

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

THAIS FEIDEN

EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM DE ANTOCIANINAS DA CASCA DE
JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)

ERECHIM – RS

2020

THAIS FEIDEN

**EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM DE ANTOCIANINAS DA CASCA DE
JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro de
Alimentos, Departamento de Ciências
agrárias da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Campus de Erechim.**

**Orientadoras: Prof. Dra. Juliana Steffens
Prof. Dra. Eunice Valduga**

ERECHIM – RS

2020

THAIS FEIDEN

**EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR ULTRASSOM DE COMPOSTOS FENÓLICOS DA
CASCA DE JABUTICABA (*Myrciaria cauliflora*)**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do grau de Engenheiro de
Alimentos, Departamento de Ciências
agrárias da Universidade Regional
Integrada do Alto Uruguai e das Missões –
Campus de Erechim.**

Erechim, ____ de _____ de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Juliana Steffens
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Profa. Dra. Eunice Valduga
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Alexander Jungues
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Mestre. Bruna Seguenka
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Dedico este trabalho à minha família, amigos e colegas de laboratório por todo incentivo e apoio recebido diariamente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de concluir esta etapa ao lado de pessoas especiais, que me auxiliaram na realização deste projeto. Gratidão por me motivar diariamente, por me guiar e por ser luz diante da escuridão. Agradeço, acima de tudo, por me proporcionar as condições necessárias para ter uma vida feliz, com saúde e ao lado das pessoas que eu amo.

Sou muito grata a minha família por acreditarem em mim, pelo apoio emocional e financeiro, por toda a compreensão, paciência e amor durante todos esses anos. Agradeço principalmente a minha mãe, Salete, pelo apoio e o amor incondicional, por estar sempre ao meu lado e me dizer que as coisas dariam certo, mesmo quando tudo parecia desmoronar.

Agradeço também, aos meus amigos que sempre se fizeram presentes, pacientes e me ajudaram em minha caminhada até aqui.

Agradeço minhas orientadoras Juliana Steffens e Eunice Valduga, pela paciência, atenção, compreensão e orientação durante desenvolvimento deste trabalho.

Também agradeço aos demais professores que estiveram sempre disponíveis para esclarecer dúvidas e a todos que contribuíram com o meu conhecimento.

Agradeço em especial a Ilizandra (Sandy), minha “mamis”, e a Rosicler, minha “dinda” pelas inúmeras vezes em que me ajudaram, me aconselharam e estiveram comigo quando nada parecia dar certo, sem vocês muita coisa não seria possível e eu não estaria aqui hoje, concluindo esta etapa tão importante. Obrigada pelo apoio e pela amizade construída e fortalecida diariamente.

Agradeço também a Bruna Seguenka pela oportunidade de trabalhar com ela em seu projeto, pelos ensinamentos, pelo apoio e ideias para construção deste trabalho.

O meu muito obrigado a todos os colegas que me ajudaram diariamente, nas análises laboratoriais e nas pesquisas. Sou grata também aos meus “manos” pelo apoio, pelos conselhos e por estarem comigo quando precisei.

Agradeço a URI – Erechim, pela infraestrutura disponibilizada e pelas oportunidades geradas durante o curso.

E mais uma vez, agradeço a Deus e a todos que contribuíram para o meu crescimento e evolução durante esta caminhada.

*“O insucesso é apenas uma oportunidade
para recomeçar com mais inteligência.”*

(Henry Ford)

RESUMO

A extração assistida por ultrassom, técnica não convencional, vem sendo utilizada na obtenção de compostos bioativos. Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a extração de compostos fenólicos da casca de Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* (Vell.) O. Berg), Sabará. Inicialmente avaliou-se os parâmetros de amplitude da potência (40 e 80%) e granulometria (9, 16 e 32 mesh) da casca desidratada na extração de antocianinas. Na sequência, empregou-se a metodologia de planejamento de experimentos visando maximizar a extração de antocianinas, avaliando a influência do tempo (11,55 a 138 min) e da temperatura (16,67 a 53,3 °C), mantendo fixas a amplitude da potência (40%), relação sólido-etanol (1:25, m/v), quantidade de cascas liofilizadas (umidade de ~3,5%) trituradas (10 g) e volume de etanol acidificado pH 1 (250 mL). Um modelo de segunda ordem permitiu maximizar a extração assistida por ultrassom obtendo-se um teor máximo de 700,94 mg/100g de antocianinas totais, nas condições de 48 °C e 30 min, amplitude de potência de 40%, sólido-etanol (1:25, 10 g de casca e 250 mL de etanol).

Palavras Chaves: Jabuticaba. Compostos fenólicos. Extração Assistida por Ultrassom.

ABSTRACT

Ultrasound-assisted extraction, a non-conventional technique, has been used to obtain bioactive compounds. In this context, the objective of the present work was to evaluate the extraction of phenolic compounds from the peel of Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) O. Berg), Sabará. Initially, the parameters of power amplitude (40 and 80%) and granulometry (9, 16 and 32 mesh) of the dehydrated peel were evaluated in anthocyanin extraction. Then, the experiment planning methodology was used to maximize anthocyanin extraction, evaluating the influence of time (11.55 to 138 min) and temperature (16.67 to 53.3 °C), keeping the amplitude of the potency (40%), solid-ethanol ratio (1:25, m/v), quantity of lyophilized peels (moisture of ~3.5%) crushed (10 g) and volume of acidified ethanol pH 1 (250 mL). A second-order model allowed to maximize the ultrasound-assisted extraction, obtaining a maximum content of 700.94 mg/100g of total anthocyanins, under conditions of 48 °C and 30 min, power amplitude of 40%, solid-ethanol (1:25, 10 g of peel and 250 mL of ethanol).

KEYWORDS: Jaboticaba. Phenolic Compounds. Ultrasound-Assisted Extraction.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	11
2.1 Objetivo Geral.....	11
2.2 Objetivos Específicos.....	11
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
3.1 Jabuticaba (<i>Myrciaria cauliflora</i>)	11
3.2 Corantes Naturais	11
3.3 Compostos Fenólicos	14
3.4 Extração de compostos bioativos por ultrassom.....	17
4 METODOLOGIA.....	20
4.1 Matéria-prima vegetal.....	20
4.2 Extração de antocianinas.....	21
4.3 Quantificação de antocianinas totais.....	22
4.4 Análise Estatística.....	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

A jabuticaba, fruto da jabuticabeira (*Myrciaria cauliflora*), é cultivada principalmente no Brasil desde o Estado do Pará até o Rio Grande do Sul (FERNANDES, SILVA, 2018). O fruto é muito apreciado sendo consumido in natura ou processado para o consumo como vinho, vinagre, aguardente, geleia e licor (BOESSO, 2017). É globuloso com cerca de 3-4 cm de diâmetro e sua casca apresenta coloração preta-avermelhada (NEVES, SANTOS, 2019). Apresenta em sua composição proteínas, lipídeos, fibras e minerais (ALEZANDO et al., 2013). Também possui uma grande variedade de compostos fenólicos (WU; LONG, KENNELLY, 2013), os quais possuem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, antidiabéticas, antimicrobiana, anti-obesidade, anticarcinogênica, propriedades de regeneração celular, efeito protetor contra a degradação do colágeno e têm potencial para tratar a doença pulmonar obstrutiva crônica, doenças respiratórias, incluindo amigdalite crônica e asma (LAMAS et al., 2018; MOURA et al., 2018).

Os compostos fenólicos são definidos como substâncias que possuem um anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais (WU; LONG, KENNELLY, 2013; LAMAS et al., 2018). Os principais fenólicos presentes na jabuticaba são os flavonoides (antocianinas, flavanóis e flavonóis). As antocianinas são responsáveis pela maioria das cores azul, violeta e todas as tonalidades de vermelho que aparecem em flores, frutos, algumas folhas, caules e raízes de plantas (COSTA et al., 2013), especificamente na jabuticaba são responsáveis pela coloração escura da casca do fruto. Durante o processamento da jabuticaba para elaboração de derivados, cerca de 50% do material gerado são resíduos, constituídos principalmente de cascas e sementes (SOUZA, 2014). Assim, a casca, sendo um resíduo, se torna uma excelente matéria-prima de antocianinas. Por ser um corante, as antocianinas são potenciais substitutos para os corantes alimentares sintéticos: elas possuem cores vibrantes e sua solubilidade em água permite uma fácil incorporação em alimentos aquosos (AJILA et al., 2011; IGNAT; VOLFF, POPA, 2011).

Uma das alternativas para obtenção das antocianinas é a extração, onde um solvente age na estrutura da célula, extraíndo os compostos bioativos. Os métodos de extração comumente citados na literatura são os de extração convencional, como a maceração (WANG, WELLER, 2006; NOVELLO, 2015) e a percolação (MACIEL et

al., 2002; VEGGI, 2009) ou metodologias não-convencionais, como a assistida por ultrassom (CHEN et al., 2007; CORRALES et al., 2008) e a extração com fluido pressurizado (MESOMO et al., 2012; VIEIRA, 2015). Entretanto, as extrações convencionais necessitam de volume de solvente e tempo maiores para a obtenção de resultados (WANG, WELLER, 2006). Já as metodologias não-convencionais de extração revelam-se mais eficazes, com menores tempo e quantidade de solventes, porém, em alguns casos, com custos superiores (MEREGALLI, 2017).

A extração verde, que não utiliza solventes tóxicos e possui baixo consumo de energia, de produtos naturais pode ser uma alternativa para enfrentar os desafios do século 21, proteger os consumidores e o meio ambiente e, também aumentar a concorrência das indústrias para serem mais ecológicas, econômicas e inovadoras (CHEMAT et al., 2017).

Um processo de extração eficaz deve potencializar a recuperação de antocianinas com uma degradação mínima e resultar em um extrato com elevada capacidade antioxidante, usando tecnologias limpas e ambientalmente corretas e matérias-primas de baixo custo (SANTOS; VEGGI, MEIRELES, 2010). Neste sentido, se insere o objetivo do presente estudo, realizar a extração assistida por ultrassom de antocianinas da casca de Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* (Vell.) O. Berg) Sabará.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar a extração de compostos fenólicos casca de Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* (Vell.) O. Berg) Sabará assistida por ultrassom.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito da amplitude da potência do sistema de ultrassom e granulometria na extração de compostos fenólicos na quantificação de antocianinas.
- Maximizar a extração de compostos fenólicos (antocianinas) empregando metodologia de planejamento de experimentos variando-se o tempo e a temperatura de extração.

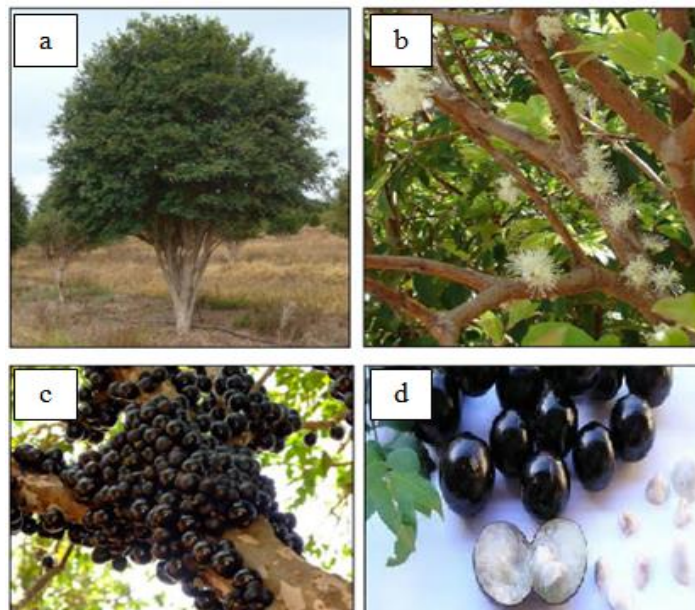
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*)

A Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) é uma árvore frutífera nativa do Brasil, pertencente à família *Myrtaceae* (NEVES et al., 2018; QUATRIN et al., 2019), nativa da Mata Atlântica Brasileira, oriunda da região centro-sul, podendo ser cultivada e encontrada do extremo norte ao extremo sul do país (BECKER et al., 2015). As flores e frutos nascem no tronco e nos galhos principais da jabuticabeira (WU; LONG, KENNELLY, 2013). A frutificação acontece entre agosto/setembro e em alguns casos entre janeiro/fevereiro, amadurecendo entre 40-60 dias (SCHÄFER, 2015).

Os frutos apresentam casca brilhante e espessa, em forma de bagas globulares, com aproximadamente 3 cm de diâmetro, apresenta inicialmente uma coloração verde passando pela tonalidade avermelhada, chegando a uma tonalidade roxo-escura, quase preta quando maduros, possui uma polpa esbranquiçada, com textura gelatinosa, succulenta, agridoce (pH~4,5), saborosa, normalmente apresenta uma única semente, mas pode possuir até quatro (BECKER et al., 2015). As frutas são consumidas in natura ou utilizadas no preparo de sucos, geleias, vinagre, licores e vinhos (INADA et al., 2015). A Figura 1 apresenta o aspecto geral da jabuticabeira e de distribuição das flores/frutos na planta.

Figura 1 - Aspecto geral da jabuticabeira (a); flores da jabuticabeira (b); jabuticabas na pré-colheita (c) e jabuticabas na pós-colheita (d).



Fonte: Adaptado de Casagrande (2010).

A fruta é muito rica nutricionalmente, apresentando em sua composição carboidratos, fibras e sais minerais. A polpa é rica em vitamina C e minerais, especialmente potássio e cálcio, porém a maioria dos compostos estão presentes na casca (GARCIA, 2014). A Tabela 1 apresenta a composição da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*).

Tabela 1 - Composição química e mineral da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) na fase madura.

Composição química (mg/100 g PS)	
Proteína	1,02
Lipídeos	0,55
Cinza	2,30
Fibras	17,9
Solúvel	1,80
Insolúvel	16,1
Hidratos de carbono*	78,2
Minerais (mg/100 g PS)	
Nitrogênio (N)	800
Fósforo (P)	110
Potássio (K)	1320
Cálcio (Ca)	20
Magnésio (Mg)	120
Enxofre (S)	80
Boro (B)	0,7
Zinco (Zn)	2
Ferro (Fe)	2,9
Manganês (Mn)	1,8
Cobre (Cu)	1
Sódio (Na)	0,76
Selênio (Se)	< LQ

*Calculado por diferença; PS: peso seco; LQ: limite de quantificação para Se = 0,002 mg/kg.
Fonte: Adaptado de Alezandro et al. (2013).

3.2 Corantes Naturais

A evolução tecnológica da indústria alimentícia contribui para a produção de diversos tipos de corantes. No mercado existem corantes de natureza sintética/artificial e natural. Os corantes naturais mais utilizados na indústria de alimentos são as antocianinas, betalaínas, carmim de cochonilha, clorofilas, curcumina e extratos de urucum (SAITO, 2014).

De acordo com a RDC nº 04/1988 da ANVISA (BRASIL, 1988), os principais corantes sintéticos permitidos em alimentos são: Amarelo Crepúsculo, Amarelo Tartrazina, Azul Brilhante, Indigotina (azul escuro), Amaranço ou Vermelho Bordeaux, Vermelho Eritrosina, Vermelho Ponceau 4R, Vermelho 40.

Os corantes sintéticos possuem algumas vantagens, como: pureza, disponibilidade, baixo custo, uniformidade dos alimentos, poder tintorial elevado, estabilidade à luz, oxigênio, calor e pH, baixos custos de produção, também são inócuos microbiologicamente, quando comparados aos naturais, o que facilita a sua utilização pela indústria. Entretanto, a quantidade destes aditivos permitidos no mercado tem diminuído gradativamente com o passar dos anos devido a sua toxicidade. Por esse motivo observa-se um aumento no consumo de corantes naturais, estimulado também pela tendência mundial de buscar produtos mais saudáveis e que não causem possíveis danos à saúde a longo prazo (SAITO, 2014).

3.3 Compostos fenólicos

A jabuticaba possui uma gama de compostos fenólicos, os quais incluem flavonoides, antocianinas, taninos, ácidos fenólicos, assim como polifenóis (WU; LONG, KENNELLY, 2013; SOUZA, 2014). Grande parte dos compostos fenólicos se concentram na casca, incluindo antocianina, quercetina, ácido elágico e ácido gálico (LAMAS et al., 2018). Esses compostos apresentam em sua estrutura hidroxilas e anéis aromáticos, nas formas simples ou de polímeros, conferindo-lhes o poder antioxidante (ANGELO, JORGE, 2007). Os principais compostos fenólicos podem ser classificados de acordo com o tipo e o número de anéis fenólicos (SOUZA, 2017) dividindo-se em flavonoides (polifenóis) e não-flavonoides (fenóis simples ou ácidos) (SILVA et al., 2010).

Os compostos fenólicos são um grupo de compostos bioativos que compreendem um grande grupo de substâncias orgânicas: ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, cumarinas e taninos. Os flavonoides são um subgrupo bastante importante do qual fazem parte as antocianinas (SOUZA, 2014). Foram identificados e previamente isolados trinta e dois compostos fenólicos a partir de frutos de jabuticabas (WU; LONG, KENNELLY, 2013). Estes compostos e suas respectivas massas molares estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - compostos fenólicos presentes na jaboticaba.

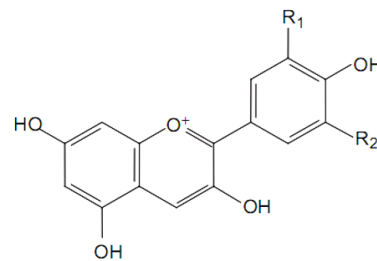
Composto fenólico*	Estrutura	Massa Molar (g/mol ou Da)
(1) Peonidina	C ₁₆ H ₁₃ O ₆	301,27
(2) Peonidina-3-glucosídeo	C ₂₂ H ₂₃ O ₁₁	463,4
(3) Delfinidina-3-glucoídeo (Mirtillina)	C ₂₁ H ₂₁ O ₁₂ Cl	500,83
(4) Cianidina-3-glucosídeo (Kuromanine)	C ₂₁ H ₂₁ O ₁₁ Cl	484,8
(5) Piranocianina B	C ₂₄ H ₂₃ O ₁₁	487,4
(6) Quercetina-3-glucosídeo (Isoquercitrina)	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	464,4
(7) Quercetina-7- glucosídeo (Quercimeritrina)	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	464,4
(8) Quercetina-3-ramnose (Quercitrina)	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₁	448,4
(9) Miricetina-3-ramnose (Micricitrina)	C ₂₁ H ₂₀ O ₁₂	464,4
(10) Quercetina	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	302,23
(11) Quercetina-3-rutinosídeo (Rutina)	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	610,5
(12) Ácido gálico	C ₆ H ₂ (OH) ₃ COOH	170,12
(13) Di-HHDP-glicose (Casuarina)	C ₃₄ H ₂₄ O ₂₂	784,5
(14) Digaloil-HHDP-glicose (Casuarinina)	C ₄₁ H ₂₈ O ₂₆	936,6
(15) HHDP-Glicose-digaloil (Tellimagrandin I)	C ₃₄ H ₂₆ O ₂₂	786,56
(16) HHDP-tri galoil glicose (Tellimagrandin II)	C ₄₁ H ₃₀ O ₂₆	938,7
(17) Isômero de di-HHDP-glicose (pedunculagina)	C ₃₄ H ₂₄ O ₂₂	784,5
(18) Isômero de galoil-di-HHDP-glicose (Casuarictin)	C ₄₁ H ₂₈ O ₂₆	936,6
(19) HHDP-galoil-glicose	C ₂₇ H ₂₂ O ₁₈	634,45
(20) Dilactona do ácido valônico	C ₂₁ H ₁₀ O ₁₃	470,3
(21) Pentose de ácido elágico	C ₁₉ H ₁₃ O ₁₂	433,04
(22) Ácido elágico	C ₁₄ H ₆ O ₈	302,19
(23) Iso-enotina C	C ₃₄ H ₂₄ O ₂₂	784,5
(24) Enotina C	C ₃₄ H ₂₄ O ₂₂	784,5
(25) Ácido 2-O-(3,4-di-hidroxibenzoil)-2,4,6-tri-hidroxifenilacético	C ₁₅ H ₁₂ O ₈	320,16
(26) Jaboticabina	C ₁₆ H ₁₄ O ₈	334,28
(27) Siringuina-3-glucosídeo	C ₂₃ H ₃₅ O ₁₅	551,24
(28) Siringuina	C ₁₇ H ₂₄ O ₉	372,4
(29) Ácido cinâmico	C ₉ H ₈ O ₂	148,16
(30) O-ácido cumarico	C ₉ H ₈ O ₃	164,16
(31) Ácido protocatecuico	C ₇ H ₆ O ₄	154,12
(32) Ácido metil protocatecúico	C ₈ H ₈ O ₄	168,15

Fonte: Adaptado de Neves et al. (2018); Quatrin et al. (2019).

As antocianinas se referem à classe dos compostos fenólicos, pertencentes ao grupo dos flavonoides, com a capacidade de absorver a luz visível e constituem grupo de pigmentos responsáveis por grande parte das cores em flores, frutas, folhas, caules e raízes de plantas (NASCIMENTO et al., 2008; BORGES et al., 2014). Possuem atividade antioxidante, que desempenha um papel fundamental na prevenção de doenças cardiovasculares, neurológicas, câncer e diabetes (TENG et al., 2017).

Elas são solúveis em água, sendo responsáveis pelas colorações vermelha, azul e púrpura das folhas, flores e frutos em várias espécies de plantas (ZHANG et al., 2018). São uma classe de flavonoides com grandes propriedades antioxidantes (WU; LONG, KENNELLY, 2013). As antocianinas são formadas por um anel aromático ligado a um anel heterocíclico. Este anel heterocíclico é ligado a um terceiro anel aromático por meio de uma ligação de carbono. Normalmente encontram-se na forma de glicosídeos (AJILA et al., 2011; ALTEMIMI et al., 2017). A Figura 2 apresenta a estrutura básica que compõe as antocianinas.

Figura 2 - Estrutura básica das antocianinas.



R ₁ = H;	R ₂ = H;	Pelagonodina
R ₁ = OH;	R ₂ = H;	Cianidina
R ₁ = OH;	R ₂ = OH;	Delfinidina
R ₁ = OCH ₃ ;	R ₂ = OH;	Petunidina
R ₁ = OCH ₃ ;	R ₂ = OCH ₃ ;	Malvidina

Fonte: Adaptado de Ajila et al. (2011).

As antocianinas são sensíveis a luz, temperatura, pH, oxigênio e atividade de água, o que pode tornar sua separação e purificação de elevado custo e demoradas. Do mesmo modo, elas degradam rapidamente em condições neutras e alcalinas, em comparação com condições ácidas. Para melhorar a estabilidade das antocianinas o ideal é ajustar o pH das soluções de extração para 2,0-2,3. A relação líquido-sólido também afeta o rendimento de antocianinas totais (AT), uma relação líquido-sólido superior facilita o acesso do soluto ao solvente (HE et al., 2016).

As antocianinas contidas na jabuticaba são encontradas somente na casca da fruta (a parte escura), que não é consumida diretamente, mas é usada na produção de geleias e extratos usados na indústria de bebidas e sorvetes. Além das antocianinas, a casca de jabuticaba apresenta também compostos fenólicos. Por este motivo, a extração dos compostos da casca da jabuticaba é atrativa para a indústria. Entretanto, grande parte dos trabalhos publicados sobre a jabuticaba teve a finalidade

de caracterizar e verificar a composição dos frutos. Nestes trabalhos, a extração foi realizada de forma analítica, sem levar em conta o tipo de solvente utilizado, otimização de processos e *scale up* (RODRIGUES et al., 2015).

As cascas imaturas da jabuticaba são verdes e tornam-se pretas à medida que os frutos amadurecem (ZHANG et al., 2018), acumulando altos níveis de antocianinas, que são as responsáveis pela cor escura na casca. Leite-Legatti et al. (2012) descobriram que a casca seca de cor escura contém cerca de 4,5 a 7,8 vezes mais antocianinas do que as frutas inteiras relatadas por Reynertson et al. (2006). Portanto, deve-se usar as cascas em produtos que queiram maximizar os níveis de antocianinas (WU; LONG, KENNELLY, 2013).

Devido ao enorme potencial e interesse econômico nas antocianinas, houve um crescimento nas pesquisas em relação a métodos de extração e quantificação das mesmas (ANTOLOVICH et al., 2000; TEIXEIRA; STRINGHETA, OLIVEIRA, 2015).

Para ser utilizada na alimentação, a casca de jabuticaba precisa ser processada e é necessária a extração dos pigmentos coloridos, ricos em antocianina. Um eficiente processo de extração deve potencializar a recuperação dos compostos de interesse com degradação mínima, gerando um extrato com excelente atividade antioxidante, utilizando tecnologias limpas e matérias-primas de baixo custo (SANTOS; VEGGI, MEIRELES, 2010).

3.4 Extração de compostos bioativos por ultrassom

A extração de compostos bioativos de fontes naturais, como é o caso da casca de jabuticaba, pode ser realizado por meio de ultrassom, o qual apresenta menor consumo de solventes (SILVA; GARCIA, FRANCISCATO, 2016; WEN et al., 2018; PINELA, et al., 2018; BARRETO et al., 2020). Por este motivo, a extração por ultrassom é considerada uma “extração verde” sustentável e, também, economicamente viável, com potencial para aplicação em plantas (KHAN, et al., 2010; CHEMAT; ZILL-e-HUMA, KHAN, 2011; TROJANOWSKA et al., 2019), como é o caso dos frutos da jabuticabeira.

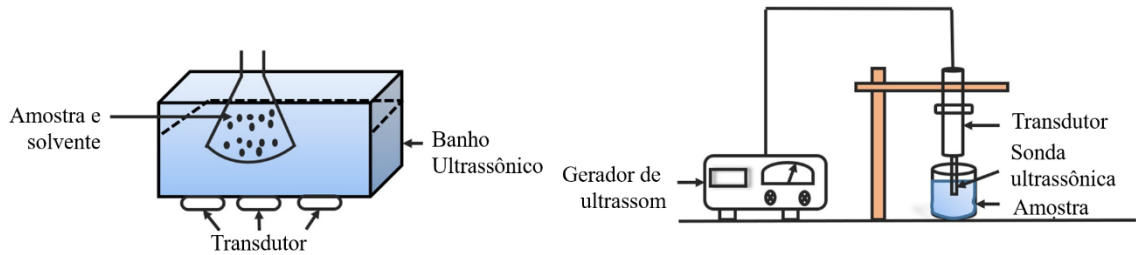
As ondas sonoras de ultrassom se propagam por meio sólido, líquido ou gás. Os principais fenômenos que acontecem na extração de amostras de plantas e/ou frutos por meio do ultrassom são a ruptura da parede celular e liberação dos componentes celulares internos após a quebra destas paredes (YAHYA; ATTAN,

WAHAB, 2018). Neste método, uma amostra moída é misturada com o solvente adequado e colocada no banho ultrassônico, com temperatura e tempo de extração controlados (ALTEMIMI et al., 2017). Normalmente, a fonte de saída do ultrassom é um corpo vibratório, que faz o meio vibrar e, em seguida, a onda ultrassônica transfere energia para partículas vizinhas. Os parâmetros físicos que desempenham papéis principais no processo incluem potência, frequência e amplitude. A energia no qual o ultrassom se propaga pode ser expresso como potência de ultrassom (W), intensidade de ultrassom ($W.cm^{-2}$) ou densidade de energia acústica ($W.cm^{-3}$ ou $W.mL^{-1}$) (WEN et al., 2018).

A eficiência de extração da extração assistida por ultrafiltração se relaciona à cavitação acústica, que se refere à criação, progressão e quebra de bolhas (AZMIR et al., 2013). Para realizar a sonicação para fins de extração, as frequências operacionais das ondas de ultrassom geralmente são com níveis superiores a 20 kHz (ALTEMIMI et al., 2017; WEN et al., 2018). As elevadas forças do bombardeamento acústico atuam em conjunto com o(s) solvente(s) empregado(s) para romper e desintegrar a parede celular do material vegetal, liberando e dissolvendo quantidades maiores dos compostos bioativos, promovendo maior taxa de transferência de massa entre o soluto e o solvente (RENARD, 2018).

Existem dois modelos para sistemas de ultrassom, o banho ultrassônico e a sonda ultrassônica. O banho ultrassônico é mais utilizado devido à facilidade de operação e baixo custo, porém, apresenta algumas desvantagens, como desuniformidade na dispersão da energia de ultrassom e redução de energia no decorrer do tempo. O design da sonda ultrassônica tem a vantagem de fornecer cavitação mais eficiente no líquido, pois a energia gerada é aplicada a uma zona de amostra limitada. No entanto, a sonda ultrassônica possui propriedades negativas relacionadas à repetibilidade experimental e a reprodutibilidade (ALTEMIMI et al., 2017; YAHYA; ATTAN, WAHAB, 2018; KELLY; KELLY, O'MAHONY, 2019). A Figura 3 apresenta o diagrama esquemático do banho ultrassônico e de uma sonda ultrassônica.

Figura 3 - Diagrama esquemático do banho ultrassônico e projeto de uma sonda ultrassônica.



Fonte: Adaptado de Yahya; Attan, Wahab (2018).

Nos últimos anos ocorreu um aumento na extração de compostos fenólicos por ultrassom. O método possui uma extração eficiente em tempo reduzido e com menores consumo de energia e uso de solvente (AJILA et al., 2011; ALTEMIMI et al., 2017; TROJANOWSKA et al., 2019). É um método adequado para a extração de compostos bioativos para consumo humano, pois reduz o uso de solventes tóxicos ou produtos químicos para mediar a extração (HE et al., 2016).

Na extração de polifenóis soluções com água e etanol são muito utilizadas, principalmente, quanto o extrato será utilizado em formulações de alimentos. O etanol aumenta a solubilidade de polifenóis, enquanto a água auxilia na dessorção do soluto da amostra (BARROS et al., 2019).

A capacidade antioxidante e o perfil dos compostos bioativos podem ser afetados pela temperatura, pressão, frequência, tempo de sonicação e potência ultrassônica (YAHYA; ATTAN, WAHAB, 2018). Por este motivo, os principais parâmetros a serem estudados são: tempo de sonicação, temperatura de extração e relação líquido-sólido (HE et al., 2016). Além disso, o tamanho da partícula possui influência na aplicação de ultrassom. O poder do ultrassom não teve efeito na extração usando amostras com partículas pequenas (0,68 mm), mas foi eficiente ao utilizar potências de 480 e 640 W e partículas médias de 1,05 mm na extração de compostos bioativos da casca de romã (*Punica granatum* L.) (SUMERE et al., 2018; GALLEGU; BUENO, HERRERO, 2019).

He et al. (2016) utilizando etanol (70%, v/v) como solvente de extração, ácido clorídrico (0,01 %, v/v) para ajustar o pH entre 2,0-2,3 e uma potência ultrassônica de 400 w, sob as condições ótimas de 61°C, relação líquido-sólido 22:1 e tempo de sonicação de 24 minutos para extrair compostos fenólicos e antocianinas do bagaço

do mirtilo (*Vaccinium myrtillus* L.). Eles optaram pela temperatura ótima de 61°C para equilibrar os rendimentos de extração e perdas de antocianinas.

Rodrigues et al. (2015) realizaram extrações em um banho de ultrassom retangular aberto, com temperatura de 30 °C (25 kHz, 150 W, 2,7 L). As extrações foram realizadas utilizando-se uma mistura de solventes de etanol: água acidificada (pH=3,5, acidificado com HCl) com proporção de 46% (v/v) e uma proporção de 1:20 matéria prima: solvente (500 mg do pó de jabuticaba e 10 mL da solução de etanol/água). Tempo de extração de 60 min. Estas foram as melhores condições para a extração monomérica de antocianinas e ácido elágico. O aumento da concentração de etanol e o tempo de extração favoreceram a extração de antocianinas totais. Nestas condições ótimas, a extração produziu 4,8 mg/g (de casca seca) de antocianinas totais; 92,8 mg/g (de casca seca) de equivalente de ácido gálico; 4,9 mg/g (de casca seca) de cianidina-3-O-glicosídeo e 7,8 mg/g (de casca seca) de ácido elágico.

Hentz (2015), utilizando metanol como solvente, ácido clorídrico para ajustar o pH para 1, realizou a extração de antocianinas da casca de jabuticaba liofilizada em um banho ultrassônico, na frequência de 40 kHz. O tempo de extração foi de 1h, em temperatura de 40 °C, na proporção de 1:10 matéria prima:solvente. Essas condições de extração produziram 354,00 (mg/100g) de antocianinas.

Santos; Veggi, Meireles (2010) realizaram extração de antocianinas e fenóis totais da casca da jabuticaba empregando ultrassom na frequência de 40 kHz, temperatura de 20 °C, utilizando etanol 99,5% como solvente em pH neutro, com uma proporção de sólido-líquido de 1:10, durante 2 h. Como resultado da extração, obtiveram uma concentração de fenóis totais de 26,33 (mg GAE/g) e 367,30 (mg/100g) de antocianinas.

Reynertson et al. (2008) realizaram a extração por meio de ultrassom de antocianinas e fenóis totais do fruto da jabuticabeira, utilizando como solvente o metanol acidificado. Para a extração, utilizou-se 10 g de frutos secos homogeneizados num misturador com 200 ml de ácido fórmico-MeOH (9:1) e sonicados por 1 h, em temperatura de aproximadamente 40 °C. Após a extração obteve-se 278,00 (mg/100g) de antocianinas e 31,60 (mg GAE/g) de fenóis totais, respectivamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Neste item serão apresentados os materiais, equipamentos e os procedimentos experimentais relacionados à extração de compostos fenólicos da casca de jabuticaba e quantificação de antocianinas.

4.1 Matéria-prima vegetal

As jabuticabas da cultivar Sabará, espécie *Myrciaria cauliflora* (Vell.) O. Berg foram adquiridas na região Norte do Estado do Rio Grande do Sul/Brasil, colhidas nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. As cascas foram liofilizadas (liofilizador Edwards) antes do processo de extração.

As cascas de jabuticaba foram retiradas do freezer a - 80 °C, como verificado na Figura 4 (a) e distribuídas nas bandejas do liofilizador, onde permaneceram por aproximadamente 5 dias (Figura 4b). Depois de retiradas do liofilizador, as cascas foram trituradas em liquidificador de uso doméstico, até apresentarem-se sob o aspecto de um pó e classificadas em peneiras de aço inox com abertura 1,19 mm/ ABNT/ASTM 18/ mesh 16 (Figura 4c).

Figura 4 - Aspecto das cascas de jabuticaba retiradas do freezer - 80 °C antes do processo de liofilização (a), após 5 dias em liofilizador (b) e trituradas (c).



Fonte: O autor

4.2 Extração de compostos fenólicos

Inicialmente foram realizados ensaios preliminares de extração empregando sistema assistido por ultrassom utilizando um banho ultrassônico (UNIQUE, USC-1800 A), com frequência de 40 kHz, temperatura de 30°C e tempo de 60 min, avaliou-se os parâmetros de potência (40 e 80% em relação a potência máxima do equipamento (132 W)) e granulometria (9, 16 e 32 mesh) na extração de antocianinas.

Na sequência, empregou-se a metodologia de planejamento de experimentos visando maximizar a extração de antocianinas, avaliando a influência o tempo (11,55; 30; 75; 120 e 138 min) e temperatura (16,67; 22; 35; 48 e 53,3 °C), mantendo fixas a frequência (40 kHz), relação sólido-etanol (1:25, m/v), quantidade de cascas liofilizadas trituradas (10 g) e volume de etanol acidificado pH 1 (250 mL). Os níveis estudados foram baseados em trabalho de Hentz (2015).

Baseado nos resultados preliminares e visando maximizar a compostos fenólicos, especificamente antocianinas, empregou-se a metodologia de planejamento de experimentos, um planejamento do tipo DCCR (delineamento composto central rotacional) 2^2 (triplicata no ponto central). As variáveis independentes de estudo e seus respectivos níveis encontram-se descritos na Tabela 3. As variáveis independentes fixas foram: amplitude do ultrassom (40 %), massa da casca liofilizada desintegrada (10 g, umidade de ~3,5%) e volume de etanol (250 mL). A variável dependente (resposta) foi a concentração de antocianinas totais (mg/100 g).

Tabela 3 - Variáveis independentes e níveis utilizados no delineamento composto central rotacional (DCCR) 2^2

Variáveis Independentes	Código	Níveis				
		-1,41	-1	0	+1	+1,41
Tempo (min)	X ₁	11,55	30	75	120	138
Temperatura (°C)	X ₂	16,67	22	35	48	53,3

*Variáveis Independentes Fixas: amplitude da potência do ultrassom (40 %), massa da casca liofilizada (10 g) desintegrada e volume do solvente etanol (250 mL).

4.3 Quantificação de antocianinas totais

As antocianinas totais foram determinadas pelo método diferencial de pH proposto por Jiang et al. (2018) e Oliveira et al. (2018) com algumas modificações. O método baseia-se na transformação estrutural da antocianina como uma função do pH em pHgâmetro (TECNAL, TEC-7) duas soluções tampão: cloreto de potássio, pH 1,0 e acetato de sódio pH 4,5. De acordo com o método a diferença em absorbância das soluções de pH 1,0 e 4,5 é diretamente proporcional à concentração de AT. A absorbância das amostras tamponadas nos dois diferentes pHs foram determinadas nos comprimentos de 520 nm e 700 nm. A concentração de antocianinas totais (AT) é expressa como mg de antocianinas totais em equivalentes de cianidina-3-glicosídeo por 100 g de matéria-prima vegetal liofilizada (em base seca) conforme apresentado

na Eq. (1). As determinações foram realizadas utilizando um espectrofotômetro (UV-1600 Pró-análise).

$$AT = \frac{[(A_{520}-A_{700})pH_{1,0}-(A_{520}-A_{700})pH_{4,5}]*M*DF*1000}{\epsilon*L} \quad (1)$$

Onde: M é a massa molar da cianidina-3-glucosídeo (449,2 g/mol), DF é o fator de diluição da amostra, ϵ é o coeficiente de extinção molar da cianidina-3-glucosídeo (26900 L/mol.cm), 1000 representa a conversão de g para mg, L é caminho óptico da cubeta (1 cm)

4.4 Análise estatística

Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente pela metodologia de planejamento de experimentos e pela Análise de Variância (ANOVA) e pelo teste t -Student ou pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas 4 e 5 apresentam os teores de antocianinas totais em função da amplitude de potência do sistema ultrassônico e da granulometria das cascas, respectivamente.

Tabela 4 – Teor de antocianinas totais em função da amplitude da potência do ultrassom.

Amplitude de Potência do Ultrassom	Antocianinas Totais (mg/100g)
40%	387,85 ^a ± 8,24
80%	334,20 ^b ± 2,69

**Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma coluna correspondem à diferença significativa ($p < 0,05$) pelo teste t -student. Variáveis fixas: Tempo de extração (60 min), temperatura (30°C), massa da casca liofilizada (10g, umidade de ~3,5%) desintegrada (2,00 mm/ABNT/ASTM 10/ mesh 9) e volume do solvente etanol (250 mL).

Tabela 5 – Teor de antocianinas totais em função do tamanho das partículas.

Tamanho das Partículas	Antocianinas Totais (mg/100g)
9 Mesh	334,20 ^b ± 2,69
16 Mesh	373,49 ^a ± 1,27
32 Mesh	280,54 ^c ± 1,44

**Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma coluna correspondem à diferença significativa ($p < 0,05$) pelo Teste de Tukey. Variáveis fixas: Tempo de extração (60 min), temperatura (30 °C), amplitude da potência do ultrassom (80%) massa da casca liofilizada (10 g, umidade de ~3,5%) desintegrada e volume do solvente etanol (250 mL).

Como pode-se observar na Tabela 4, 40% foi a melhor potência de ultrassom para a extração de antocianinas (387,85 mg/100g). O tamanho de partícula que apresentou melhor contato com o solvente e possibilitou maior extração de antocianinas (373,49 mg/100g) foi de 16 mesh. A partir dos testes preliminares foi possível definir as condições de potência do ultrassom e tamanho de partícula de 40% e 16 mesh (abertura de 1,19 mm), respectivamente, visando as etapas subsequentes de maximização da extração de antocianinas.

O tamanho da partícula exerce influência direta na extração de antocianinas, partículas muito pequenas causam compactação da amostra na extração, dificultando o acesso do solvente, já partículas muito grandes apresentam área superficial pequena, entretanto partículas médias possuem boa área superficial, facilitando a ação do solvente e maximizando a extração dos compostos. Sumere et al. (2018), ao realizarem a extração de compostos bioativos da casca de romã (*Punica granatum* L.), verificaram a influência do tamanho das partículas. Eles constataram que o poder do ultrassom não teve efeito na extração dos compostos usando amostras com partículas pequenas (0,68 mm), porém foi eficiente ao utilizar partículas médias de 1,05 mm e potências de 480 e 640 W na extração dos compostos bioativos.

A Tabela 6 apresenta a matriz do delineamento composto central rotacional (DCCR) 2^2 com os valores codificados (reais) das variáveis independentes estudadas (Tempo e Temperatura) e a resposta em antocianinas totais (mg/100 g) obtidas a partir da extração com etanol.

Tabela 6 - Matriz do delineamento composto central rotacional (DCCR) 2² (valores codificados e reais) e resposta em antocianinas toais.

Ensaio	Variáveis Independentes*		Resposta
	X ₁	X ₂	Antocianinas Totais (mg/100 g)
1	-1 (30)	-1 (22)	152,96
2	1 (120)	-1 (22)	186,69
3	-1 (30)	1 (48)	700,94
4	1 (120)	1 (48)	570,43
5	0 (75)	0 (35)	538,96
6	0 (75)	0 (35)	538,54
7	0 (75)	0 (35)	538,12
8	-1,41 (11,55)	0 (35)	308,09
9	1,41 (138)	0 (35)	495,12
10	0 (75)	-1,41 (16,67)	349,42
11	0 (75)	1,41 (53,3)	685,49

*X₁= Tempo (min), X₂= Temperatura (°C). Variáveis independentes fixas: amplitude da potência do ultrassom (40%), massa da casca liofilizada (10 g, umidade de ~3,5%) desintegrada (1,19 mm/ ABNT/ASTM 18/ mesh 16) e volume do solvente etanol (250 mL).

A maior concentração de antocianinas totais foi de 700,94 mg/100g (Ensaio 3), na temperatura de 48 °C, solvente etanol acidificado (pH 1) e tempo de extração de 30 min, nas condições fixadas: potência do ultrassom (40%), massa da casca liofilizada (10 g, umidade de ~3,5%) e granulometria (1,19 mm/ ABNT/ASTM 18/ mesh 16) e volume do solvente etanol (250 mL). O teor de antocianinas (Ensaio 3) foi de aproximadamente 1,8 vezes superior quanto comparado aos ensaios preliminares (Tabelas 4 e 5).

As Tabelas 7 e 8 apresentam os efeitos de regressão, erro padrão, valores de p e t (2) e efeitos das variáveis, para antocianinas. O tempo de extração e a temperatura e a interação das variáveis tiveram uma influência significativa (p<0,05) positiva e negativa, sobre as antocianinas, respectivamente. A Tabela 9 apresenta a análise de variância (ANOVA).

Tabela 7 - Efeitos de regressão e erro padrão, valores de p e t do planejamento fatorial 2² para antocianinas.

	<i>Coefficiente de Regressão</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>t(2)</i>	<i>p</i>
Médias.	538,76	0,24	2235,30	0,0000001
(1) Tempo (min) (L)*	20,93	0,15	141,59	0,000050
Tempo (min) (Q)*	-83,15	0,18	-471,39	0,000005
(2) Temperatura (°C) (L)*	176,22	0,15	1192,14	0,000001
Temperatura (°C) (Q)*	-24,88	0,18	-141,03	0,000050
1L.2L*	-41,06	0,21	-196,70	0,000026

*Fatores estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela 8 - Coeficientes de regressão e erro padrão, valores de p e t do planejamento fatorial 2² para antocianinas.

	<i>Coefficiente de Regressão</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>t(2)</i>	<i>p</i>
Médias.	538,76	0,24	2235,30	0,000001
(1) Tempo (min) (L)	41,86	0,29	141,59	0,000050
Tempo (min) (Q)	-166,29	0,35	-471,39	0,000005
(2) Temperatura (°C) (L)	352,44	0,29	1192,14	0,000001
Temperatura (°C) (Q)	-49,75	0,35	-141,03	0,000050
1L.2L	-82,12	0,42	-196,70	0,000026

*Fatores estatisticamente significativos (p<0,05)

Tabela 9 - Análise de variância para as antocianinas delineamento composto central rotacional (DCCR) 2².

<i>Fontes de variação</i>	<i>Graus de liberdade</i>	<i>Soma dos quadrados</i>	<i>Quadrados médios</i>	<i>F calculado</i>
Regressão	296656,06	5,00	59331,21	6,12
Resíduo	48443,16	5,00	9688,63	
Falta de Ajuste	48442,80	3		
Erro Puro	0,30	2		
Total	345099,20	10		

Resíduo = Falta de ajuste + Erro puro; F_{tab,95%} = 5,05

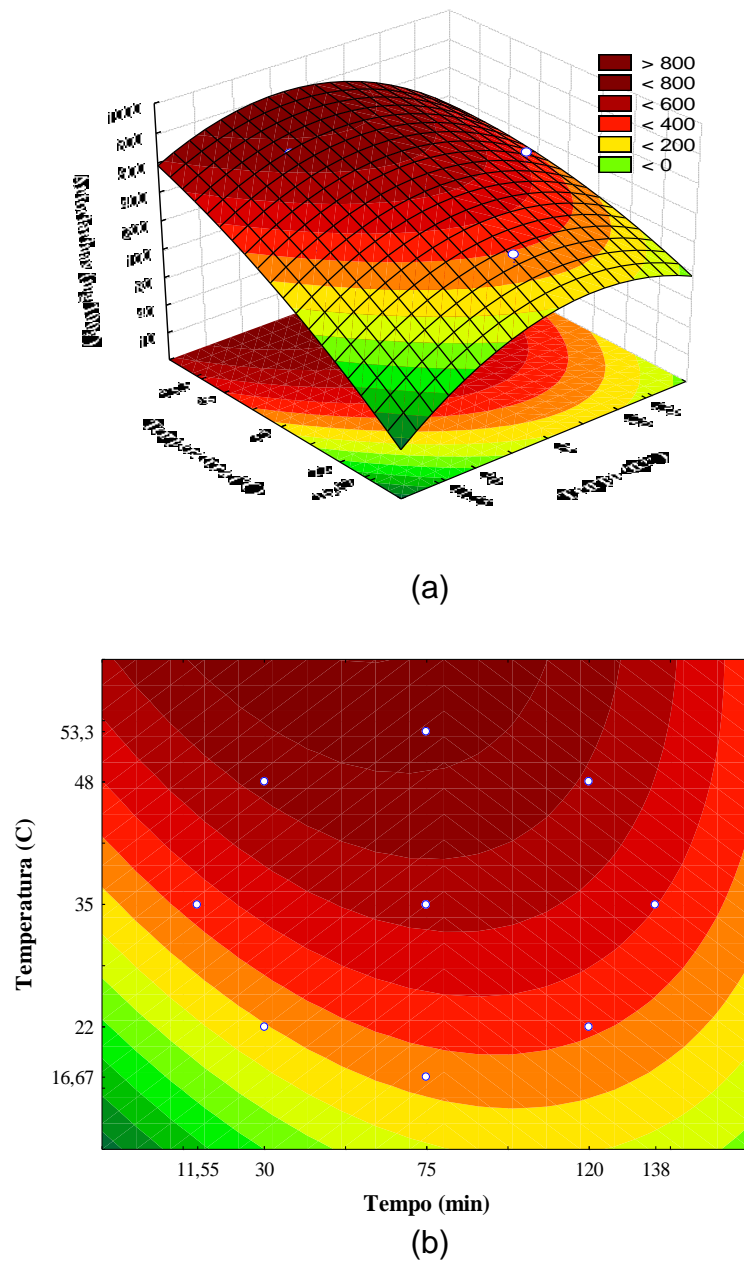
A Eq. (2) apresenta o modelo codificado de segunda ordem que descreve as antocianinas em função das variáveis tempo e temperatura dentro das faixas estudadas. O modelo foi validado pela análise de variância, com um coeficiente de correlação de 0,927 e F calculado 1,21 vezes maiores que o valor do F tabelado. Os quais permitiram a construção de superfícies de resposta e curvas de contorno apresentadas na Figura 5 demonstrando que o máximo teor de antocianinas foi de 700,94 mg/100g e encontra-se na faixa próxima de 48°C a 53,3°C e 75 min de extração.

$$AT = 538,76 + 41,86X_1 - 166,29 (X_1)^2 + 352,44X_2 - 49,75 (X_2)^2 - 82,12 X_1 * X_2 \quad (2)$$

Onde, AT = antocianinas totais (mg/100g), X_1 = tempo (min), X_2 = temperatura (°C).

Conforme observado na Figura 5 (a) e (b), a máxima concentração de antocianinas totais, encontram-se na região próxima a 75 min e temperatura de 48°C. Como na superfície de resposta e curva de contorno demonstram uma tendência de aumento da concentração de antocianinas ao aumentar a faixa de temperatura, novos ensaios de extração de antocianinas foram realizados, variando-se a temperatura de 55, 60, 65 °C e mantendo-se fixos o tempo de 75 min, a potência do ultrassom de 40%, a massa liofilizada desintegrada de 10 g e volume de etanol acidificado (pH 1) de 250 mL.

Figura 5 - Superfícies de resposta (a) e curvas de contorno (b) em função do tempo (min) e da temperatura (°C) da extração de antocianinas.



A Tabela 8 apresenta os resultados do teor de antocianinas nas temperaturas estudadas, ela demonstra que houve um decréscimo no teor de antocianinas ao elevar as temperaturas, e que o máximo teor de antocianinas encontra-se na região próxima a temperatura de 48 °C (700,94 mg/100g) (Tabela 6).

Tabela 10 – Teor de antocianinas totais obtidas na extração assistida por ultrassom nas temperaturas de 55, 60 e 65 °C e percentual de perdas.

Temperatura (°C)	Antocianinas Totais (mg/100g)	Perda de Antocianinas (%)
48	700,94	-
55	547,16 ^a ± 1,27	21,94
60	169,48 ^b ± 0,83	75,82
65	52,59 ^c ± 0,83	92,50

**Resultados de média ± desvio padrão; letras diferentes em uma mesma coluna correspondem à diferença significativa ($p < 0,05$) pelo Teste de *Tukey*.

A eficiência de extração de um composto associa-se profundamente às condições do processo de extração. A concentração dos componentes de interesse no extrato é afetada por fatores como a temperatura, o tempo de extração, a fração sólido-líquido, a polaridade do solvente e o tamanho das partículas (IGNAT; VOLFF, POPA, 2011; STAFUSSA et al., 2016).

A degradação de antocianinas é menor quando se utiliza somente a casca no processo de extração da jabuticaba, utilizando etanol 94% v/v como solvente extrator (FAVARO, 2008).

Os resultados obtidos neste trabalho confirmam as afirmações apresentadas por Santos; Veggi; Meireles (2010). Eles apresentam que para se obter um alto rendimento de antocianinas, os solventes polares são acidificados para facilitar a extração e solubilização das antocianinas a partir de cascas de frutos, além de estabilizá-las. A maior estabilidade é conseguida em meios mais ácidos, pois este meio contribui para que o cátion flavílio, forma mais estável, consista na forma predominante das antocianinas. Dessa forma, o solvente acidificado em pH 1,0-2,0 evita a degradação e a oxidação das antocianinas, mantendo também sua estabilidade (SANTOS; VEGGI, MEIRELES, 2010). O uso de um solvente acidificado em pH 1, possibilitou a alta extração de antocianinas.

O maior interesse do emprego das antocianinas nos alimentos é devido às antocianinas conferirem a coloração quando adicionados a produtos. Porém, o cátion flavílio, por ser um íon, é muito reativo (ZICKER, 2011). O fator que tem maior influência na coloração das antocianinas é o pH, pois em função da acidez ou alcalinidade, estas podem apresentar estruturas diferentes (BORDIGNON JR. et al., 2009; CARDOSO; LEITE, PELUZIO, 2011). A antocianina apresenta coloração

vermelha em soluções ácidas, porém, ao aumentar o pH a intensidade da cor diminui (LOPES et al., 2007).

A temperatura de extração deve ser controlada cautelosamente, pois as antocianinas são termicamente estáveis até 60 °C (TERCI, 2004; ALASALVAR; AL-FARSI, SHAHIDI, 2005; FAVARO, 2008). Esse fator é comprovado neste estudo. Conforme a temperatura de extração é aumentada acima do ponto ótimo de 48 °C, menor é a concentração de antocianinas (Tabela 10). A extração realizada a 65 °C mostra que a concentração de antocianinas caiu consideravelmente. Por serem sensíveis ao aquecimento, temperaturas muito altas podem afetar a concentração de antocianinas nos extratos (JING, GIUSTI, 2007; FAVARO, 2008; SANTOS, MEIRELLES, 2011).

O mecanismo da degradação térmica das antocianinas ainda não foi totalmente esclarecido, porém percebe-se que esses pigmentos se degradam em temperaturas acima dos 60 °C, ocorrendo a hidrólise da dupla ligação do anel C do cátion flavílio na posição 3-glicosídica, ocasionando a liberação da aglicona e a abertura hidrolítica do anel C por transferência de carga intramolecular, com formação da chalcona, que se degrada a compostos insolúveis e escuros, de natureza polifenólica (GUAN, ZHONG, 2015; ZICKER, 2011). Por este motivo, as extrações são realizadas com o emprego de temperaturas abaixo de 60 °C, para que não ocorra a diminuição da concentração de antocianinas nos extratos e sua estabilidade se mantenha (ABREU, FERREIRA, 2013). O fato da degradação térmica pode ser observado neste trabalho (Tabela 10), no qual, a concentração de antocianinas aumentou com o aumento da temperatura, até atingir 53,3 °C e ao exceder a temperatura para 55, 60 e 65 °C, ocorreu a diminuição no teor das antocianinas.

Este trabalho mostrou uma concentração elevada de antocianinas totais da casca de jabuticaba Sabará, valor máximo de 700,94 mg/100g, superior à quantidade de antocianinas encontradas nos demais estudos (SANTOS; VEGGI, MEIRELES, 2010, 2012; HENTZ, 2015; PAULETTO, 2016).

Existe uma grande diversidade na literatura em relação aos teores de antocianinas extraídas da casca de jabuticaba, devido à enorme variedade da matéria-prima, a época da colheita, existência ou não de pré-tratamentos e as condições de extração como o solvente utilizado, tipo de extração, tempo de extração, a temperatura empregada e agitação (CAVALCANTI, 2013; MIRANDA, 2019). Assim

sendo, ao se comparar os valores encontrados na literatura, Rufino et al. (2010) obtiveram valores baixos (58,1 mg/100 g) de antocianinas na casca de jabuticaba, no entanto, Leite-Legatti et al. (2012) obtiveram valores de 732,77 mg/100 g, semelhantes ao do presente estudo (Tabela 6), e Lenquiste et al. (2015) obtiveram valores médios de antocianinas (404,56 mg/100 g), semelhantes aos valores encontrados por Miranda (2019) (439,55 mg/100 g e 440,92±2,42 mg/100 g).

Hentz (2015), utilizando o planejamento fatorial 2³, realizou o estudo da extração convencional de antocianinas da casca de jabuticaba com emprego de etanol como solvente, obtendo nas temperaturas de 40 °C e 14 °C, o teor de antocianinas totais de 134 mg/100 g e 161 mg/100 g, respectivamente.

Os resultados obtidos neste trabalho são semelhantes ou superiores aos obtidos por Wu; Long, Kennelly (2013), no qual o teor de antocianinas totais da jabuticaba foi de até 315 mg/100 g de fruta.

Ao observar a literatura e comparar com os dados obtidos neste trabalho pode-se afirmar que frutos de cor escura possuem elevado teor de antocianinas totais, sendo confirmado por Terzi (2004), que descreveu a jabuticaba como uma fruta de elevados teores de antocianinas, estes pigmentos naturais estão presentes em maiores quantidades na casca. Pesquisas informam que o conteúdo de antocianinas totais presentes na casca de jabuticaba Sabará é de aproximadamente 210 mg/100 g, cerca de 66 vezes superior ao conteúdo da polpa e sementes, respectivamente. Assim, confirmou-se que as antocianinas eram muito mais concentradas nas cascas de jabuticaba (LEITE-LEGATTI et al., 2012). Então, a jabuticaba pode ser classificada como sendo um fruto rico em antocianinas, de acordo com a classificação adotada por Macheix et al. (1990).

A quantidade e o tipo das antocianinas sofrem influência das condições de cultivo, tempo de plantio, exposição à luz UV e o método de colheita. Por isso, a comparação de teores de antocianinas entre diferentes culturas, pode apresentar resultados diferentes (SIRIWOHARN, 2004; CARDOSO; LEITE, PELUZIO, 2011).

Wang et al. (2020) para extrair antocianinas do farelo de arroz vermelho, empregou a extração assistida por ultrassom, na potência de 400 W e 24 kHz de frequência, e estimou parâmetros ótimos de extração para obter 579,9 mg/100g de antocianinas: razão sólido-líquido de 1:17,46, concentração de etanol acidificado de 78,37%, tempo de extração de 55,23 min e pH de 2,3. Rodrigues et al. (2015), ao

utilizar o método de extração assistida por ultrassom, na frequência de 25 kHz e potência de 150 W, (0,5 g do pó seco de jabuticaba, 10 mL da solução de etanol 46 % (v/v), pH 3,5, a 30 °C por 60 min.) encontraram 480 mg/100 g de antocianinas totais na casca de jabuticaba. Ao comparar com este estudo, que também utilizou a casca de jabuticaba liofilizada e triturada, porém em diferentes condições de extração (10 g de casca, 250 mL de etanol, pH 1), os valores encontrados foram de até 700,94 mg/100g, demonstrando que o pH, temperatura, tempo e a relação sólido-líquido influenciam na extração das antocianinas.

6. CONCLUSÃO

Um modelo de segunda ordem permitiu maximizar a extração assistida por ultrassom. A seguir detalha-se as principais conclusões obtidas no presente estudo:

- Partículas de tamanho médio (1,19 mm/ mesh 16) apresentam maior rendimento na extração de antocianinas (373,49 mg/100g) em comparação com partículas maiores (280,54 mg/100g) ou menores (334,20 mg/100g).
- A melhor potência para extração de antocianinas é 40%.
- O maior teor de antocianinas (700,94 mg/100g) foi obtido nas condições de 48 °C, 30 min de extração e relação 1:25 (mv) de sólido-líquido.
- Temperaturas acima de 50 °C causam a degradação térmica das antocianinas.

A combinação de fatores como a relação sólido-líquido, tamanho das partículas, pH do solvente, tempo, temperatura e frequência do sistema ultrassônico são importantes na extração e estabilidade de antocianinas.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Concentrar os extratos por nanofiltração, para recuperação do etanol;
- Realizar a extração das antocianinas da casca da jabuticaba com CO₂ supercrítico;
- Extrair e analisar outros compostos fenólicos da casca da jabuticaba.

REFERÊNCIAS

ABREU, H.; FERREIRA, S. M. R. Extração e encapsulação de antocianinas de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*), açaí (*Euterpe oleracea*) e uva Isabel (*Vitis labrusca*). **EETCG - Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais**, 2013.

AJILA, C. M.; BRAR S. K.; VERMA M.; TYAGI R. D.; GODBOUT S.; VALÉRO J. R. Extraction and Analysis of Polyphenols: Recent trends. **Critical Reviews in Biotechnology**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 1–22, 2011.

ALASALVAR, C.; AL-FARSI, M.; SHAHIDI, F. Compositional characteristics and antioxidant component of cherry Laurel Varieties and Pekmez. **Journal of Food Science**, v. 70, n. 1, S47-S52, 2005.

ALEZANDRO, M. R.; DUBÉ, P.; DESJARDINS, Y.; LAJOLO, M. F.; GENOVESE, M. I. Comparative study of chemical and phenolic compositions of two species of jaboricaba: *Myrciaria jaboricaba* (Vell.) Berg and *Myrciaria cauliflora* (Mart.) O. Berg. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 468-477, 2013.

ALTEMIMI, A. LAKHSSASSI, N.; BAHARLOUEI, A.; WATSON, D. G.; LIGHTFOOT D. A. Phytochemicals: Extraction, Isolation, and Identification of Bioactive Compounds from Plant Extracts. **Plants**, [s. l.], v.6, n.4, p. 42, 2017.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - uma breve revisão. **Rev. Inst. Adolfo Lutz**, [s. l.], v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007. Disponível em: <http://periodicos.ses.sp.bvs.br/pdf/rial/v66n1/v66n1a01.pdf>. Acesso em 01 mai. 2020.

ANTOLOVICH, M.; PRENZLER, P.; ROBARDS, K.; RYAN, D. Sample preparation in the determination of phenolic compounds in fruits. **Analyst**, v. 125, n. 5, p. 989-1009, 2000.

AZMIR, J.; Z Aidul, I. S. M.; RAHMAN, M. M.; SHARIF, K. M.; MOHAMED, A.; SAHENA, F.; JAHURUL, M. H. A.; GHAFOR, K.; NORULAINI, N. A. N.; OMA, A. K. M. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 117, n. 4, p. 426-436, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>. Acesso em 02 abr. 2020

BARRETO, E.; AVILA, L. B.; ROSA, G. S. da; MORAIS, M. M. Comparação Entre Métodos de Extração de Compostos Bioativos Presentes em Resíduos de Jaboticaba (*Plinia cauliflora*). **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 11, n. 2, 30 mar. 2020.

BARROS, H. D. F. Q.; BASEGGIO, A. M.; ANGOLINI, C. F. F.; PASTORE, G. M.; CAZARIN, C. B. B.; MAROSTICA-JUNIOR, M. R. Influence of different types of acids and pH in the recovery of bioactive compounds in Jaboticaba peel (*Plinia cauliflora*). **Food Research International**, [s. l.], v. 124, p. 16–25, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.010>. Acesso em 20 ago. 2019.

BECKER, F. S.; VILAS BOAS, A. C.; VENDAS, A.; TAVARES, L. S.; SIQUEIRA, H. H.; VILAS BOAS, E. V. B. Characterization of 'Sabará' Jaboticabas at different maturation stages. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 37, n. 4, p. 457-462, 2015.

BOESSO, F. F. **Protocolo de produção, aceitabilidade e qualidade nutricional de geleia convencional e light de jaboticaba**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas – FCA/UNESP, Botucatu, 2017.

BORDIGNON JR, C. L.; FRANCESCATTO, V.; NIENOW, A. A.; CALVETE, E.; REGINATTO, F. H. Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 183-188, 2009.

BORGES, J. M.; SANTOS, M. D. dos; LEANDRO, F. P.; TOLEDO, A. L. de S.; FIGUEIREDO, A. P.; DOMINGUINI, L. Estudo da estabilidade de antocianinas em diferentes álcoois alifáticos para uso como indicador de pH. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 16, n. 1, p. 129-142, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 04, de 24 de novembro de 1988. Aprova revisão das Tabelas I, III, IV e V referente a Aditivos Intencionais, bem como os Anexos I, II, III e VII, todas do Decreto nº 55.871, de 26 de março de 1965. **Diário Oficial da União**: Poder Executivo, Brasília, DF, 19 dez. 1988. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/alimentos/legis/especifica/aditivos.htm>. Acesso em: 03 abr. 2020.

CARDOSO, L. M.; LEITE, J. P. V.; PELUZIO, M. do C. G.; Efeitos biológicos das antocianinas no processo aterosclerótico. **Revista Colombiana de Ciências Químico – Farmacêuticas**, Bogotá, v. 40, n. 1, p. 116-138, 2011. Disponível em: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-74182011000100007&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 10 mai. 2020.

CASAGRANDE, V. **Paisagismo Para Pequenos Espaços - Guia Prático e Ilustrado**. 3 ed. São Paulo: Coleção Biblioteca Natureza, p. 212, 2010.

CAVALCANTI, R. N. **Extração de antocianinas de resíduo de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) utilizando líquido pressurizado e fluido supercrítico: caracterização química, avaliação econômica e modelagem matemática**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

CHEMAT, F.; ROMBAUT, N.; SICAIRE, A.-G.; MEULLEMIESTRE, A.; FABIANO-TIXIER, A.-S.; ABERT-VIAN, M. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 34, p. 540-560, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>. Acesso em 20 abr. 2020

CHEMAT, F.; ZILL-e-HUMA, M.; KHAN, M. K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011.

CHEN, F.; SUN, Y.; ZHAO, G.; LIAO, X.; HU, X.; WU, J.; WANG, Z. Optimization of ultrasound-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanins in extract using high-performance liquid chromatography-mass spectrometry. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 14, n. 6, p. 767-778, 2007.

CORRALES, M.; TOEPFL, S.; BUTZ, P.; KNORR, D.; TAUSCHER, B. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic

pressure or pulsed electric fields: A comparison. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 9, n. 1, p. 85-91, 2008.

COSTA, A. G. V.; GARCIA-DIAZ, D. F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P. I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 539-549, 2013.

FAVARO, M. M. A. **Extração, Estabilidade e Quantificação de Antocianinas de Frutas Típicas Brasileiras Para Aplicação Industrial Como Corantes**. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FERNANDES, L. L.; SILVA, B. M. Alimento funcional: propriedades da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Revista FAROL**, Rolim de Moura, v. 6, n. 6, p. 49-60, jan.2018. Disponível em: <http://www.revistafarol.com.br/index.php/farol/article/view/93/110>. Acesso em 16 ago. 2019.

GALLEGO, R.; BUENO, M.; HERRERO, M. Sub- and supercritical fluid extraction of bioactive compounds from plants, food-by-products, seaweeds and microalgae – An update. **TrAC - Trends in Analytical Chemistry**, [s. l.], v. 116, p. 198–213, 2019.

GARCIA, L. G. C. **Aplicabilidade tecnológica da jabuticaba**. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

GUAN, Y.; ZHONG, Q. The improved thermal stability of anthocyanins at pH 5.0 by gum arabic. **Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 706-712, 2015.

HE, B.; ZHANG, L. L.; YUE, X. Y.; LIANG, J.; JIANG, J.; GAO, X. L.; YUE, P. X. Optimization of Ultrasound-Assisted Extraction of phenolic compounds and anthocyanins from blueberry (*Vaccinium ashei*) wine pomace. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 204, p. 70–76, 2016.

HENTZ, R. **Otimização da extração de antocianinas da casca da jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) e avaliação da capacidade antioxidante**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI Erechim, Erechim, 2015.

IGNAT, I.; VOLFF, I.; POPA, V. I. A critical review of methods for characterisation of polyphenolic compounds in fruits and vegetables. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 126, p. 1821–1835, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.026>. Acesso em: 25 ago. 2019.

INADA, K. O. P.; OLIVEIRA, A. A.; REVORÊDO, T. B.; MARTINS, A. B. N.; LACERDA, E. C. Q.; FREIRE, A. S.; BRAZ, B. F.; SANTELLI, R. E.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. C. Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jabuticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 17, p. 422-433, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.002>. Acesso em 26 ago. 2019.

JIANG, T.; ZHAN, S.; LI, S.; ZHU, Z.; HE, J.; LORENZO, J. M.; BARBA, F. J. From 'green' technologies to 'red' antioxidant compounds extraction of purple corn: a combined ultrasound–ultrafiltration–purification approach. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [s. l.], v. 98, n. 13, p. 4919–4927, 2018.

JING, P.; GIUSTI, M. M. Effects of Extraction Conditions on Improving the Yield and Quality of an Anthocyanin-Rich Purple Corn (*Zea mays* L.) Color Extract. **Journal of Food Science**, v. 72, n. 7, p. C363-C368, 2007.

KELLY, N. P.; KELLY, A. L.; O'MAHONY, J. A. Strategies for enrichment and purification of polyphenols from fruit-based materials. **Trends in Food Science and Technology**, [s. l.], v. 83, p. 248–258, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.010>. Acesso em 21 ago. 2019.

KHAN, M. K.; ABERT-VIAN, M.; FABIANO-TIXER, A. S.; DANGLES, O.; CHEMAT, F. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. **Food Chemistry**, vol. 119, n. 2, p. 851-858, 2010.

LAMAS, C. A.; LENQUISTE, S. A.; BASEGGIO, A. M.; CUQUETTO-LEITE, L.; KIDO, L. A.; AGUIAR, A. C.; ERBELIN, M. N.; COLLARES-BUZATO, C. B.; MAROSTICA JR, M. R.; CAGNON, V. H. A. Jaboticaba extract prevents prediabetes and liver steatosis in high-fat-fed aging mice. **Journal of Functional Foods**, [s. l.], v. 47, p. 434–446, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.06.005>. Acesso em: 26 ago. 2019

LEITE-LEGATTI, A. V.; BATISTA, A. G.; DRAGANO, N. R. V.; MARQUES, A. C.; MALTA, L. G.; RICCIO, M. F.; EBERLIN, M. N.; MACHADO, A. R. T.; CARVALHO-SILVA, L. B. de; RUIZ, A. L. T. G.; CARVALHO, J. E. de; PASTORE, G. M.; JÚNIOR, M. R. M. Jaboticaba peel: Antioxidant compounds, antiproliferative and antimutagenic activities. **Food Research International**, [s. l.], v. 49, n. 1, p. 596–603, 2012.

LENQUISTE, S. A.; SILVA M. R.; MORAES, É. A.; DIONÍSIO, A. P.; BRITO, E. S.; JUNIOR, M. R. M. Jaboticaba peel and jaboticaba peel aqueous extract shows in vitro and in vivo antioxidant properties in obesity model. **Food research international**, v. 77, p. 162-170, 2015.

LOPES, T. J.; XAVIER, M. F.; QUADRI, M. G. N.; QUADRI, M. B. Antocianinas: uma breve revisão das características estruturais e da estabilidade. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 3, p. 291-297, 2007.

MACHEIX, J-J.; FLEURIET, A.; BILLOT, J. **Fruit Phenolics**. 1 ed. Boca Raton: CRC press, 1990. 378 p.

MACIEL, M. A. M.; PINTO, A. C; VEIGA, V. F. da; GRYNBERG, N. F.; ECHEVARRÍA, A. Plantas Mediciniais: A Necessidade de Estudos Multidisciplinares. **Química Nova**, v. 25, n. 3, 2002.

MEREGALLI, Monalise Marcante. **Estudo Comparativo de Diferentes Métodos de Extração de Compostos Bioativos da Casca do Araçá vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2017.

MESOMO, M. C.; SCHEER, A. P.; PEREZ, E.; NDIAYE, P. M.; CORAZZA, M. L. Ginger (*Zingiber officinale* R.) extracts obtained using supercritical CO₂ and compressed propane: Kinetics and antioxidant activity evaluation. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 71, p. 102–109, 2012.

MIRANDA, B. M. **Extração de Bioativos da Casca de Jaboticaba: Pectina e Antocianinas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Goiânia, 2019.

MOURA, M. H. C.; CUNHA, M. G.; ALEZANDRO, M. R.; GENOVESE, M. I. Phenolic-rich jaboticaba (*Plinia jaboticaba* (Vell.) Berg) extracts prevent high-fat-sucrose diet-induced obesity in C57BL/6 mice. **Food Research International**, [s. l.], v. 107, p. 48–60, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.071>. Acesso em 29 abr. 2020.

NASCIMENTO, R. J. S. do; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S. P. Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, p. 498-502, 2008.

NEVES, L. S. da S.; SANTOS, R. P. dos. **Extração de Antocianinas da Casca de Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Berg.) assistida por Ultrassom**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Inhumas, 2019.

NEVES, N. de A.; STRINGHETA, P. C.; GÓMEZ-ALONSO, S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Flavonols and ellagic acid derivatives in peels of different species of jaboticaba (*Plinia* spp.) identified by HPLC-DAD-ESI/MSn. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 252, n. January, p. 61–71, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.078>. Acesso em 26 ago. 2019.

NOVELLO, Z. **Extração e caracterização química de extratos obtidos de matrizes vegetais utilizando n-butano pressurizado como solvente**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2015.

OLIVEIRA, I. R. N. de; ROQUE, J. V.; MAIA, M. P.; STRINGHETA, P. C.; TEÓFILO, R. F. New strategy for determination of anthocyanins, polyphenols and antioxidant capacity of Brassica oleracea liquid extract using infrared spectroscopies and multivariate regression. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, [s. l.], v. 194, p. 172-180, 2018.

PAULETTO, F. B. **Extração e Encapsulamento de Pigmentos da Casca de Jaboticaba Sabará (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) O. Berg)**. Dissertação (Mestrado

em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2016.

PINELA, J.; PRIETO, M. A.; PEREIRA, E.; LOPES, B.; JABEUR, I.; BARREIRO, M. F.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Maximização da extração de antocianinas de *Hibiscus sabdariffa* por diferentes métodos para obtenção de corantes alimentares. **Livro de Atas do Congresso: XIV Encontro de Química dos Alimentos**, p. 131-134, 2018.

QUATRIN, A.; PAULETTO, R.; MAURER, L. H.; MINUZZI, N.; NICHELLE, S. M.; CARVALHO, J. F. C.; MARÓSTICA, M. R.; RODRIGUES, E.; BOCHI, V. C.; EMANUELLI, T. Characterization and quantification of tannins, flavonols, anthocyanins and matrix-bound polyphenols from jaboticaba fruit peel: A comparison between *Myrciaria trunciflora* and *M. jaboticaba*. **Journal of Food Composition and Analysis**, [s. l.], v. 78, p. 59–74, mai. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.018>. Acesso em: 17 ago. 2019.

RENARD, C. M. G. C. Extraction of bioactives from fruit and vegetables: State of the art and perspectives. **Lwt**, [s. l.], v. 93, p. 390-395, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.063>. Acesso em 02 de abr. 2020.

REYNERTSON, K. A. WALLACE, A. M.; ADACHI, S.; GIL, R. R.; YANG, H.; BASILE, M. J.; D'ARMIENTO, J.; WEINSTEIN, I. B.; KENNELLY, E. J. Bioactive depsides and anthocyanins from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*). **Journal of Natural Products**, [s. l.], v. 69, n. 8, p. 1228–1230, 2006.

REYNERTSON, K. A.; YANG, H.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E. J. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 109, n. 4, p. 883-890, 2008.

RODRIGUES, S.; FERNANDES, F. A. N.; BRITO, E. S. de; SOUSA, A. D.; NARAIN, N. Ultrasound extraction of phenolics and anthocyanins from jaboticaba peel. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 69, p. 400–407, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.059>. Acesso em: 26 ago. 2019

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Bioactive compounds and antioxidante capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

SAITO, T. **Efeito da adição de extrato de casca de jaboticaba nas características físico-químicas e sensoriais de queijo petit suisse**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2014.

SANTOS, D. T.; MEIRELES, M. A. A. Optimization of bioactive compounds extraction from jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins assisted by high pressure CO₂. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, n. 3, p. 398-406, 2011.

SANTOS, D. T.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Extraction of antioxidant compounds from Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) skins: Yield, composition and economical evaluation. **Journal of Food Engineering**, [s. l.], v. 101, n. 1, p. 23–31, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.06.005>. Acesso em 27 ago. 2019.

SANTOS, D. T.; VEGGI, P. C.; MEIRELES, M. A. A. Optimization and economic evaluation of pressurized liquid extraction of phenolic compounds from jabuticaba skins. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 444-452, 2012.

SCHÄFER, A. R. **Avaliação da composição química dos solos e da composição centesimal das cascas e sementes de Jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) da região de Nova Fátima – GO**. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Anápolis, 2015.

SILVA, C. da; GARCIA, V. A. dos S.; FRANCISCATO, L. M. S. dos S. Extração Assistida por Ultrassom de Compostos Bioativos. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 18, n. 1, 2016.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. dos S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SIRIWOHARN, T.; WROLSTAD, R. E.; FINN, C. E.; PEREIRA, C. B. Influence of cultivar, maturity and sampling on blackberry (*Rubus* L. Hybrids) Anthocyanins, polyphenolics, and antioxidant properties, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 26, p. 8021-8030, 2004.

SOUZA, A. C. P. **Caracterização e estabilidade de micropartículas de antocianinas extraídas do bagaço da produção do suco de jabuticaba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2014.

SOUZA, V. R. D. **Tratamento térmico com vapor e adição de xantana para preservação de compostos bioativos fenólicos e da atividade antioxidante de polpas de mirtilo**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

STAFUSSA, A. P.; MACIEL, G. M.; ANTHERO, A. G. S.; SILVA, M. V.; ZIELINSKI, A. A. F.; HAMINIUK, C. W. I. Biosorption of anthocyanins from grape pomace extracts by waste yeast: kinetic and isotherm studies. **Journal of Food Engineering**, v. 169, p. 53-60, 2016.

SUMERE, B. R.; SOUZA, M. C. de; SANTOS, M. P. dos; BEZERRA, R. M. N.; CUNHA, D. T. da; MARTINEZ, J.; ROSTAGNO, M. A. Combining pressurized liquids with ultrasound to improve the extraction of phenolic compounds from pomegranate peel (*Punica granatum* L.). **Ultrasonics – Sonochemistry**, v. 48, p. 151-162, 2018.

TEIXEIRA, L. N.; STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, F. A. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 4, p. 297-304, 2015.

TENG, H.; FANG, T.; LIN, Q.; SONG, H.; LIU, B.; CHEN, L. Red raspberry and its anthocyanins: Bioactivity beyond antioxidant capacity. **Trends in Food Science & Technology**, v. 66, p. 153-165, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.015>. Acesso em: 27 abr. 2020.

TERCI, D. B. L. **Aplicações analíticas e didáticas de antocianinas extraídas de frutas**. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

TROJANOWSKA, A.; TSIBRANSKA, I.; DZHONOVA, D.; WROBLEWSKA, M.; HAPONSKA, M.; JOVANCIC, P.; MARTURANO, V.; TYLKOWSKI, B. Ultrasound-assisted extraction of biologically active compounds and their successive concentration by using membrane processes. **Chemical Engineering Research and Design**, [s. l.], v. 147, p. 378–389, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.05.018>. Acesso em: 28 ago. 2019.

VEGGI, P. C. **Obtenção de extratos vegetais por diferentes métodos de extração: estudo experimental e simulação dos processos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2009.

VIEIRA, G. S. **Estudo dos processos de extração de Antocianinas da polpa de juçara (*Euterpe edulis* Mart.) e da concentração do extrato por nanofiltração**. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

WANG, L.; WELLER, C. L. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. **Trends in Food Science and Technology**, v. 17, n. 6, p. 300-312, 2006.

WANG, Y.; ZHAO, L.; ZHANG, R.; YANG, X.; SUN, Y.; SHI, L.; XUE, P. Optimization of ultrasound-assisted extraction by response surface methodology, antioxidant capacity, and tyrosinase inhibitory activity of anthocyanins from red rice bran. **Food Science and Nutrition**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 921–932, 2020.

WEN, C.; ZHANG, J.; ZHANG, H.; DZAH, C. S.; ZANDILE, M.; DUAN, Y.; MA, H.; LUO, X. Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from cash crops – A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 48, p. 538–549, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.07.018>. Acesso em 28 ago. 2019.

WU, S.-B.; LONG, C.; KENNELLY, E. J. Phytochemistry and health benefits of jaboricaba, an emerging fruit crop from Brazil. **Food Research International**, v. 54, n. 1, p. 148-159, 2013.

YAHYA, N. A.; ATTAN, N.; WAHAB, R. A. An overview of cosmeceutically relevant plant extracts and strategies for extraction of plant-based bioactive compounds. **Food and Bioproducts Processing**, [s. l.], v. 112, p. 69–85, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.09.002>. Acesso em: 28 ago. 2019

ZICKER, M. C. **Obtenção e utilização do extrato aquoso de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell) Berg) em leite fermentado: caracterização físico-química e sensorial**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

ZHANG, Y. L.; FANG Z. Z.; YE, X. F.; PAN, S. L. Identification of candidate genes involved in anthocyanin accumulation in the peel of jaboticaba (*Myrciaria cauliflora*) fruits by transcriptomic analysis. **Gene**, [s. l.], v. 676, n. July, p. 202–213, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2018.07.039>. Acesso em: 26 ago. 2019.