a saúde cardiovascular do consumo destas frutas (WENZEL, 2012; MARÇO; POPPI, 2008; SHI *et al.*, 2021; GRUNOVAITÉ *et al.*, 2016).

Na farinha do resíduo de amora-preta foi possível identificar valores elevados de flavonoides totais. A leitura da absorvância foi feita em 425 nm, que é um comprimento de onda maior do que os flavonoides isolados, contudo, nesta medida, evita-se a interferência de outros compostos fenólicos, como ácidos fenólicos, que também formam complexos com alumínio, mas em comprimentos de onde menores. O complexo de alumínio utilizado na análise, reage principalmente com flavonóis e flavonas (MARÇO; POPPI, 2008).

As Figuras 22 a 25 apresentam os gráficos com as curvas polinomiais de conteúdo flavonoídico ao longo do tempo de armazenamento. É interessante notar que primeiramente ocorre uma perda de flavonoides, com ligeiro aumento entre os tempos 4 e 5, e novamente queda de compostos.

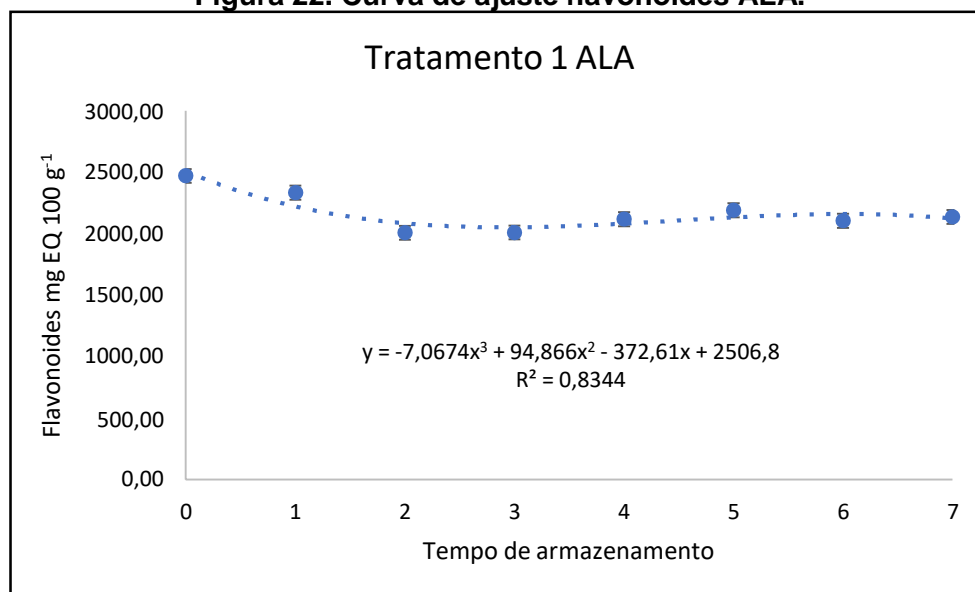
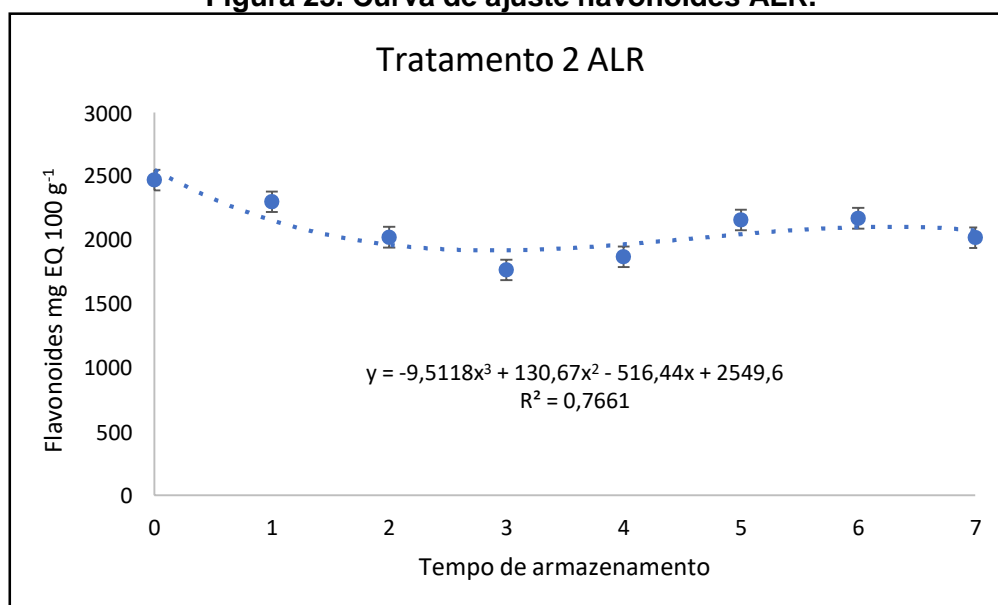
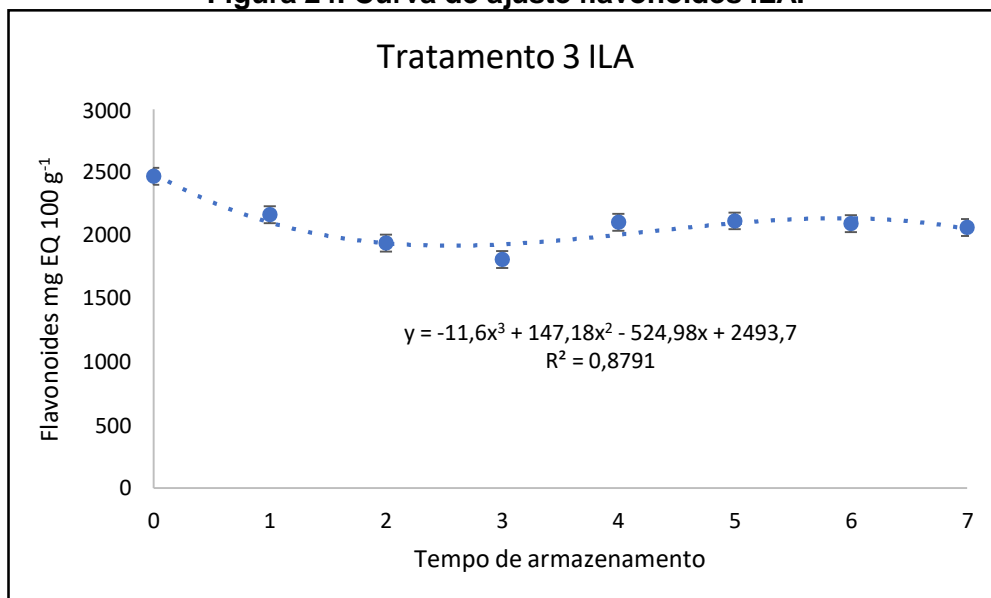
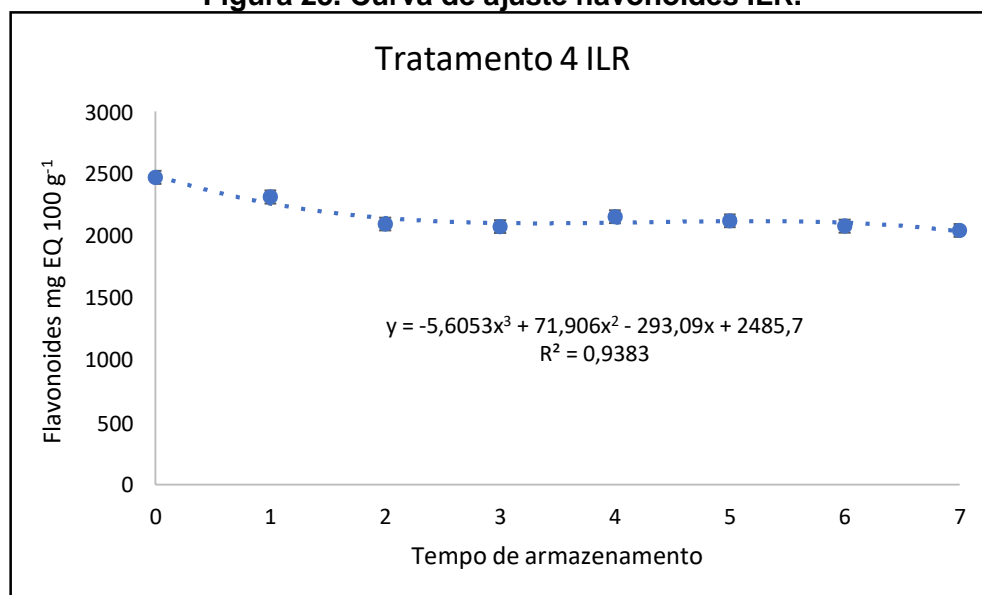
Figura 22. Curva de ajuste flavonoides ALA.**Figura 23. Curva de ajuste flavonoides ALR.**

Figura 24. Curva de ajuste flavonoides ILA.**Figura 25. Curva de ajuste flavonoides ILR.**

Este comportamento é facilmente explicado em um trabalho recente de Gerardi *et al.* (2022) com farinha de bagaço de uva. A partir deste trabalho, pesquisadores notaram aumento do conteúdo de alguns compostos bioativos ao longo do tempo de armazenamento, explicado pelas alterações na estrutura dos tecidos vegetais e celulares, afetando a degradação de moléculas ligadas covalentemente – ligação forte, levando a um aumento na solubilidade e, conseqüentemente, melhor extração de tais compostos durante as análises (preparação das amostras). Contudo, ao longo do tempo, mesmo com aumento da solubilidade, ocorreu novamente queda de

conteúdo flavonoídico. Nota-se também que os coeficientes de determinação, com exceção do tratamento ILR, foram todos abaixo de 0,90, o que demonstra uma correlação mais baixa nos resultados.

Contudo, os valores finais de compostos flavonoídicos ainda são elevados, mesmo após 4 meses de armazenamento. Segundo Wenzel (2012), as frutas contêm entre cinco e dez diferentes glicosídeos de flavonóis (forma de existência destes compostos nos tecidos). Como a sua biossíntese é estimulada pela luz, é lógico que estes compostos se concentrem nos tecidos externos dos frutos, o que corrobora para que os resíduos apresentem valores elevados de fitoquímicos, por vezes, mais que a própria polpa.

Outro fator importante a considerar é o tratamento inicial do resíduo. A temperatura de desidratação de 65° C permite a inibição da atividade enzimática da polifenoloxidase, o que pode contribuir com a estabilidade dos compostos bioativos durante o armazenamento. Contudo, reações alimentares são de natureza complexa e somente um estudo específico da influência deste parâmetro em determinada matriz alimentar pode confirmar se a sua inativação contribuiu ou não com resultados positivos neste estudo (DEYLAMI *et al.*, 2016).

Além do aspecto nutricional que o consumo de compostos bioativos traz, e, neste caso demonstrado, vê-se que há uma concentração elevada na farinha produzida, é importante salientar que os flavonoides se comportam como copigmentos da sua subclasse – as antocianinas. A estabilidade das antocianinas ao descoloramento é aumentada pela presença de flavonoides não antociânicos, especialmente os flavonóis. Ocorre uma associação entre a antocianina e o flavonol: por ligações de hidrogênio, de modo que o flavonol venha a formar uma estrutura protetora envolvendo a antocianina, formando uma estrutura estável e melhorando a sua coloração (ZHANG *et al.*, 2020; SHI *et al.*, 2021).

Em estudo de Fana *et al.* (2019), resíduo de amora utilizada para produção de vinho foi submetido a diversos tratamentos com pigmentos fenólicos com intuito de verificar o comportamento destes compostos como copigmentos. Ao comparar as amostras controle com as copigmentadas, constataram maior estabilidade da coloração, com efeitos positivos na manutenção das antocianinas pelos fenólicos. Esta associação entre pigmento e copigmentos é intensificada até o pH máximo de 3,5. Tal condição está presente no resíduo após 4 meses de análise (BCAKOWSKA; KUCHARSKA; OSZMIANSKI, 2003).

A cor de um produto alimentício é um dos atributos de qualidade de maior influência estética, servindo de base para a aceitação por parte dos consumidores. Neste caso, as antocianinas contribuem fortemente para a aparência da cor das frutas e vegetais, mas também com benefícios relacionados à saúde, tendo funções biológicas antioxidantes, anticancerígenas, antidiabetes, anti-inflamatória e de prevenção às doenças cardiovasculares. Estes pigmentos naturais são solúveis em água, amplamente distribuídos na natureza, responsáveis pelas cores vermelha, roxa e azul dos diferentes tecidos e em diferentes plantas, sendo derivados da estrutura básica do cátion flavilium, deficiente em elétrons e, portanto, muito reativo. Estão frequentemente associados a açúcares, ligados à hidroxila e quando livres dos açúcares (aglicona) são chamados de antocianidinas (ZHAO *et al.*, 2020; KOBLITZ, 2015; ZHANG *et al.*, 2020).

A cianidina 3-glucosídeo é a antocianina mais difundida na natureza, considerada padrão para a quantificação deste composto (LÓPES *et al.*, 2018). Os gráficos contidos nas Figuras 26 a 29 apresentam os resultados antociânicos ao longo do tempo de armazenamento da farinha, com valor inicial de 339,03 mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo para todas as amostras. Zafra-Rojas *et al.* (2018) encontraram valores ligeiramente maiores em amostra de resíduo de amora mexicana, 364,53 mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo, contudo, as sementes não foram separadas do resíduo e, para além disto, foram submetidas a liofilização.

Vagini e Jensen (2017), em pesquisa com bagaço de *chokberry* preto, seco a 65° C por 8 horas, encontraram valores máximos na ordem de 187,4 mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo na quantificação de antocianinas pelo método de pH diferencial, valor menor do que o encontrado inicialmente neste estudo. Desta forma, o resíduo da amora-preta se torna uma fonte mais rica de compostos antociânicos.

A degradação das antocianinas ocorre por reações de primeira ordem, afetada por vários fatores endógenos e exógenos, como presença de fenólicos, proteínas, carboidratos, luz, variações de temperatura, presença de oxigênio, variações de pH, presença de íons metálicos, dentre outros. O sistema alimentar proposto, produzido na sua integralidade, sem exclusão de nenhum componente, é um sistema complexo, contendo diversos elementos que podem interferir tanto positivamente – como é o caso dos flavonóis (sendo copigmentos) –, como negativamente, no caso de interferências na biodisponibilidade (ZHANG *et al.*, 2020).

A fibra dietética, por exemplo, pode proteger os compostos bioativos da degradação e absorvê-los para estabilização durante os tratamentos térmicos. O resíduo fresco também foi determinado e continha inicialmente 53,29 ($\pm 8,32$) mg 100 g⁻¹ de cianidina 3-glucosídeo, que foi concentrada durante a perda de umidade. Estudos demonstram que o estado sólido e pastoso representa um bom sistema alimentar para a reserva de bioatividade em relação aos líquidos e os tratamentos térmicos foram fatores chave na influência da retenção da bioatividade. Neste caso, aponta-se que o resíduo fresco possuía esta consistência pastosa e semissólida antes do tratamento térmico (ZHANG *et al.*, 2020; KUBRA; TURKYYLMAZB; OZKANC, 2020).

Outro fator importante quando se quantifica e se propõe uma comparação de conteúdo de compostos bioativos com outros estudos é o método utilizado para extração e quantificação. Isto porque o resultado é interdependente de qual solvente foi utilizado, o tempo de extração e a temperatura empregada. Qualquer modificação nestes parâmetros impõe divergências nos resultados quantitativos.

Lima *et al.* (2020) em estudo com o solvente etanol acidificado em diferentes proporções de concentração e empregando dois (2) métodos distintos, obtiveram resultados muito distantes na quantidade de antocianinas entre soluções e entre métodos para uma mesma amostra. Tal resultado corrobora com a afirmação supracitada. Já Alcântara *et al.* (2019) compararam extrações com solvente isolado e combinado e constatou que o solvente isolado obteve resultados quantitativos antociânicos inferiores em relação aos extratos com solventes combinados.

As Figuras 26 a 29 apresentam as curvas de ajuste polinomial dos resultados antociânicos ao longo do tempo de armazenamento, com todos os coeficientes apresentando correlação muito forte, acima de 0,90.

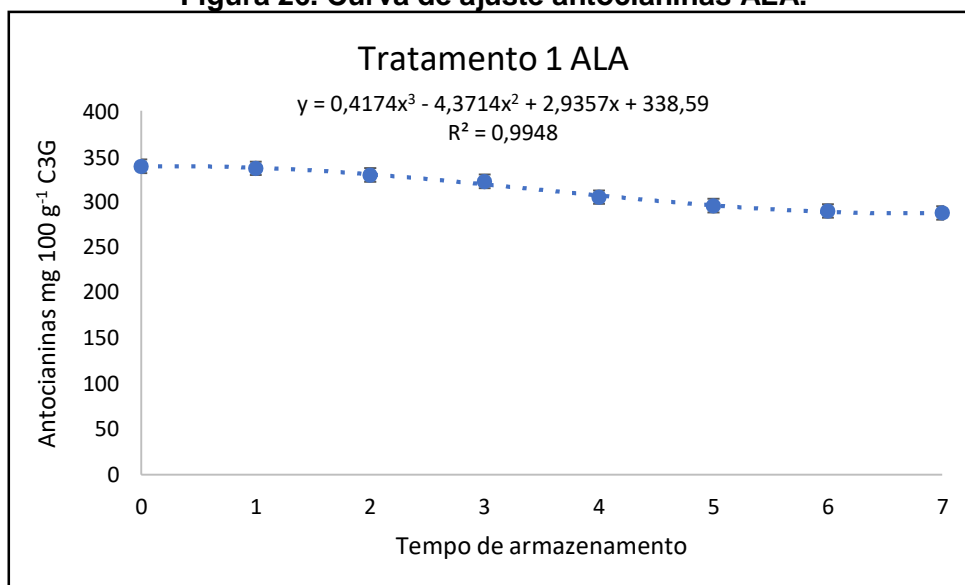
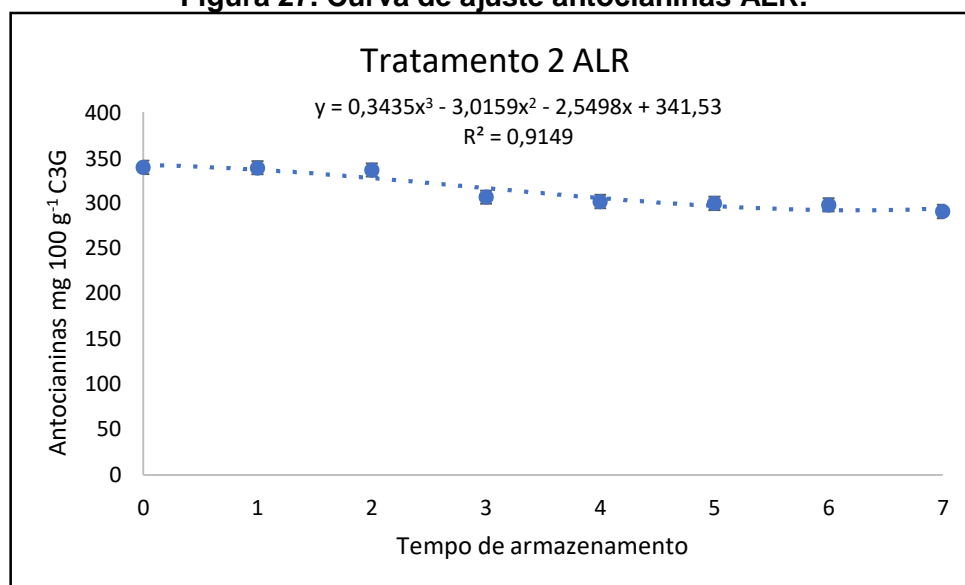
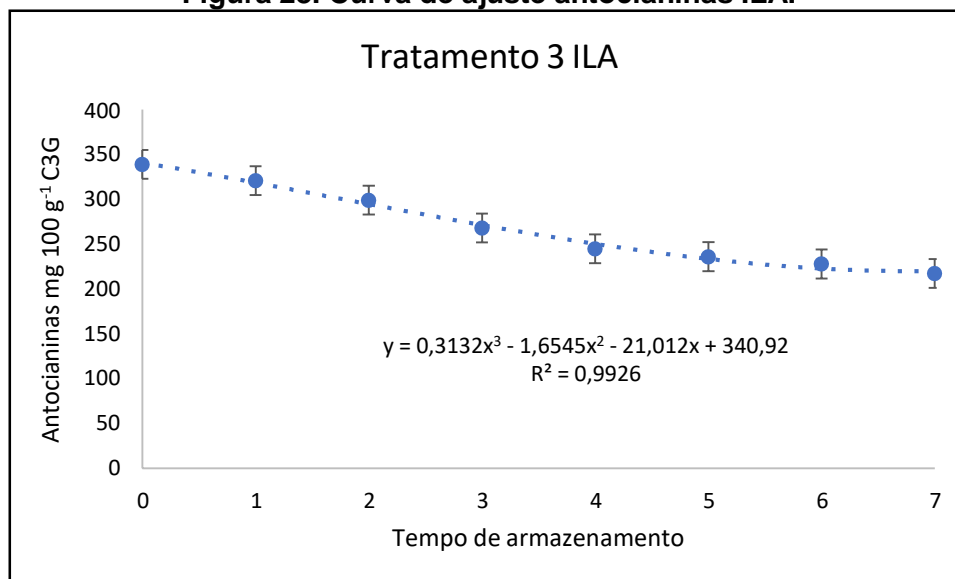
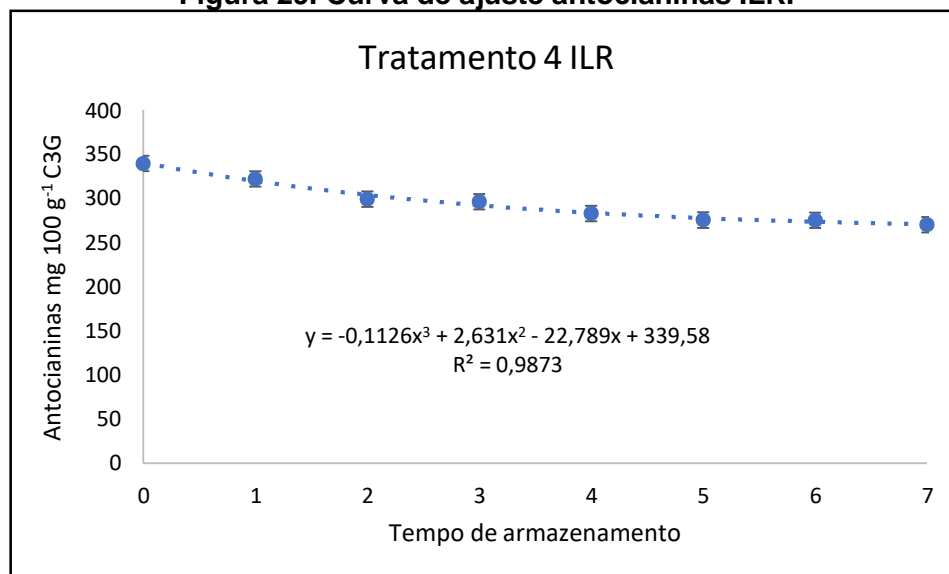
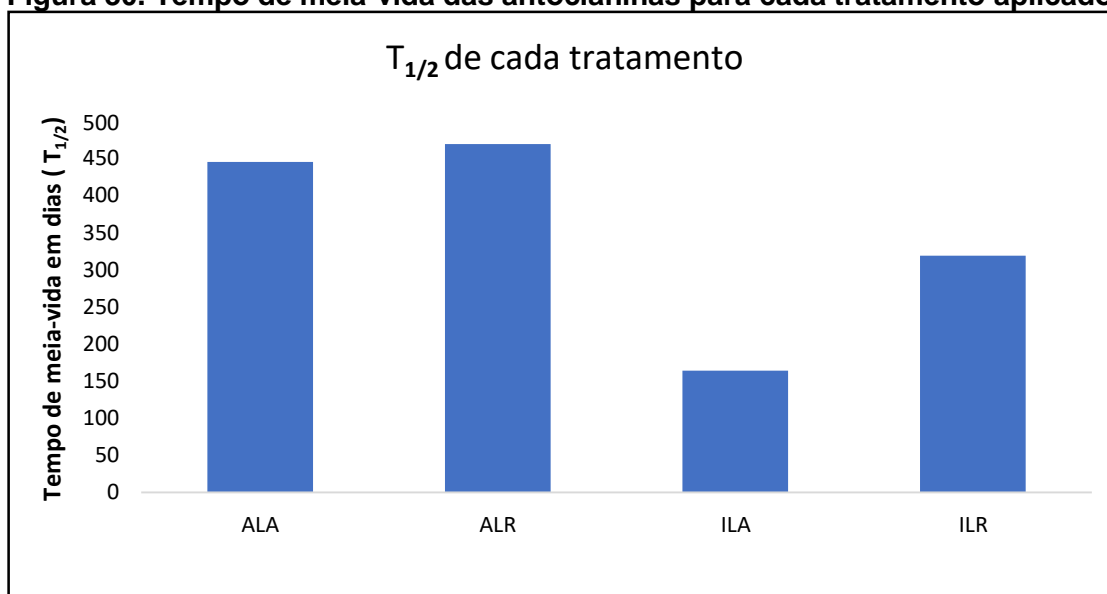
Figura 26. Curva de ajuste antocianinas ALA.**Figura 27. Curva de ajuste antocianinas ALR.**

Figura 28. Curva de ajuste antocianinas ILA.**Figura 29. Curva de ajuste antocianinas ILR.**

O tempo de meia-vida, calculado a partir dos valores iniciais e finais da concentração de antocianinas para cada tratamento, evidencia uma grande diferença entre os tratamentos sem e com ausência de luz (Figura 30). Observa-se que o meio refrigerado e ausente de luz, possui o maior tempo de meia-vida – 469,65 dias, o que significa que seriam necessários todos estes dias para a concentração ser reduzida à sua metade. Os demais tratamentos possuem tempo de meia-vida menores, sendo a amostra mais afetada a ILA, com tempo de meia-vida de 163,86 dias. O que denota uma grande influência da luz na degradação dos pigmentos.

Figura 30. Tempo de meia-vida das antocianinas para cada tratamento aplicado.

Mesmo em se tratando de antocianinas de mesma fonte, a degradação depende fortemente das características físico-químicas da matriz na qual as antocianinas são inseridas e tratadas, como pH, conteúdo sólido e presença de outros compostos, como açúcares e polifenóis. Assim, o comportamento do resíduo da amora-preta pode sofrer variações ao ser aplicado em dado alimento com o objetivo de compô-lo nutricionalmente e tecnologicamente, necessitando estudos específicos para cada aplicação (DEYLAMI *et al.*, 2016).

Os fitoquímicos presentes nos vegetais possuem características antioxidantes importantes, estando a sua quantidade diretamente correlacionada com esta atividade antioxidante e estreita relação com a manutenção da saúde e com a prevenção de doenças (TARONE *et al.*, 2021). Mas também pode atuar como antioxidante nos alimentos, retardando ou inibindo reações de oxidação. Nos flavonoides, esta propriedade antioxidante deve-se especialmente a sua estrutura que consiste em dois anéis aromáticos (A e B), unidos por um anel pirano (C), estando principalmente relacionado com um grupo o-dihidroxila no anel B, com presença de dupla ligação entre carbonos. O número e a posição de grupos hidroxila também possuem influência na capacidade antioxidante (BOROSKI *et al.*, 2015; WENZEL, 2012).

A determinação da capacidade antioxidante é útil para mensurar a qualidade dos alimentos. Contudo, a capacidade antioxidante total deve ser avaliada por vários métodos *in vitro*, que contemplem diferentes propriedades da amostra. Sendo o intuito do trabalho verificar a perda ou não da capacidade antioxidante ao longo do tempo de

armazenamento e não a característica de capacidade antioxidante total, empregou-se o método do DPPH (BOROSKI *et al.*, 2015).

Na Tabela 5 podem ser visualizados os resultados para cada tratamento ao longo do tempo de armazenamento nas diferentes condições das variáveis independentes. Em trabalho recente de Anzolin *et al.* (2022), o resultado da capacidade antioxidante e do conteúdo polifenólico, de amoras inteiras, evidenciou que o método convencional de secagem em estufa obteve resultados sem diferença significativa com os demais métodos (liofilização e pulverização).

Tabela 5. Resultado da análise da capacidade antioxidante.

Tempo	Concentração de extrato necessária para inibir 50% do radical DPPH (IC ₅₀) mg mL ⁻¹							
	Tratamentos							
	1		2		3		4	
	ALA	R ²	ALR	R ²	ILA	R ²	ILR	R ²
Resíduo fresco	0,403	0,99	0,403	0,99	0,403	0,99	0,403	0,99
0	0,123	0,96	0,123	0,96	0,123	0,96	0,123	0,96
1	0,071	0,99	0,090	0,99	0,099	0,99	0,087	0,96
2	0,118	0,99	0,145	0,91	0,154	0,98	0,175	0,99
3	0,162	0,98	0,168	0,97	0,160	0,98	0,180	0,98
4	0,162	0,99	0,196	0,99	0,187	0,99	0,182	0,97
5	0,183	0,97	0,199	0,98	0,191	0,99	0,184	0,99
6	0,190	0,95	0,203	0,93	0,203	0,92	0,194	0,91
7	0,203	0,99	0,206	0,99	0,209	0,97	0,195	0,99

O método empregado para expressão dos resultados no método DPPH foi o IC₅₀, estabelecendo-se uma curva analítica para cada dado apresentado, com coeficiente de determinação da regressão linear, exposto conjuntamente na tabela, constituindo-se assim, confiabilidade nos resultados. Desta forma, os dados expressam a concentração de extrato das amostras necessário para inibir 50% do radical DPPH. É possível constatar que os valores de extrato necessário para inibição de 50% do radical DPPH aumentam à medida do tempo, ensejando em perda de capacidade antioxidante, sendo o maior valor, ao final do tempo, para o tratamento ILA.

A Tabela 2, contida na metodologia, com as médias das temperaturas para cada tempo de intervalo das análises, ao longo do tempo de armazenamento das

amostras em temperatura ambiente (ALA e ILA) e em refrigeração (ALR e ILR), expõe a amplitude térmica em cada tempo, evidenciando que as amostras mantidas na temperatura ambiente tiveram variações maiores que o meio refrigerado. Já a média geral de temperatura do meio refrigerado ficou em 4,2° C e do ambiente em 17,7° C.

As Tabelas 6 e 7, já mencionadas anteriormente, apresentam os resultados iniciais e finais das análises de pH, acidez em porcentagem de ácido orgânico, antocianinas, flavonoides e de cor, com a respectiva análise de variância e diferença significativa ao nível de $p < 0,05$.

Tabela 6. Comparação entre as médias iniciais e finais das variáveis dependentes em relação aos tratamentos aplicados.

Tratamentos/ Amostras	Potencial hidrogeniônico	Acidez em porcentagem de ácido orgânico (%)	Antocianinas monoméricas totais (mg 100 g ⁻¹ cianidina 3- glucosídio)	Flavonoides totais (mq EQ 100 g ⁻¹)
Resíduo seco	2,91±0,04 ^c	7,05±0,51 ^a	339,03±6,65 ^a	2469,80±39,79 ^a
ALA	3,10±0,01 ^{ab}	5,81±0,13 ^b	287,91±6,40 ^b	2135,81±16,71 ^b
ALR	3,08±0,05 ^b	5,75±0,15 ^b	290,36±5,93 ^b	2018,39±7,74 ^c
ILA	3,17±0,01 ^a	6,12±0,07 ^b	217,44±15,87 ^c	2063,84±14,31 ^c
ILR	3,08±0,00 ^b	5,86±0,04 ^b	269,86±15,20 ^b	2044,15±20,88 ^c

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo o teste de Tukey.

Em relação aos tratamentos adotados, o conteúdo final de flavonoides de todos os tratamentos demonstrou diferença significativa em relação ao conteúdo inicial, evidenciando perda de compostos. Contudo, o tratamento ALA foi o que mais teve este conteúdo preservado, visto estar significativamente diferente em relação aos demais tratamentos.

Tabela 7. Comparação entre as médias iniciais e finais das variáveis dependentes em relação aos tratamentos aplicados.

Tratamentos/Amostras	Análise de cor		
	L*	a*	b*
Resíduo seco	27,76±0,06 ^e	28,19±0,77 ^c	8,30±0,01 ^d
ALA	32,61±0,03 ^d	29,47±0,01 ^b	9,28±0,12 ^b
ALR	32,72±0,01 ^c	29,23±0,00 ^b	9,00±0,00 ^c
ILA	35,11±0,02 ^a	29,67±0,00 ^{ab}	9,49±0,01 ^a
ILR	34,69±0,05 ^b	30,56±0,00 ^a	9,38±0,02 ^{ab}

Letras minúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$), segundo o teste de Tukey.

Avaliando-se a comparação entre as médias apresentadas pela indicação das letras, nota-se que os tratamentos na ausência de luz (AL) são iguais para a^* , porém diferentes para b^* . Contudo, o parâmetro b^* do tratamento ALA não possui diferença significativa com o tratamento ILR, o qual não se diferencia do outro tratamento com incidência de luz – ILA. O contrário ocorre com o parâmetro a^* , que tem o tratamento ILA sem diferença significativa com os tratamentos com ausência de luz. Embora a comparação entre as médias dos parâmetros a^* e b^* não tenha apresentado diferenças entre ausência e incidência de luz, a análise pelo cálculo do ΔE demonstrou diferenças entre os tratamentos, sendo provavelmente influenciado pela medida de L^* , a qual identificou diferenças significativas entre todos os tratamentos (HIKITA; TOYODA; AZUMA, 2001).

Já em relação ao resultado inicial, que é igual para todos os tratamentos, todas as amostras apresentaram diferença significativa entre as médias iniciais e finais após o tempo de armazenamento dos tratamentos aplicados.

CONCLUSÕES

A interação entre qualidade de vida e o consumo de alimentos têm estimulado na indústria alimentícia uma disposição por componentes funcionais que possam ser incorporados a seus produtos. Exemplos são os antioxidantes, os quais contribuem com a supressão de radicais livres - RL que se formam durante os processos biológicos, responsáveis pelo acometimento de diversas doenças crônicas e pelo envelhecimento precoce dos tecidos. É claro que o organismo humano produz antioxidantes para combater estes radicais livres, contudo, a exposição à poluição,

uma alimentação desequilibrada e excessiva, além do consumo de tabaco e álcool, faz com que a produção de RL seja superior à capacidade de eliminação.

Uma alternativa a esta temática é o aumento no consumo de antioxidantes com a incorporação de componentes com esta função nos alimentos industrializados. Há um mito com relação aos alimentos processados e industrializados, como se todos eles fossem prejudiciais à saúde. Ora, muitos processos que são realizados nos alimentos industrializados são aqueles mesmos executados dentro das cozinhas dos consumidores. Fervura, cozimento, forneamento, acidificação, extração, dentre diversas outras ações. Contudo, a indústria embala ou conserva estes alimentos, após estas tecnologias aplicadas, de forma que possam ficar à disposição do consumidor por um tempo mais prolongado, já que os cuidados higiênico-sanitários e a esterilização de embalagens são aplicados com esmero, além de todo processo ser altamente controlado.

Assim, é possível ter alimentos industrializados e saudáveis, desde que incorporados ingredientes naturais, seguindo preceitos sustentáveis, econômicos e de segurança, garantindo a qualidade do produto final. Neste eixo, pode-se até asselar que um alimento produzido com resíduos agroindustriais de qualidade, segue tanto o conceito de segurança alimentar, quanto o conceito de segurança dos alimentos. Segurança alimentar, pois são utilizados subprodutos que seriam descartados e, desta forma, contribuem com o aproveitamento integral dos alimentos e a garantia da disposição de alimentos nutritivos e em quantidades seguras. Segurança dos alimentos porque são empregados processos controlados e seguros na obtenção e nas tecnologias aplicadas, garantindo qualidade e confiabilidade do produto final.

Portanto, pode-se afirmar que a farinha do resíduo do despulpamento da amora-preta, após processos tecnológicos adequados, usado na sua integralidade, pode ser um potencial ingrediente para outros alimentos. Após quatro meses de armazenamento, o conteúdo de compostos ainda é significativo e a sua cor manteve-se no quadrante vermelho, constatado pelo ΔC , sendo sugerido na análise conjunta dos dados, que o melhor armazenamento é em ausência de luz, pois a condição de luminosidade afeta significativamente seu conteúdo.

Mesmo com estudos avançados em extração e isolamento de compostos bioativos, deve-se considerar que a execução em escala industrial é bastante desafiadora. Além de que, retirar os compostos da sua matriz de origem, pode prejudicar sua bioacessibilidade e biodisponibilidade, além de continuar produzindo

resíduo (fibras, carboidratos, proteínas, gorduras). Contudo, para aplicação desta farinha em outros alimentos, devem-se conduzir estudos de estabilidade após incorporação deste ingrediente em produtos, verificando-se as condições em que há preservação da cor e dos seus compostos bioativos, bem como da capacidade antioxidante.

Esta pesquisa foi realizada com fomento da FAPERGS - UERGS e com o apoio do IFRS.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, Maristela Alves *et al.* **Effect of the solvent composition on the profile of phenolic compounds extracted from chia seeds.** Food Chemistry. 2019. 1:275:489-496. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.133>>. Acesso em: 03 nov. 2023.

ANZOLIN, Ana Paula *et al.* **Influence of processing methods on the content of polyphenols and anthocyanins and on the antioxidant activity of *Rubus brasiliensis* Mart. fruits.** 2022. Brazilian Journal Food Technology. 2022. 25. 2020207. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1981-6723.20720>>. Acesso em: 30 out. 2023.

AZEREDO, Henriette M. C. de *et al.* **Fundamentos de Estabilidade de Alimentos.** 2 ed. rev. e ampl. DF: Embrapa, 2012.

BCAKOWSKA, Anna; KUCHARSKA, Alicja Z. e OSZMIANSKI, Jan. **The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin–polyphenol copigment complex.** Food Chemistry. 2003. 81. 349-355. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00429-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00429-6)>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BENUCCI, Ilaria *et al.* **Natural colorants from vegetable food waste: Recovery, regulatory aspects, and stability - A review.** Compr. Rev. Sci Food. 21 (3). 2715-2737. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12951>>. Acesso em: 08 out. 2023.

BRASIL, 2022. RDC nº 711, de 1º de julho de 2022. Publicada DOU nº 126, de 6 de julho de 2022. **Dispõe sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais, cereais processados, farelos, farinhas, farinhas integrais, massas alimentícias e pães.** Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-711-de-1-de-julho-de-2022-41324494>>. Acesso em: 10 jul. 2023.

BOROSKI, Marcela *et al.* **Antioxidantes: princípios e métodos analíticos.** 1 ed. Curitiba: Appris, 2015. 141 p.

CECCHI, Máscia Heloisa. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2 ed. revista. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

DABIJA, Adriana; RUSU, Lycrymioara e CODINA, Georgiana Gabriela. **Studies on the Manufacturing of Food Products Using Unconventional Raw Materials**. *Application Science*. 2023. 13 (13). 7990. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app13137990>>. Acesso em: 01 out. 2023.

DEYLAMI, Mahsa Ziabakhsh *et al.* **Effect of Blanching on Enzyme Activity, Color Changes, Anthocyanin Stability and Extractability of Mangosteen Pericarp: A Kinetic Study**. *Journal of Food Engineering*. 2016. 178. 1-8. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.001>>. Acesso em 03 nov. 2023.

FANA, Linlin *et al.* **Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: Chromaticity, kinetics and structural simulation**. *Food Chemistry*. v. 275 (2019) 299-308. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.103>>. Acesso em 20 set. 2023.

GALVÃO, A. C. *et al.* **Extração e degradação térmica de antocianinas presentes nas folhas do repolho roxo e nas cascas da jabuticaba**. XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. 2016. ISSN: 21785600. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/extracao-e-degradacao-termica-de-antocianinas-presentes-nas-folhas-do-repolho-ro?lang=pt-br>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

GERARDI, Carmela *et al.* **Effects of Time and Temperature on Stability of Bioactive Molecules, Color and Volatile Compounds during Storage of Grape Pomace Flour**. *Applied Sciences*. 2022. 12 (8) 3956. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app12083956>>. Acesso em: 25 set. 2023.

GRUNOVAITÉ, Lina *et al.* **Fractionation of black chokeberry pomace into functional ingredients using high pressure extraction methods and evaluation of their antioxidant capacity and chemical composition**. *Journal of Functional Foods*. v. 24. 2016. 85-96. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.03.018>>. Acesso em: 30 jun. 2023.

HIKITA Y., TOYODA T., AZUMA M. (2001). **Weathering testing of timber: discoloration**. In: Imamura Y. IRG/WP0120221 High performance utilization of wood for outdoor uses. Kyoto: Press-Net. Disponível em: <www.irg-wp.com/irgdocs/details.php?8b1e60f7-6702-429f-b8bf-17cdd2677aab>. Acesso em: 25 out. 2023.

JIANG, YouYou *et al.* **Phenolic Profiling of Berries Waste and Determination of Their Antioxidant Potential**. *Journal of Food Quality*. 2022. 5605739. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2022/5605739>>. Acesso em: 20 out. 2023.

KALUSEVIY, Ana *et al.* **Raspberry and blackberry pomaces as potential sources of bioactive compounds**. Ukrainian Food Journal. 2016. v. 5. issue 3. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/310879581_Raspberry_and_blackberry_pomaces_as_potential_sources_of_bioactive_compounds>. Acesso em: 10 setembro 2023.

KANDEMIR, Kevser. **Fruit Juice Industry Wastes as a Source of Bioactives**. Agricultural and Food Chemistry. 2022. 70. 6805-6832. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c00756>>. Acesso em: 22 set. 2023.

KOBLITZ, Maria Gabriela Bello. **Bioquímica de Alimentos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

KUBRA, Ertana; TURKYILMAZB, Meltem e OZKANC, Mehmet. **Color and stability of anthocyanins in strawberry nectars containing various co-pigment sources and sweeteners**. Food Chemistry. 2020. 310. 125856. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125856>>. Acesso em: 03 nov. 2023.

LIMA, Mayara Marques *et al.* **Efeito da concentração do solvente na capacidade de extração de pigmentos antocianinas**. Centro Científico Conhecer. Enciclopédia Biosfera. Jandaia – GO. v. 17. n. 34. p. 197. Disponível em: <[10.18677/EnciBio_2020D15](https://doi.org/10.18677/EnciBio_2020D15)>. Acesso em: 03 nov. 2023.

LÓPEZ, Cecília Jiménez *et al.* **Optimization and comparison of heat and ultrasound assisted extraction techniques to obtain anthocyanin compounds from *Arbutus unedo* L. Fruits**. Food Chemistry. 2018. 30:264:81-91. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.103>>. Acesso em: 03 nov. 2023.

LUTZ, INSTITUTO ADOLF. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 1020.

MARÇO, Paulo Henrique e POPPI, Ronei Jesus. **Analytical procedures for identifying anthocyanins in natural extracts**. Química Nova. v. 31. n. 5. 1218-1223. 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000500051>>. Acesso em: 01 março 2023.

PICÓ, Yolanda. **Análise química de alimentos**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

PIMENTEL, Carolina Vieira de Mello; ELIAS, Maria Fernanda; PHILIPPI, Sonia Tucunduva. **Alimentos funcionais e compostos bioativos**. 1 ed. Barueri, SP: Manole, 2019.

RIGOLON, Thaís Caroline Buttow *et al.* **Prediction of total phenolics, anthocyanins and antioxidant capacity of blackberry (*Rubus* sp.), blueberry (*Vaccinium* sp.) and jaborcaba (*Plinia cauliflora* (Mart.) Kausel) skin using colorimetric**

parameters. Food Science Technology. 2020. 40. 620-625. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/fst.34219>>. Acesso em: 30 out. 2023.

ROTILI, Maria Cristina Copello *et al.* **Bioactive compounds, bromatological and mineral characterization of blackberries in a subtropical region.** Revista Ceres. 2022. 69 (1). Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0034-737X202269010003>>. Acesso em: 30 out. 2023.

SANDE, Denise; FABRINI, Sabrina Pinheiro; SOUZA, Juliana de Paula Matos. **Farinhas antioxidantes: uma estratégia de aproveitamento integral dos alimentos.** Edição do Autor: Belo Horizonte-MG, 2018. 50 p. ISBN: 978-85-93770-27-2.

SANTANA e SILVA, Anny Beatriz *et al.* **Técnicas de secagem de frutas: uma revisão.** Scientific Electronic Archives. 2021. v. 14 (10). Disponível em: <<https://doi.org/10.36560/141020211424>>. Acesso em: 20 out. 2023.

SANTOS, Suelen Siqueira dos; PARAÍSO, Carolina Mouser e MADRONA, Graciele Scaramal. **Blackberry pomace microspheres: An approach on anthocyanin degradation.** Food Science and Technology. 2020. 44. 014420. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-7054202044014420>>.

SHARMAA, Minaxi *et al.* **Valorization of fruits and vegetable wastes and byproducts to produce natural pigments.** Critical Reviews in Biotechnology. 2021, v. 41. n. 4. p. 535-563. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>>. Acesso em: 11 setembro 2023.

SHI, Jiang *et al.* **Insight into the pigmented anthocyanins and the major potential co-pigmented flavonoids in purple-coloured leaf teas.** Food Chemistry. 363. 130278. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130278>>. Acesso em: 30 out. 2023.

SILVA, Larissa Morais Ribeiro da *et al.* **Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil.** Food Chemistry. v. 143. 15 january. 2014. p. 398-404. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>>. Acesso em: 09 setembro 2023.

SOZZI, Agustina *et al.* **Fluidized bed drying of blackberry wastes: Drying kinetics, particle characterization and nutritional value of the obtained granular solids.** Powder Technology. v. 385. june 2021. p. 37-49. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.02.058>>. Acesso em: 15 setembro 2023.

TARONE, Adriana Gadioli *et al.* **Advanced characterization of polyphenols from Myrciaria jaboticaba peel and lipid protection in in vitro gastrointestinal digestion.** Food Chemistry. 2021. v. 359. 129959. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129959>>. Acesso em 29 out. 2023.

TEIXEIRA, Luciana Nascimento; STRINGUETA, Paulo César e OLIVEIRA, Fabiano Alves de. **Comparação de métodos para quantificação de antocianinas**. Revista Ceres. 55 (4). 297-304. 2008. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/3052/305226703009.pdf>>. Acesso em: 10 abril 2023.

VAGIRI, Michael e JENSEN, Martin. **Influence of juice processing factors on quality of black chokeberry pomace as a future resource for colour extraction**. 2017. v. 217. 409-417. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.121>>. Acesso em: 20 ag. 2023.

WENZEL, Guido Edgar. **Radicais livres, antioxidantes nutraceuticos: fenolicos e polifenolicos vegetais**. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2012.

WROLSTADA, Ronald E.; DURSTA, Robert W.; LEEB, Jungmin. **Tracking color and pigment changes in anthocyanin products**. Trends and Food Science & Technology. v. 16. issue 9. september 2005. p. 423-428. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>>. Acesso em: 09 setembro 2023.

ZAFRA-ROJAS, Quinatzin *et al.* **Organic Acids, Antioxidants, and Dietary Fiber of Mexican Blackberry (*Rubus fruticosus*) Residues cv. Tupy**. 2018. Article ID 5950761. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2018/5950761>>. Acesso em: 15 set. 2023.

ZHANG, Yanfei *et al.* **The degradation rules of anthocyanins from eggplant peel and antioxidant capacity in fortified model food system during the thermal treatments**. Food Bioscience. v. 38. december 2020. 100701. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100701>>. Acesso em: 09 setembro 2023.

ZHAO, Xu *et al.* **An effective method for the semi-preparative isolation of high-purity anthocyanin monomers from grape pomace**. Food Chemistry. 2020. 310. 125830. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125830>>. Acesso em: 15 set. 2023.

ZIA, Mahrukn Parveez; ALIBAS, Ilknur b. **Influence of the drying methods on color, vitamin C, anthocyanin, phenolic compounds, antioxidant activity, and *in vitro* bioaccessibility of blueberry fruits**. Food Bioscience. v. 42. 2021. 101179. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101179>>. Acesso em: 10 out. 2023.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como visto nos dois artigos apresentados, os subprodutos do processamento de alimentos, quando tratados com tecnologias adequadas e controladas, podem gerar a elaboração de outros produtos, como as farinhas. A depender da origem deste subproduto, mudam-se as suas características físico-químicas e nutricionais e, portanto, seu comportamento cinético frente à secagem, bem como sua composição e alterações ao longo do tempo de armazenamento.

A amora-preta produzida na Estação Experimental do *campus* Bento Gonçalves, do Instituto Federal do Rio Grande do Sul, é recebida pela Agroindústria e processada para a produção de polpa. Durante esta etapa, constatou-se que o seu subproduto, com a mesma coloração característica da amora, poderia ter um potencial uso como alimento, ao invés de ir para o descarte. Sendo assim, empregando-se a tecnologia simples de secagem convectiva, estudou-se a cinética de secagem em três temperaturas distintas, com aplicação de modelos matemáticos e caracterizou-se o seu conteúdo físico-químico. Na sequência, aplicou-se uma das temperaturas e submeteu-se o resíduo seco e moído a quatro tratamentos de armazenagem e estudaram-se as suas alterações durante quatro meses.

O tempo de armazenamento empregado para a sua avaliação, embora tenham tido algumas perdas nutricionais, é seguro e, em condições de ausência de luz, demonstrou ser o melhor tratamento para preservação do seu conteúdo de interesse. Assim, diante do exposto e dos resultados alcançados, pode-se afirmar que é completamente viável o uso deste subproduto como alimento para compor outros produtos, porém requer em conjunto estudos de estabilidade quando da aplicação como ingrediente.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Bianca R. *et al.* **Anthocyanin-rich extract of jabuticaba epicarp as a natural colorant: Optimization of heat- and ultrasound-assisted extractions and application in a bakery product.** Food Chemistry. 316. 126364. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126364>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

AZEREDO, Henriette M.C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos.** Editora Técnica. 2 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

BARROS, Augusto Aragão de; BARROS, Elisabete Barbosa de Paula. **A química dos alimentos: produtos fermentados e corantes.** Coleção Química no Cotidiano. v. 4. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, 2010. 88 p.

BASTOS, Deborah H. M.; ROGERO, Marcelo M.; ARÊAS, José Alfredo G. **Effects of dietary compounds on obesity induced inflammation.** Arq. Bras. Endocrinologia & Metabolismo. 53 (5). Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/abem/a/cSRtQcqJygrLCFgTC5ct5Dr/?lang=pt>>. Acesso em: 09 ab. 2023.

BASTIANI, Gustavo de *et al.* **Cinética de degradação térmica de antocianinas totais em polpa de açaí.** XXVII Congresso virtual de iniciação científica da Unicamp. 2020. Disponível em: <<https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2020P17353A35172O3559.pdf>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

BATTINO, Maurizio; FORBES-HERNANDEZ, Tamara Y.; GIAMPIERI, Francesca. **Plant-based bioactive compounds: Healthy promoters and protective agents.** Trends in Food Science & Technology. ID: 233526713. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.055>>. Acesso em: 01 nov. 2023.

BCAKOWSKA, Anna; KUCHARSKA, Alicja Z.; OSZMIAN'SKI, Jan. **The effects of heating, UV irradiation, and storage on stability of the anthocyanin–polyphenol copigment complex.** Food Chemistry. 81. Issue 3. 2003. 349-355. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00429-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00429-6)>. Acesso em: 29 ab. 2023.

BRASIL. ANVISA. Ministério da Saúde. Portaria n° 540/1997. DOU 28 de Outubro de 1997. n. 208. Seção 1. p. 24338 a 24339. **Regulamento Técnico aditivos alimentares – definições, classificação e emprego.** Disponível em: <<http://antigo.anvisa.gov.br/legislacao#/125ntioxidan/382062>>>. Acesso em: 21 jun. 2023.

BRASIL. ANVISA. Ministério da Saúde. RDC n° 239/2018. DOU 27 de julho de 2018. **Estabelece os aditivos alimentares e coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em suplementos alimentares.** 144. Seção 1. p. 90. Disponível em:

<https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898839/%283%29RDC_239_2018_COMP.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

BRASIL. ANVISA. Ministério da Saúde. RDC nº 466/2021. DOU 17 de fevereiro de 2021. 31. Seção 1. p. 105. **Estabelece os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso na produção de alimentos e ingredientes na função de solventes de extração e processamento.** Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-466-de-10-de-fevereiro-de-2021-303765551>>. Acesso em: 05 nov. 2023.

BRASIL. ANVISA. Ministério da Saúde. **Categorização de ingredientes derivados de vegetais. Documento de base para discussão regulatória.** Diálogo Setorial, 2020. Disponível em: <<http://antigo.anvisa.gov.br/documents/33880/5833856/Documento+de+base+sobre+clean+label/118597ab-a9d8-4a14-af3e-39b5f4a88388?version=1.0>>. Acesso em: 22 jul. 2023.

CARDOSO, Melina Aparecida Plastina *et al.* **Nutritional and technological implications of including antioxidants in dairy products.** Research, Society and Development. 10. n. 13. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.20866>>. Acesso em: 05 maio 2023.

CARDOSO, Luciana Marques; LEITE, João Paulo Viana; PELUZIO, Maria do Carmo Gouveia. **Efeitos biológicos das antocianinas no processo aterosclerótico.** Ver. Colomb. Quím. Farm. 40 (1). 116-138. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S003474182011000100007&script=sci_abstract&tlng=pt#:~:text=Pesquisas%20indicam%20que%20as%20antocianinas,mol%C3%A9culas%20de%20ades%C3%A3o%20e%20metaloproteinases>. Acesso em: 30 ab. 2023.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. *Química de Alimentos de Fennema*. 5 ed. 2018. Editora Artemed. 1120 p.

DEYLAMI, Mahsa Ziabakhsh *et al.* **Effect of blanching on enzyme activity, color changes, anthocyanin stability and extractability of mangosteen pericarp: A kinetic study.** Journal of Food Engineering. 178. 2016. 12-19. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.001>>. Acesso em: 07 ab. 2023.

DUTCOSKY, Silvia Deboni. **Análise Sensorial de Alimentos**. 3 ed. em. e ampl. Curitiba: Chapagnat, 2011.

ERTAN, Kubra; TURKYILMAZ, Meltem; OZKAN, Mehmet. **Color and stability of anthocyanins in strawberry nectars containing various co-pigment sources and sweeteners.** 310. 2020. 125856. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125856>>. Acesso em: 05 nov. 2023.

FALCÃO, Leila D. *et al.* **Copigmentação intra e intermolecular de antocianinas: uma revisão.** B. CEPPA. Curitiba. 21. 2. 351-366. 2003. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/download/1170/971>>. Acesso em: 01 ab. 2023.

GALVÃO, A. C. *et al.* **Extração e degradação térmica de antocianinas presentes nas folhas do repolho roxo e nas cascas de jaboticaba.** XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Fortaleza/CE. 25 a 29 de setembro. 2016. ISSN: 21785600 v. 1. Disponível em: <<https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/papers/extracao-e-degradacao-termica-de-antocianinas-presentes-nas-folhas-do-repolho-roxo-e-nas-cascas-da-jaboticaba?lang=pt-br>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GOMES, Beatriz Borges *et al.* **Health effects of anthocyanins: a systematic review.** Research, Society and Development. 11. 4. e6411427069. 2022. ISSN 2525-3409. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/27069>>. Acesso em: 26 ab. 2023.

GÓMEZ, Encarna P.; MIÑANO, Angeles; ROCA, Jose María López. **Comparison of chromatic properties, stability and antioxidant capacity of anthocyanin-based aqueous extracts from grape pomace obtained from different vinification methods.** Food Chemistry. 97 (1) .2006. 87-94. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.03.025>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

GONZÁLEZ, Ada Manresa; VICENTE, Ileana. **El color en la antioxidante de los alimentos.** Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria, ISBN 978-959-16-0582-5, 2007.

OKOLIE, Louis Chigozie. *Et al.* **Influence of conventional and recent extraction technologies on physicochemical properties of bioactive macromolecules from natural sources: A review.** Food Research Internacional. 116 (2019). 827-839. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.018>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Tecnologias de conservação aplicadas à segurança de alimentos.** Washington, D.C.: OPAS; 2019.
KAMMERER, Dietmar R. *et al.* **Recovery of polyphenols from the by-products of plant food processing and application as valuable food ingredients.** Food Research International. 65. 2014. 2-12. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.012>>. Acesso em: 10 jun. 2023.

KOBLITZ, Maria Gabriela Bello. **Bioquímica de Alimentos: Teoria e Aplicações Práticas.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2015.

LACHNO, Andressa Silva. *et al.* **Bioaditivos e aditivos naturais em alimentos: corantes, antioxidantes e aromatizantes.** Boletim Técnico-Científico. 5. 2 (2019). 2019. Disponível em: <<https://periodicos.iffarroupilha.edu.br/index.php/boletim-tecnico-cientifico/article/view/233>>. Acesso em: 25 jul. 2023.

LOPES, Toni Jefferson *et al.* **Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade.** Revista Brasileira Agrociência. Pelotas. 13. 3. 291-298. 2007. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/download/1375/1359>>. Acesso em: 01 ab. 2023.

MANZOOR, Mehnaza *et al.* **Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives.** Food Chemistry. 362 (2021). 130141. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130141>>. Acesso em: 01 maio 2023.

NAVALHA, Susete Paula de Faria Rosa. **A intenção de compra de produtos Eco-friendly: fatores que influenciam a escolha.** Repositório Comum. Dissertação de Mestrado. Ipam – Lisboa. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/30515>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

PAGOT, Eduardo. *et al.* **Cultivo da amora-preta.** Circular Técnica 75. EMBRAPA, Bento Gonçalves/RS. Outubro. 2007. Disponível em: <<file:///C:/Users/Veronica%20Baroni/Desktop/Mestrado/Cultivo%20da%20amora/Cultivo%20da%20amora%20preta%20Embrapa.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2023.

PIMENTEL, Carolina Vieira de Mello Barros; ELIAS, Maria Fernanda; PHILIPPI, Sonia Tucunduva. **Alimentos funcionais e compostos bioativos.** 1 ed. Barueri (SP): Manole, 2019.

SALGADO, Jocelim. **Alimentos Funcionais.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

SANDE, Denise; FABRINI, Sabrina Pinheiro; MATOS, Juliana de Paula. **Farinhas antioxidantes: uma estratégia de aproveitamento integral de alimentos.** Edição do Autor: Belo Horizonte – MG, 2018. 50 p.

SHAHID, Mohammad; ISLAM, Shahid-ul; MOHAMMAD, Faqeer. **Recent advancements in natural dye applications: a review.** Journal of Cleaner Production. 53. 2013. 310-331. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.031>>. Acesso em: 22 ag. 2023.

SHARMA, Minaxi *et al.* **Valorization of fruits and vegetable wastes and byproducts to produce natural pigments.** Critical Reviews in Biotechnology. 2021, v. 41. n. 4. p. 535-563. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873240>>. Acesso em: 11 set. 2023.

SCHIBER, A.; STINTZING, F.C.; CARLE, R. **By-products of plant food processing as a source of functional compounds — recent developments.** Trends in Food

Science & Technology. 12. 11. 2001. 401-413. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00012-2)>. Acesso em: 01 ab. 2023.

SHIOZER, A.L.; BARATA, L.E.S. **Estabilidade de Corantes e Pigmentos de Origem Vegetal.** Revista Fitos. 2007. 6-24. Disponível em: <<https://revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/71>>. Acesso em: 24 ag. 2023.

SILVA, Larissa Moraes Ribeiro da *et al.* **Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil.** Food Chemistry. 143 (2014) 398-404. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.001>>. Acesso em: 29 ag. 2023.

SINOPOLIY, Alessandro; CALOJERO, Giuseppe; BARTOLOTTAY. **Computational aspects of anthocyanidins and anthocyanins: A review.** 297. 1. 2019. 124898. Food Chemistry. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.172>>. Acesso em: 29 ab. 2023.

SOUZA, Angela Vacaro de. **Pós-colheita e processamento de amora-preta Tupy.** Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu, 2013. Disponível em: <<file:///C:/Users/Veronica%20Baroni/Desktop/Mestrado/Cultivo%20da%20amora/P%C3%B3s%20colheita%20e%20processamento.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

STOETERAU, Isabella. **Antocianinas e carcinogênese: uma revisão narrativa.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. 2019. 04. 12. 04. 171-190. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/saude/antocianinas-e-carcinogense>>. Acesso em: 25 ab. 2023.

TEIXEIRA, Luciana Nascimento; STRINGHETA, Paulo César; OLIVEIRA, Fabiano Alves de. **Comparação de métodos para quantificação de antocianinas.** Revista Ceres. 55(4). 297-304. 2008. Disponível em: <<https://locus.ufv.br//handle/123456789/20655>>. Acesso em: 22 out. 2023.

TULLIO, Leonardo; AYUB, Ricardo Antonio. **Produção da amora-preta cv tupy, em função da intensidade da poda.** Semina: Ciências Agrárias. Londrina. 34. 3. 1147-1152. 2013. Disponível em: <<https://memoria.apps.uepg.br/labiovegetal/2013/amora.pdf>>. Acesso em: 16 fev. 2023.

VAGIRI, Michael; JENSEN, Martin. **Influence of juice processing factors on quality of black chokeberry pomace as a future resource for colour extraction.** Food Chemistry. 217. 2017. 409-417. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.121>>. Acesso em: 26 out. 2023.

WENZEL, Guido Edgar. **Radicais livres, antioxidantes nutraceuticos: fenolicos e polifenolicos vegetais**. São Paulo: Editora Unisinos, 2012.