

doi <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2022id7326>
ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 17/10/2022

APROVADO 30/01/2023

PUBLICADO ON-LINE 28/02/2023

PUBLICADO 10/10/2024

EDITORA ASSOCIADA
Dalany Menezes Oliveira

Otimização no processo sustentável de extração de antioxidantes naturais de fruto do cerrado: estudo de caso da cagaita (*Eugenia dysenterica*)

 Jaqueline Ferreira Silva ^[1] *

 Luciana Alves da Silva ^[2]

 Grasielle Scaramal Madrona ^[3]

 Diogo Francisco Rossoni ^[4]

 Mônica Regina da Silva Scapim ^[5]

[1] jaquelinesferreirasilva@gmail.com

[2] luciana.alves.engali@gmail.com

Departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Paraná, Brasil

[3] gsmadrona@uem.br

[4] diogo.rossoni@gmail.com

[5] mrsscscapim@uem.br

Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, Paraná, Brasil

* Autor para correspondência.

RESUMO: Ultimamente o Cerrado brasileiro tem sido muito estudado, principalmente devido a sua diversidade de frutas exóticas, que apresentam um grande potencial tecnológico. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da variação nos parâmetros de extração (temperatura, tempo, solvente e utilização do equipamento de ultrassom) de antioxidantes provenientes do fruto da cagaita *in natura*, por meio da quantificação da capacidade antioxidante. O tratamento 3 (60 minutos a 70 °C, com água como solvente extrator e sem a utilização do ultrassom) foi o que teve maior significância em todas as análises para quantificação de antioxidantes (DPPH, FRAP, ABTS e teor de compostos fenólicos). A sustentabilidade do processo é justificada, pois a água foi o melhor solvente e a não utilização do ultrassom simplifica o processo de extração. A cagaita mostrou ser um fruto promissor para a indústria alimentícia como matéria-prima, e sua melhor extração foi simples e de baixo custo, facilitando o emprego dessa tecnologia.

Palavras-chave: compostos bioativos; *Eugenia dysenterica*; extração sólido-líquido; solvente verde; tecnologias emergentes.

Optimization in the sustainable process of extraction of natural antioxidants from cerrado fruit: case study of cagaita (*Eugenia dysenterica*)

ABSTRACT: Currently, the Brazilian Cerrado has been widely studied, mainly due to its diversity of exotic fruits which have a great technological potential. The objective of this study was to evaluate the effect of variation in the extraction parameters (temperature, time, solvent and use of ultrasound equipment) of antioxidants from the fruit of cagaita *in natura*, and through the quantification of antioxidant capacity. Treatment 3 (60 minutes at 70 °C, water as solvent extractor and without



the use of ultrasound) was the one that had the most significant in all analyzes for quantification of antioxidants (DPPH, FRAP, ABTS and content of phenolic compounds). The sustainability of the process is justified because water was the best solvent and not using ultrasound simplifies the extraction process. Cagaita proved to be a promising fruit for the food industry as raw material and its best extraction was simple and low cost, facilitating the use of this technology.

Keywords: bioactive compounds; emerging technologies; *Eugenia dysenterica*; green solvent; solid-liquid extraction.

1 Introdução

As frutas nativas do Cerrado brasileiro são amplamente utilizadas pela população local, principalmente *in natura*, porém poucas pessoas fora da região Centro-Oeste têm conhecimento sobre a diversidade desse bioma. Essas frutas ocupam um lugar de destaque no ecossistema do cerrado, sendo comercializadas em feiras livres regionais e com grande aceitação popular. A caracterização dos compostos bioativos de frutos do Cerrado é de grande relevância para a busca de fontes alternativas e que possam agrupar atributos desejáveis (propriedades antioxidantes, antimicrobianas, anticarcinogênicas, antidegenerativas e retardadoras de envelhecimento). Uma das tendências de mercado atualmente é a busca do consumidor por produtos com qualidades sensoriais e nutricionais que proporcionem saudabilidade, o que fez as indústrias de alimentos se adaptarem a esses segmentos de mercado, buscando novas formulações e produtos alimentícios inovadores (Oliveira Júnior *et al.*, 2016). Essas inovações podem ser tanto na formulação de novos produtos quanto na ingestão *in natura* do fruto.

Uma fruta do Cerrado bastante conhecida regionalmente é a cagaita, que apresenta forma redonda, ligeiramente achatada, com casca quebradiça e cor amarela brilhante. Em seu interior, há a presença de polpa suculenta de cor amarelo-claro e sementes achatadas de cor creme. De todas as características físicas do fruto, a massa da polpa é a mais importante para o aproveitamento econômico. O consumo da fruta cagaita bem como sua exploração tecnológica devem ser incentivados, principalmente em famílias e em grupos socialmente vulneráveis localizados em áreas do Cerrado caracterizadas por altos níveis de insegurança alimentar e onde podem faltar alimentos considerados fontes de nutrientes (Cardoso *et al.*, 2011).

Além disso, a fruta cagaita tem sido utilizada em diversas preparações, como geleias, sorvetes, licores e sucos, pois fornece uma fonte de compostos bioativos. Vários macro e microelementos, como vitaminas, folatos, carotenoides e compostos fenólicos, foram identificados na polpa, a qual proporciona benefícios nutricionais e econômicos. O suco da polpa da cagaita é muito saboroso, com sabor doce e ácido (Balisteiro *et al.*, 2017), sendo fonte de antioxidantes e compostos bioativos (Cardoso *et al.*, 2011; Correia *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2017).

O extrato de cagaita é rico em polifenóis, contendo grandes quantidades de taninos, como elagitaninos e proantocianidinas, além de apresentar menores quantidades de flavonoides, como quercetina e derivados de kaempferol, e ácidos fenólicos, como ácido elágico (Donado-Pestana; Belchior; Genovese, 2015). Logo, o estudo de melhores formas de extrair esses compostos é cada vez mais importante.

Uma forma de avaliar a melhor forma de extração é utilizar a otimização dos processos, facilitando a utilização desse fruto pela indústria alimentícia. Tal procedimento compreende aplicações importantes nas etapas de projeto, desenvolvimento e formulação de novos produtos. Entre essas aplicações, destacam-se a otimização da resposta e a seleção das condições de operação (Myers; Montgomery; Anderson-Cook, 2016; Şahin *et al.*, 2017).

Assim, este trabalho teve como objetivo a otimização da extração de compostos antioxidantes do fruto da cagaita, variando os parâmetros de temperatura, tempo, solvente e utilização do equipamento de ultrassom, utilizando os métodos ABTS (ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfônico), DPPH (2,2-difenil-2-picrilhidrazila), FRAP (método de redução do ferro) e teor de compostos fenólicos para avaliar a capacidade antioxidante.

Quanto à divisão do artigo, o referencial teórico, baseado em uma pesquisa bibliográfica, é apresentado na seção 2. Em seguida, na seção 3, constam os materiais e os métodos utilizados na pesquisa. Os resultados e as discussões, por sua vez, são apresentados na seção 4. Por fim, na seção 5, as conclusões do trabalho realizado.

2 Referencial teórico

Nesta seção, é apresentada a pesquisa bibliográfica sobre os principais temas abordados neste trabalho, como o bioma onde o fruto da cagaita é encontrado e uma breve descrição dos métodos utilizados para quantificação dos antioxidantes utilizados.

2.1 Cerrado brasileiro

O bioma Cerrado está entre as savanas mais ricas do mundo. Constitui um patrimônio incomensurável de recursos naturais renováveis, com destaque para as espécies frutíferas exóticas com características sensoriais intensas e únicas, além de conter espécies nativas que produzem frutos de alto valor nutritivo, com cores, sabores e aromas intensos e característicos (Oliveira *et al.*, 2012; Souza *et al.*, 2012). Esses atributos tornam essas frutas uma fonte potencial para o desenvolvimento de produtos inovadores e saudáveis para a indústria de alimentos (Morzelle *et al.*, 2015). Essas inovações podem ser tanto em formulação de novos produtos quanto na ingestão *in natura* do fruto.

2.1.1 Cagaita

A cagaiteira ou cagaita é uma espécie da família botânica Myrtaceae, a mesma família das goiabas, dos araçás, das pitangas, das gabiobas e dos eucaliptos. É uma árvore predominantemente alogâmica. As flores são pequenas, de 1,5 cm a 2 cm de diâmetro. Os frutos comestíveis, com potencial econômico, são levemente achatados e têm de 2 cm a 3 cm de diâmetro, pesam de 14 g a 20 g e contêm de 1 a 3 sementes brancas. A planta pode alcançar até 10 m de altura e o tronco pode ter até 40 cm de diâmetro, com casca suberosa e fendida, com aparência de blocos bem definidos e sobrepostos (Cardoso *et al.*, 2011; Linares-Palomino; Oliveira-Filho; Pennington, 2011; Martinotto *et al.*, 2008; Mendonça *et al.*, 2008; Rodrigues *et al.*, 2016).

A frutificação inicia um mês após a floração, entre agosto e outubro, no final da estação seca. Uma cagaiteira produz de 500 a mais de 2000 frutos por ano, altamente

perecíveis. Esses frutos têm efeito laxante, principalmente quando muito maduros ou fermentados. As flores, as folhas, a entrecasca e a casca são bastante conhecidas pela medicina popular, sendo utilizadas na forma de garrafadas e chás (Scariot; Ribeiro, 2015). Essas partes da planta têm sido utilizadas na medicina tradicional para tratamento de diabetes, icterícia e como antidiarreico (Fiuza *et al.*, 2008; Silva; Chaves; Naves, 2001). A cagaita apresenta forma redonda, ligeiramente achatada, com casca quebradiça e cor amarela brilhante. No interior dela, há a presença de polpa succulenta de cor amarelo-claro e sementes achatadas de cor creme. De todas as características físicas do fruto, a massa da polpa é a mais importante para o aproveitamento econômico. O consumo e a exploração da tecnologia da fruta cagaita devem ser promovidos principalmente em famílias e grupos socialmente vulneráveis que vivem em áreas do Cerrado caracterizadas por altos níveis de insegurança alimentar e onde podem faltar alimentos ricos em nutrientes (Cardoso *et al.*, 2011).

Essa fruta também fornece compostos bioativos, por isso tem sido usada em várias receitas, como geleias, sorvetes, licores e sucos. Na polpa foram encontrados vários macro e microelementos, incluindo folatos, carotenoides, vitaminas e compostos fenólicos, que oferecem vantagens nutricionais e econômicas (Balisteiro *et al.*, 2017), além de servir como fonte de antioxidantes e componentes bioativos (Cardoso *et al.*, 2011; Correia *et al.*, 2016; Moreira *et al.*, 2017). O extrato de cagaita é rico em polifenóis e flavonoides (Donado-Pestana; Belchior; Genovese, 2015).

A cagaita é um fruto de grande potencial sensorial e nutricional a ser explorado pela população do bioma Cerrado brasileiro. Suas características físico-químicas são de baixo pH e baixa acidez titulável (Aadil *et al.*, 2015). Essa espécie apresenta um grande potencial industrial devido à presença de taninos e flavonoides, como catequina (Cecílio *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2015), que fornecem notável atividade antioxidante, anti-inflamatória e anticarcinogênica devido ao seu perfil de fonte de vitamina C, polifenóis, monoterpenos e ésteres (Silva *et al.*, 2019).

2.2 Extração de compostos bioativos

A técnica de extração sólido-líquido com solventes orgânicos é a mais comumente utilizada em produtos de origem vegetal, visando à determinação do teor de compostos fenólicos totais e da capacidade antioxidante (Meneses *et al.*, 2013). Essa etapa é considerada essencial devido à recuperação de compostos presentes em amostras naturais. O procedimento de extração pode ser desenvolvido por diversas metodologias, em que os métodos convencionais de extração, como Soxhlet e maceração, e as técnicas atuais mais eficazes reduzem o tempo de extração desses compostos e utilizam menores quantidades de solventes (Vieira *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos em um sistema de extração por solvente podem sofrer a influência de variáveis classificadas em dois tipos, de mistura e de processo. As alterações provocadas pelas condições de pressão, temperatura, pH, tempo de extração, área de contato e homogeneidade da amostra são consideradas variáveis de processo classificadas como independentes. Já fatores como os solventes utilizados e as concentrações que cada solvente terá na mistura são considerados variáveis de mistura, sendo dependentes uma das outras (Scheffé, 1958).

O planejamento fatorial, associado à análise das superfícies de resposta, é uma ferramenta que se fundamenta na estatística para fornecer informações mais confiáveis do que as obtidas por meio de técnicas de tentativa e erro, mostrando a influência direta dos fatores ou das variáveis independentes sobre as respostas desejadas. Além disso,

ele é fundamentado em princípios estatísticos que levam a maior confiabilidade no fornecimento de informações em relação a métodos aleatórios, em que cada um desses experimentos é chamado de ensaio experimental (Barros Neto; Scarminio; Bruns, 2010; Rizzi, 2016; Rodrigues; Lemma, 2009).

A otimização estatística de um processo/produto consiste em um aperfeiçoamento do desempenho de um sistema, com a finalidade de conseguir maior proveito e melhor resposta possível. A otimização se dá por meio do monitoramento e da medida da influência de cada variável, ou fator, que, por vez, resulta em uma resposta experimental (Bezerra *et al.*, 2008).

2.2.1 Métodos de quantificação de capacidade antioxidante

Na indústria de alimentos, vários aditivos, principalmente sintéticos que exibem propriedades redutoras, são utilizados há muito tempo para proteger os alimentos contra a oxidação lipídica. No entanto, o interesse nos antioxidantes naturais decorre de sua capacidade de combater o estresse oxidativo no organismo humano (Grzesik *et al.*, 2018). Além de combater o estresse oxidativo celular, os compostos fenólicos vegetais representam uma fonte promissora de antioxidantes que podem ser usados para impedir a degradação de compostos bioativos sensíveis à oxidação. A aplicação de tais compostos fenólicos em embalagens ativas pode prevenir a oxidação de lipídeos, proteínas e vitaminas presentes em alimentos (Roman; Decker; Goddard, 2016).

Devido à diversidade dos métodos com fundamentos variados e interferências, a comparação dos resultados de atividade antioxidante se torna difícil (Pereira, 2009; Prado, 2009), sendo o uso de solventes no preparo da amostra também um fator influenciador na eficiência de extração e no resultado da determinação da capacidade antioxidante da matriz (Pereira, 2009).

Os métodos analíticos utilizados para a determinação da capacidade antioxidante *in vitro* são muito comuns em frutas e hortaliças devido à facilidade de aplicação (Prado, 2009), sendo os métodos ORAC (Capacidade de Absorção de Oxigênio Radical), ABTS (ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfônico), DPPH (2,2-difenil-2-picrilhidrazila) e FRAP (método de redução do ferro) frequentemente utilizados na avaliação da capacidade antioxidante relativa de diferentes amostras de alimentos, com o intuito de quantificação de antioxidantes naturais. Nesses ensaios, resultados diferentes entre as espécies dos vegetais analisadas e laboratórios podem ser obtidos (Braga *et al.*, 2010; Thaipong *et al.*, 2006; Tiveron, 2010; Ribeiro, 2011).

Não existe um método único *in vitro* capaz de determinar toda a capacidade antioxidante em uma análise apenas, pois os antioxidantes têm diferentes mecanismos característicos de reação (Sun *et al.*, 2015). Dessa forma, recomenda-se a utilização de ao menos dois métodos complementares para avaliação antioxidante, em virtude de os diferentes mecanismos das reações que desempenham exprimirem resultados diferentes entre si para a avaliação de uma mesma amostra (Mello; Hubinger, 2012; Meng *et al.*, 2012; Pérez-Jiménez *et al.*, 2008).

2.2.1.1 Método de sequestro do radical DPPH

O método DPPH, inicialmente utilizado na década de 1950 para descobrir doadores de hidrogênio em produtos naturais, tem sido aplicado na determinação do potencial

antioxidante em compostos fenólicos na forma individual ou em conjunto, de forma prática, rápida e sensível. Durante a análise, os compostos fenólicos reduzem radicais livres do DPPH, e o número de moléculas reduzidas é igual ao número de grupos OH disponíveis, formando as ortoquinonas correspondentes (Pazinatto, 2008; Tiveron, 2010).

O DPPH é um radical nitrogênio orgânico estável em virtude da deslocalização do elétron, que pode se deslocar em toda a sua estrutura (Lianda, 2009). Essa deslocalização confere a essa molécula uma coloração violeta intensa, caracterizada por leitura em espectro de absorção de UV-Vis máxima em 515 nm em meio metanólico.

A solução de DPPH pode ser obtida diretamente por diluição, sem nenhuma reação química. Esse ensaio se baseia na medida da capacidade antioxidante de uma determinada substância em sequestrar o radical DPPH, reduzindo-o à hidrazina. Quando uma determinada substância, que age como doador de átomos de hidrogênio, é adicionada a uma solução de DPPH, a hidrazina é obtida com mudança simultânea na coloração de violeta, reduzida a amarelo pálido (Alves *et al.*, 2010; Pazinatto, 2008; Tiveron, 2010), ou seja, a redução da absorbância é proporcional à concentração e à capacidade antioxidante da amostra (Ribeiro, 2011), sendo somente solubilizada em meios orgânicos, especificamente alcoólicos (Arnao, 2000). A interação do antioxidante com o DPPH depende de suas conformações estruturais. Para o melhor entendimento dos mecanismos de reação dos substratos, é interessante caracterizar os intermediários e os produtos da reação, sendo também necessária a separação dos compostos por cromatografia e posterior identificação (Brand-Williams; Cuvelier; Berset, 1995).

Esse método apresenta algumas limitações, como: apresentar baixíssima similaridade com a elevada reatividade e a transitoriedade dos radicais peróxido envolvidos na peroxidação lipídica, por este ser um radical de nitrogênio de vida longa (Pazinatto, 2008); não poder ser aplicado em avaliações *in vivo* pelo fato de o pH do meio reacional ser em torno de 5,5, diferente do pH fisiológico humano; poder interagir com outros radicais como alquil (Ribeiro, 2011); proporcionar mensuração não apropriada da capacidade antioxidante, visto que alguns antioxidantes que reagem rapidamente com radicais peróxido podem reagir vagarosamente ou mesmo ser inertes ao DPPH (Pazinatto, 2008).

2.2.1.2 ABTS

O ABTS é um método caracterizado pelo sequestro de radicais cátions ABTS^{•+} por antioxidantes presentes na reação em longo prazo (Pereira, 2009). Além disso, é simples e de boa estabilidade e pode ser avaliado em diferentes faixas de pH, o que torna essa metodologia importante para o conhecimento do efeito do pH em mecanismos oxidantes.

Porém, esse método tem a limitação de não ser um representante das biomoléculas e nem mesmo é encontrado em nenhum sistema biológico. Destaca-se, ainda, que, termodinamicamente, qualquer componente que apresente um potencial redutor menor que esse radical pode reagir com ele (Magalhães *et al.*, 2008; Tiveron, 2010). Tal metodologia apresenta a vantagem, em relação ao DPPH, de ser solúvel tanto em solventes aquosos como em orgânicos e ser gerado por reações enzimáticas ou químicas, não sendo afetado pela força iônica. Assim, pode ser aplicado na determinação da capacidade antioxidante de extratos e fluidos corpóreos, de natureza hidrofílica e lipofílica (Arnao, 2000; Kuskoski *et al.*, 2005; Tiveron, 2010; Ribeiro, 2011).

O método ABTS baseia-se na geração do ABTS^{•+}, de cor azul-esverdeado, por meio da reação de redução do ABTS pelo persulfato de potássio. Com a adição de um antioxidante, ocorre a redução do cátion de ABTS^{•+} a ABTS, promovendo a perda da

coloração do meio reacional e conseqüentemente um decréscimo na absorvância, que pode ser quantificado por espectrofotometria a 734 nm. Com a perda de cor, a porcentagem de inibição do ABTS^{•+} é determinada em função do Trolox, um padrão submetido às mesmas condições de análise do antioxidante. O método é aplicável ao estudo de antioxidantes hidrossolúveis e lipossolúveis, compostos puros e extratos vegetais (Re *et al.*, 1999; Sucupira *et al.*, 2012).

2.2.1.3 FRAP

O ensaio do FRAP é baseado na capacidade de um antioxidante em reduzir o Fe^{3+} em Fe^{2+} , ou seja, em reações de transferência de elétrons, considerado como simples e de baixo custo. Muitos estudos em matrizes alimentícias, bebidas e plantas utilizam o método FRAP em conjunto com outros ensaios para determinação da capacidade antioxidante. A reação ocorre em meio ácido (pH 3,6) com o complexo de Fe^{3+} - TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina), que apresenta coloração azul clara e, na presença de um antioxidante, recebe um elétron e é reduzido a um complexo de Fe^{2+} , de coloração azul escura com absorvância máxima em 595 nm (Bergamaschib, 2010; Boroski *et al.*, 2015; Gullón *et al.*, 2017; Meneses *et al.*, 2013; Tiveron, 2010).

2.2.1.4 Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos são considerados uma das principais classes de metabólitos secundários essenciais à fisiologia e ao metabolismo celular dos vegetais, com ampla variedade de estruturas e funções que possuem, em geral, um anel aromático contendo um ou mais substituintes (Balasundram; Sudram; Samman, 2006; Boudet, 2007; Robards *et al.*, 1999).

Os compostos fenólicos são classificados de acordo com as suas estruturas químicas em fenóis simples (por exemplo, fenol, cresol, timol e orcinol), ácidos fenólicos (por exemplo, gálico, protocatecuico, vanílico e ácido siringico), aldeídoformas de ácidos fenólicos (por exemplo, vanilina, siringaldeído e p-hidroxibenzaldeído), ácidos fenilacéticos, acetofenonas, fenilpropanoides e seus derivados, cromonas e cumarinas (por exemplo, umbiliferona e aesculetina) e álcoois cinamílicos (por exemplo, álcoois coniferil, sinapil, siringil e p-cumarílico) (Alu'datt *et al.*, 2013; Alu'datt; Rababahr; Alli, 2014; Bravo, 1998).

Esse método é mais sensível à redução pelos fenóis e diminui a tendência à precipitação (Angelo; Jorge, 2007). O número de grupos hidroxilas ou de grupos potencialmente oxidáveis é controlado pela quantidade de cor formada. O grupo fenólico deve estar na forma de fenolato para os ânions molibdo e tungstofosfato produzirem a oxidação. As moléculas reduzidas são azuis e as não reduzidas são amarelas. Essas últimas se decompõem vagarosamente em pH alcalino, o qual é necessário para a manutenção do fenol na forma de fenolato. Esse método espectrofotométrico não é um método específico, pois detecta todos os grupos fenólicos presentes no extrato, incluindo as proteínas extraíveis (Nacz, Shahidi, 2004; Shahidi; Nacz, 1995).

3 Método da pesquisa

Aproximadamente 5 kg de amostras foram coletadas no mês de outubro, na fazenda Felicidade, situada no município de Jussara, no noroeste do estado de Goiás, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 15° 51' 31" Sul, longitude: 50° 52' 9" Oeste.

As amostras foram higienizadas e armazenadas em embalagens de polietileno e congeladas em freezer horizontal (Metalfrio) em temperatura de congelamento de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. As amostras foram mantidas em congelamento e transportadas para a cidade de Maringá para análises em caixa térmica, de modo a não permitir o descongelamento das frutas para que não houvesse perda dos compostos presentes.

Os parâmetros testados foram temperatura de extração, tempo de extração, concentração de etanol e utilização do equipamento de ultrassom, tendo como resposta a capacidade antioxidante, utilizando os métodos de sequestro do radical DPPH, ABTS e FRAP e o teor de compostos fenólicos. Após testes preliminares e de acordo com a literatura, foram definidos os seguintes valores (Tabela 1).

Tabela 1 ►

Níveis reais e codificados das variáveis.

Fonte: dados da pesquisa

Nível	-1	+1
Temperatura de extração ($^{\circ}\text{C}$)	30	70
Tempo de extração (min)	30	60
Concentração de etanol (%)	0	99
Utilização do banho ultrassônico	Não	Sim

O planejamento experimental foi realizado de acordo com os níveis codificados de cada variável, resultando em 16 tratamentos com diferentes combinações das variáveis. A otimização para a extração dos antioxidantes presentes na cagaita *in natura* (polpa e casca) ocorreu com as frutas desidratadas a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ em estufa com circulação de ar por 24 horas. Para isso, foram pesados 10 g de amostra em Erlenmeyer de 250 mL, um volume de 25 mL de etanol (+) ou água destilada (-), durante 30 (-) ou 60 (+) minutos, a uma temperatura de 30 (-) ou 70 (+) ($^{\circ}\text{C}$) ao abrigo da luz, em banho Dubnoff (-) (Modelo TE-053 25 ± 5 rpm) ou com a utilização de ultrassom (+) (Unique modelo USC-1600^a, 100 W, 40 kHz). Após os procedimentos acima, cada extrato foi filtrado em filtro de papel qualitativo 80G, diâmetro de 90 mm e funil de porcelana Chiarotti 90 mm. Em seguida, a solução filtrada foi armazenada, nas condições de congelamento ao abrigo da luz para análises posteriores. Os 16 extratos foram submetidos à análise de capacidade antioxidante por diferentes métodos.

O teor de compostos fenólicos foi determinado utilizando o método Folin-Ciocalteu (Singleton; Rossi, 1965). A reação de degradação do DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl) foi analisada de acordo com Thaipong *et al.* (2006). Para a análise pelo método do ABTS (ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfônico), foi empregada metodologia de Rufino *et al.* (2007). O ensaio FRAP foi realizado segundo metodologia de Benzie e Strain (1996). Os resultados de antioxidantes foram expressos em $\mu\text{g Trolox.g}^{-1}$ amostra.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente, por meio da Análise de Variância (ANOVA), comparados pelo teste de Tukey com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$), utilizando-se o programa RStudio.

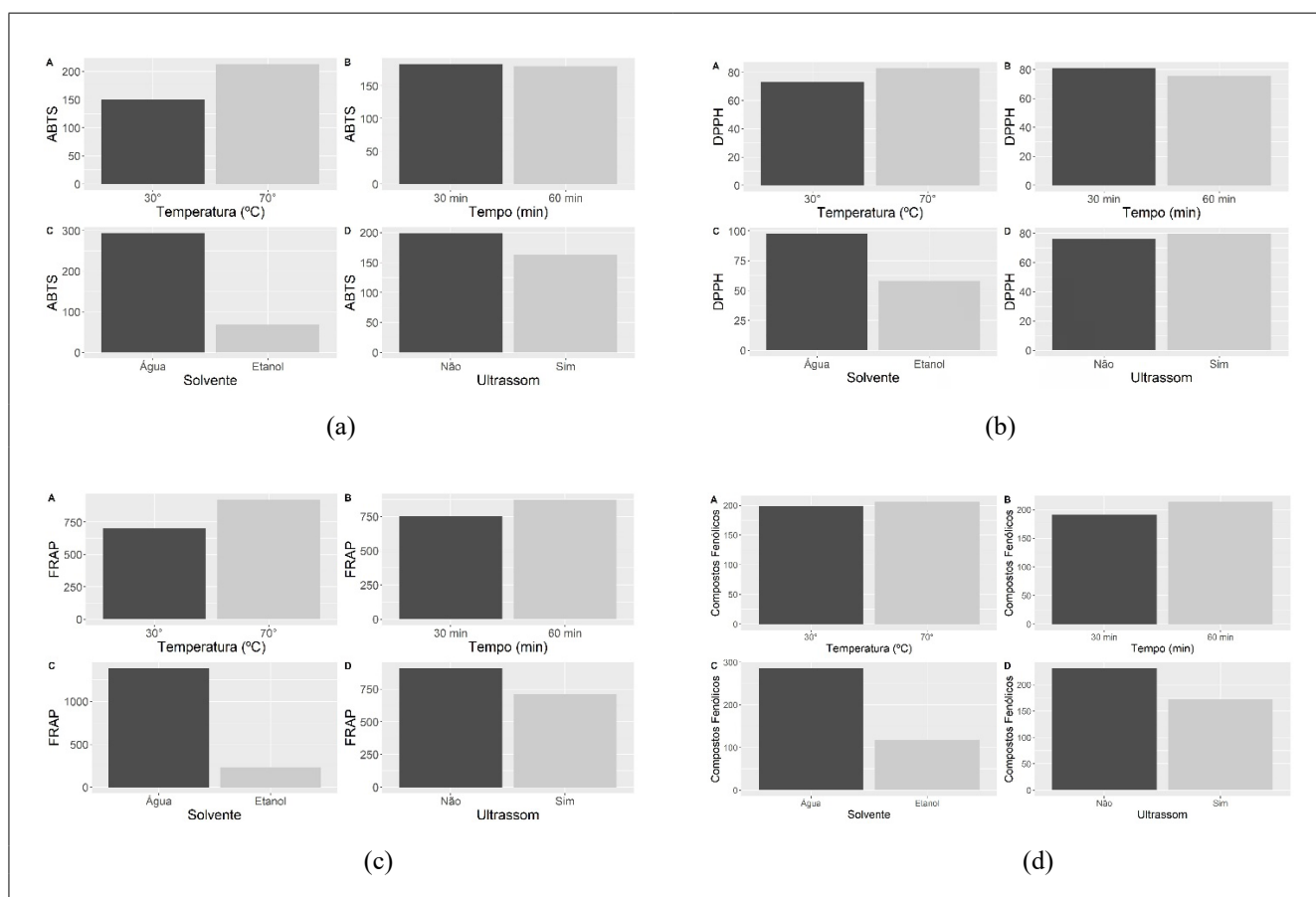
4 Resultados e discussões

As variáveis dos parâmetros de extração (tempo, temperatura, solvente, utilização ou não do ultrassom) influenciaram a capacidade antioxidante dos extratos

Figura 1 ▼

Relação entre os parâmetros analisados e os valores de capacidade antioxidante pelos quatro métodos utilizados: (a) método de ABTS, (b) método de DPPH, (c) método de FRAP e (d) teor de compostos fenólicos.
Fonte: dados da pesquisa

obtidos. O aumento da temperatura apresentou um efeito positivo na capacidade antioxidante, independentemente do método de quantificação (Figura 1), podendo ser considerado um efeito principal. Em extrações realizadas em temperaturas entre 52 °C e 70 °C, pode ocorrer aumento na porosidade do tecido da parede celular, o que facilita a permeabilidade do solvente, permite a hidrólise dos compostos fenólicos ligados a proteínas ou polissacarídeos, libera o conteúdo intracelular de forma eficiente e, conseqüentemente, melhora o processo de extração desses compostos (Cacace; Mazza, 2002; Tabaraki; Heidarizad; Benvidi, 2012; Wolff; Silveira; Lazzarotto, 2019).



Já com a variação no tempo de extração, o efeito positivo no processo de extração não foi tão importante, o que pode indicar a utilização do menor tempo visando à economia de energia e à rapidez do processo, logo, menor custo para realização do processo e maior sustentabilidade, fatores interessantes do ponto de vista prático.

A água foi o solvente que se destacou positivamente para ambos os métodos, visto que ela é um solvente eficaz devido à sua alta polaridade e à alta constante dielétrica (Mikucka *et al.*, 2022). Isso atende a busca por um desenvolvimento mais sustentável devido à preocupação com o meio ambiente, uma vez que vem se buscando técnicas com menor impacto ambiental, resultando, assim, em uma recuperação dos compostos bioativos que minimize os volumes de solventes e evite o uso de substâncias tóxicas (Chemat; Vian; Cravotto, 2012).

Tabela 2 ▼

Valores médios para as análises de DPPH, FRAP, ABTS (expressos em $\mu\text{g Trolox.g}^{-1}$ de amostra) e teor de compostos fenólicos (expressos em mg EAG/g de amostra) para os tratamentos definidos para otimização no processo de extração de antioxidantes da polpa da cagaita desidratada.

Fonte: dados da pesquisa

O emprego do ultrassom influenciou negativamente o processo de extração. A eficiência da extração com uso de ultrassom é afetada por vários fatores internos e externos, tais como o tamanho da partícula da amostra, a temperatura e o tempo e a intensidade de onda do equipamento, o que pode ter influenciado para uma menor quantificação dos compostos analisados (Tao *et al.*, 2014).

O extrato obtido no tratamento que aplicou 70 °C, 60 minutos, água como solvente e não utilizou o ultrassom (tratamento 3) apresentou os maiores resultados ($p \leq 0,05$) para a capacidade antioxidante, independentemente do método utilizado na quantificação (Tabela 2). Ismandari *et al.* (2020) relataram que o aumento da temperatura causa efeito positivo na extração, devido ao aumento das taxas de difusão e à solubilidade dos analitos, diminuindo, assim, a viscosidade e a tensão superficial dos solventes. No entanto, Erdogan *et al.* (2011) ressaltaram que a escolha da faixa de temperatura deve considerar a termossensibilidade dos compostos desejados, evitando a degradação destes.

Tratamento	Temperatura (°C)	Tempo (min)	Solvente	Ultrassom	DPPH	FRAP	ABTS	Compostos fenólicos
1	30	30	Água	Não	4,15 ^a ± 0,02	51,48 ^{de} ± 6,70	11,00 ^b ± 0,20	14,18 ^a ± 0,29
2	70	30	Água	Não	4,19 ^a ± 0,04	71,26 ^b ± 1,12	16,91 ^a ± 2,12	14,63 ^a ± 0,09
3	70	60	Água	Não	4,11 ^a ± 0,00	83,38 ^a ± 1,12	17,06 ^a ± 0,34	14,82 ^a ± 0,19
4	70	60	Etanol	Não	2,81 ^b ± 1,18	22,15 ^f ± 1,02	5,37 ^c ± 1,40	7,37 ^c ± 0,33
5	70	60	Etanol	Sim	2,10 ^b ± 0,02	11,96 ^g ± 2,35	4,04 ^{cd} ± 0,25	4,92 ^{gh} ± 0,25
6	70	60	Água	Sim	4,04 ^a ± 0,00	48,45 ^{de} ± 1,04	10,05 ^b ± 2,12	9,96 ^c ± 0,12
7	70	30	Etanol	Sim	4,20 ^a ± 0,02	18,62 ^f ± 0,11	6,03 ^c ± 0,43	4,31 ^{hi} ± 0,01
8	30	60	Etanol	Sim	2,05 ^b ± 0,01	5,35 ^h ± 0,46	0,77 ^c ± 0,25	4,47 ^h ± 0,13
9	30	60	Etanol	Não	2,06 ^b ± 0,01	6,74 ^{gh} ± 0,67	1,44 ^{de} ± 0,13	6,26 ^f ± 0,29
10	30	30	Água	Sim	4,05 ^a ± 0,02	50,39 ^d ± 0,40	12,09 ^b ± 0,51	9,32 ^{cd} ± 0,16
11	30	30	Etanol	Não	2,10 ^b ± 0,10	3,31 ^h ± 0,23	1,16 ^c ± 0,82	5,22 ^e ± 0,16
12	30	60	Água	Não	3,96 ^a ± 0,02	60,16 ^c ± 2,28	11,80 ^b ± 0,44	11,37 ^h ± 0,19
13	30	60	Água	Sim	4,00 ^a ± 0,09	52,58 ^d ± 0,00	9,38 ^b ± 0,26	11,85 ^h ± 0,43
14	70	30	Etanol	Não	2,06 ^b ± 0,01	5,31 ^h ± 0,12	1,71 ^{de} ± 0,40	3,28 ⁱ ± 0,15
15	70	30	Água	Sim	4,12 ^a ± 0,01	45,96 ^{de} ± 0,43	9,67 ^b ± 0,42	9,17 ^d ± 0,45
16	30	30	Etanol	Sim	2,05 ^b ± 0,00	4,59 ^h ± 0,12	2,28 ^{de} ± 0,62	3,65 ^{ij} ± 0,13

*Letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa ($p < 0,05$). Os valores são a média ± desvio padrão de 3 repetições.

É importante ressaltar também os resultados do tratamento 2, no qual utilizou-se somente 30 minutos de extração, pois apenas para FRAP (Figura 1 (c)) o resultado foi 15% ($p \leq 0,05$), menor que no tratamento 3. Menor tempo de extração resulta em menor gasto de energia, logo, um custo menor para a utilização desse processo pela indústria. O mesmo resultado foi encontrado por Belwal *et al.* (2016), na otimização das condições de extração de antioxidantes dos frutos de *Berberis asiatica*. Para Angelo e Jorge (2007), o tempo de extração é outro fator que deve ser considerado, pois quando a extração é realizada por um período muito longo, aumenta-se a possibilidade de oxidação dos fenólicos, exigindo que agentes redutores sejam adicionados ao sistema.

Os menores valores para a capacidade antioxidante, independentemente do método de quantificação, foram encontrados com a utilização do etanol como solvente, o que resulta na água como melhor solvente extrator. Os mesmos resultados foram encontrados por Nogueira (2019), em que a água como solvente foi bastante eficiente na extração da maioria dos compostos fenólicos antioxidantes analisados em seu estudo, quando comparada ao metanol e à acetona como solventes. A água é um solvente verde, ou seja, não poluente, atóxico e de baixo custo em comparação com outros orgânicos, deixando o processo mais sustentável. No entanto, a utilização de água como solvente também pode resultar em extrato com muitas impurezas devido ao arraste de outros compostos (ácidos orgânicos, açúcares, proteínas solúveis) e resultaria na quantificação destes como antioxidantes (Chirinos *et al.*, 2007).

Silva *et al.* (2019), ao analisarem frutos de cagaita provenientes de três diferentes cidades de Minas Gerais, utilizaram como solvente uma mistura de metanol e água (1:1). As amostras apresentaram capacidade antioxidante determinada pela análise de ABTS de $6,44 \pm 0,26$ a $9,34 \pm 0,34 \mu\text{molL}^{-1}$ Trolox g^{-1} e, para FRAP, $12,45 \pm 0,14$ a $17,29 \pm 0,34 \mu\text{mol.L}^{-1}$ sulfato ferroso g^{-1} . Esses valores são menores em relação aos encontrados no presente trabalho, o que reforça a indicação da água como solvente por ser mais eficiente, ter baixa toxicidade e baixo custo, logo, sem grandes impactos no meio ambiente.

Os ensaios 8 e 16 mostraram que a utilização do ultrassom não teve eficiência no processo de extração, principalmente quando utilizado juntamente com etanol e uma baixa temperatura de extração, resultado semelhante aos encontrados por Carciochi, Manrique e Dimitrov (2015) e Zhou *et al.* (2017), que atribuíram esse comportamento à potência do ultrassom utilizado.

5 Conclusão

A extração a 70 °C, 60 minutos, utilizando água como solvente e sem utilizar ultrassom obteve melhores efeitos, o que resulta em uma extração com menor custo e uso de equipamentos simples, além de um solvente verde e de baixa toxicidade. Portanto, foi possível otimizar a extração de antioxidantes da cagaita por processo mais sustentável.

A cagaita apresentou grande potencial como fonte de antioxidantes, que podem ser utilizados na formulação de alimentos inteligentes e suplementos, por exemplo, em embalagens biodegradáveis ativas, que podem prolongar a vida de prateleira do alimento com a sua ação antioxidante.

Como trabalhos futuros, os autores sugerem a utilização dessa fruta como matéria-prima para elaboração de produtos diferenciados e com características exóticas, permitindo uma maior divulgação do fruto proveniente do Cerrado brasileiro.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento externo.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Contribuições ao artigo

SILVA, J. F.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; análise e/ou interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **SILVA, L. A.:** análise e/ou interpretação dos dados. **MANDRONA, G. S.:** revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **ROSSONI, D. F.; SCAPIM, M. R. S.:** concepção ou desenho do estudo/pesquisa; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

AADIL, R. M.; ZENG, X.-A.; ZHANG, Z.-H.; WANG, M.-S.; HAN, Z.; JING, H.; JABBAR, S. Thermosonication: a potential technique that influences the quality of grapefruit juice. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 50, n. 5, p. 1275-1282, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12766>.

ALU'DATT, M. H.; RABABAH T.; ALLI, I. Effect of phenolic compound removal on rheological, thermal and physico-chemical properties of soybean and flaxseed proteins. **Food Chemistry**, v. 146, p. 608-613, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.104>.

ALU'DATT, M. H.; RABABAH, T.; EREIFEJ, K.; ALLI, I. Distribution, antioxidant and characterisation of phenolic compounds in soybeans, flaxseed and olives. **Food Chemistry**, v. 139, n. 1-4, p. 93-99, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.061>.

ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, v. 33, n. 10, p. 2202-2210, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010001000033>.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos: uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007. Disponível em: <https://periodicos.saude.sp.gov.br/RIAL/article/view/32841>. Acesso em: 2 fev. 2023.

ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, n. 11, p. 419-421, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00027-9).

BALASUNDRAM, N.; SUDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, n. 1, p. 191-203, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.

BALISTEIRO, D. M.; ARAUJO, R. L.; GIACAGLIA, L. R.; GENOVESE, M. I. Effect of clarified Brazilian native fruit juices on postprandial glycemia in healthy subjects. **Food Research International**, v. 100, Part 2, p. 196-203, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.08.044>.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: aplicações na ciência e na indústria**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BELWAL, T.; DHYANI, P.; BHATT, I. D.; RAWAL, R. S.; PANDE, V. Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM). **Food Chemistry**, v. 207, p. 115-124, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.081>.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.

BERGAMASCHI, K. B. **Capacidade antioxidante e composição química de resíduos vegetais visando seu aproveitamento**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2010.tde-10022011-144122>.

BEZERRA, M. A.; SANTELLI, R. E.; OLIVEIRA, E. P.; VILLAR, L. S.; ESCALEIRA, L. A. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. **Talanta**, v. 76, n. 5, p. 965-977, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>.

BOROSKI, M.; VISENTAINER, J. V.; COTTICA, S. M.; MORAIS, D. R. **Antioxidantes: princípios e métodos analíticos**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2015. 141p.

BOUDET, A.-M. Evolution and current status of research in phenolic compounds. **Phytochemistry**, v. 68, n. 22-24, p. 2722-2735, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.012>.

BRAGA, A. C. C.; SILVA, A. E.; PELAIS, A. C. A.; BICHARA, C. M. G.; POMPEU, D. R. Atividade antioxidante e quantificação de compostos bioativos dos frutos de abricó (*Mammea americana*). **Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 1, p. 31-36, 2010. Disponível em: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=HRCA&u=googlescholar&id=GALE|A246014846&v=2.1&it=r&sid=HRCA&asid=fb9b246b>. Acesso em: 2 fev. 2023.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5).

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, v. 56, n. 11, p. 317-333, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1998.tb01670.x>.

CACACE, J. E.; MAZZA, G. Extraction of anthocyanins and other phenolics from black currants with sulfured water. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 5939-5946, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf025614x>.

CARCIOCHI, R. A.; MANRIQUE, G. D.; DIMITROV, K. Optimization of antioxidant phenolic compounds extraction from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 7, p. 4396-4404, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1514-4>.

CARDOSO, L. M.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2151-2154, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.005>.

CECÍLIO, A. B.; FARIA, D. B.; OLIVEIRA, P. C.; CALDAS, S.; OLIVEIRA, D. A.; SOBRAL, M. E. G.; DUARTE, M. G. R.; MOREIRA, C. P. S.; SILVA, C. G.; ALMEIDA, V. L. Screening of Brazilian medicinal plants for antiviral activity against rotavirus. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 141, n. 3, p. 975-981, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2012.03.031>.

CHEMAT, F.; VIAN, M. A.; CRAVOTTO, G. Green extraction of natural products: concept and principles. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 13, n. 7, p. 8615-8627, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms13078615>.

CHIRINOS, R.; ROGEZ, H.; CAMPOS, D.; PEDRESCHI, R.; LARONDELLE, Y. Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruíz & Pavón) tubers. **Separation and Purification Technology**, v. 55, n. 2, p. 217-225, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.12.005>.

CORREIA, A. F.; SILVEIRA, D.; FONSECA-BAZZO, Y. M.; MAGALHÃES, P. O.; FAGG, C. W.; SILVA, E. C.; GOMES, S. M.; GANDOLFI, L.; PRATESI, R.; NÓBREGA, Y. K. M. Activity of crude extracts from Brazilian Cerrado plants against clinically relevant *Candida* species. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 16, 203, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-016-1164-3>.

DONADO-PESTANA, C. M.; BELCHIOR, T.; GENOVESE, M. I. Phenolic compounds from cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit prevent body weight and fat mass gain induced by a high-fat, high-sucrose diet. **Food Research International**, v. 77, Part 2, p. 177-185, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.044>.

ERDOGAN, S.; ATES, B.; DURMAZ, G.; YILMAZ, I.; SECKIN, T. Pressurized liquid extraction of phenolic compounds from Anatolia propolis and their radical scavenging capacities. **Food and Chemical Toxicology**, v. 49, n. 7, p. 1592-1597, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2011.04.006>.

FIUZA, T. S.; REZENDE, M. H.; SABÓIA-MORAIS, S. M. T.; BARA, M. T. F.; TRESVENZOL, L. M. F.; PAULA, J. R. Caracterização farmacognóstica das folhas de *Eugenia Uniflora* L. (*Myrtaceae*). **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 5, n. 2, p. 1-11, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5216/ref.v5i2.5148>.

GRZESIK, M.; NAPARŁO, K.; BARTOSZ, G.; SADOWSKA-BARTOSZ, I. Antioxidant properties of catechins: comparison with other antioxidants. **Food Chemistry**, v. 241, p. 480-492, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.117>.

GULLÓN, B.; GULLÓN, P.; LÚ-CHAU, T. A.; MOREIRA, M. T.; LEMA, J. M.; EIBES, G. Optimization of solvent extraction of antioxidants from *Eucalyptus globulus* leaves by response surface methodology: characterization and assessment of their bioactive properties. **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 649-659, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.014>.

ISMANDARI, T.; KUMALANINGSIH, S.; WIJANA, S.; MUSTANIROH, S. A. Optimization of bioactive compound extraction from rose myrtle fruit (*Rhodomyrtus tomentosa*, (W. Ait), *Myrtaceae*) as the antioxidant source. **The Scientific World Journal**, v. 2020, n. 1, 9105847, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/9105847>.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; TRONCOSO, A. M.; MANCINI-FILHO, J.; FETT, R. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Food Science and Technology**, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612005000400016>.

LIANDA, R. L. P. **Perfil de substâncias fenólicas de méis brasileiros por cromatografia líquida de alta eficiência e avaliação do potencial antioxidante**. 2009. Tese (Doutorado em Química Orgânica) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009. Disponível em: <https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/tede/40>. Acesso em: 1 out. 2022.

LINARES-PALOMINO, R.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; PENNINGTON, R. T. Neotropical seasonally dry forests: diversity, endemism, and biogeography of woody plants. In: DIRZO, R.; YOUNG, H. S., MOONEY, H. A.; CEBALLOS, G. (ed.). **Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation**. Washington: Island Press, 2011. p. 3-21. DOI: https://doi.org/10.5822/978-1-61091-021-7_1.

MAGALHÃES, L. M.; SEGUNDO, M. A.; REIS, S.; LIMA, J. L. F. C. Methodological aspects about in vitro evaluation of antioxidant properties. **Analytica Chimica Acta**, v. 613, n. 1, p. 1-19, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.02.047>.

MARTINOTTO, C.; PAIVA, R.; SOARES, F. P.; SANTOS, B. R.; NOGUEIRA, R. C. Cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.). **Boletim Técnico**, Lavras, n. 78, p. 1-21, 2008. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/48179>. Acesso em: 10 out. 2022.

MELLO, B. C. B. S.; HUBINGER, M. D. Antioxidant activity and polyphenol contents in Brazilian green propolis extracts prepared with the use of ethanol and water as solvents indifferent pH values. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 47, n. 12, p. 2510-2518, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03129.x>.

MENDONÇA, R. C.; FELFILI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA-JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S.; NOGUEIRA, P. E.; FAGG, C. W. Flora vascular do bioma Cerrado: *checklist* com 12.356 espécies. In: SANO, S. M.; ALMEIDA S. P.; RIBEIRO J. F. (ed.) **Cerrado: ecologia e flora**. v. 2. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008. p. 422-442. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/570911>. Acesso em: 2 fev. 2023.

MENESES, N. G. T.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains. **Separation and Purification Technology**, v. 108, p. 152-158, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2013.02.015>.

MENG, J.-F.; FANG, Y.-L.; QUIN, M.-Y.; ZHUANG, X.-F.; ZHANG, Z.-W. Varietal differences among the phenolic profiles and antioxidant properties of four cultivars of spine grape (*Vitis davidii* Foex) in Chongyi County (China). **Food Chemistry**, v. 134, n. 4, p. 2049-2056, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.005>.

MIKUCKA, W.; ZIELINSKA, M.; BULKOWSKA, K.; WITONSKA, I. Subcritical water extraction of bioactive phenolic compounds from distillery stillage. **Journal of Environmental Management**, v. 318, 115548, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115548>.

MOREIRA, L. C.; ÁVILA, R. I.; VELOSO, D. F. M. C.; PEDROSA, T. N.; LIMA, E. S.; COUTO, R. O.; LIMA, E. M.; BATISTA, A. C.; PAULA, J. R.; VALADARES, M. C. In vitro safety and efficacy evaluations of a complex botanical mixture of *Eugenia dysenterica* DC (*Myrtaceae*): prospects for developing a new dermocosmetic product. **Toxicology in Vitro**, v. 45, Part 3, p. 397-408, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2017.04.002>.

MORZELLE, M. C.; BACHIEGA, P.; SOUZA, E. C.; VILAS BOAS, E. V. B.; LAMOUNIER, M. L. Caracterização química e física de frutos de curriola, gabioba e murici provenientes do Cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 1, p. 96-103, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-2945-036/14>.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M. **Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments**. 4. ed. New Jersey: Wiley, 2016.

NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography A**, v. 1054, n. 1-2, p. 95-111, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.059>.

NOGUEIRA, T. L. **Otimização de uma mistura de solventes para extração de compostos fenólicos antioxidantes a partir dos frutos de *Muntingia calabura* L.** 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1089721>. Acesso em: 2 fev. 2023.

OLIVEIRA, V. B.; YAMADA, L. T.; FAGG, C. W.; BRANDÃO, M. G. L. Native foods from Brazilian biodiversity as a source of bioactive compounds. **Food Research International**, v. 48, n. 1, p. 170-179, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.011>.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. M.; SOARES, D. S. C.; SANTOS, J. T. S.; NUNES, T. P. Avaliação de diferentes modelos de secagem para liofilização de mangabas maduras com diferentes diâmetros, através de indicadores de desempenho. **Scientia Plena**, v. 12, n. 5, p. 1-6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2016.054210>.

PAZINATTO, C. **Avaliação in vitro da capacidade antioxidante de grãos de amaranto (*Amaranthus cruentus*)**. 2008. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/421307>. Acesso em: 2 fev. 2023.

PEREIRA, A. C. S. **Qualidade, compostos bioativos e atividade antioxidante total de frutas tropicais e cítricas produzidas no Ceará**. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/574374>. Acesso em: 2 fev. 2023.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; TABERBERO, M.; DÍAZ-RUBIO, M. E.; SERRANO, J.; GOÑI, I.; SAURA-CALIXTO, F. Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: extraction, measurement and expression of results. **Food Research International**, v. 41, n. 3, p. 274-285, 2008. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.12.004>.

PRADO, A. **Composição fenólica e atividade antioxidante de frutas tropicais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-09112009-135846>.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3).

RIBEIRO, E. M. G. **Atividade antioxidante e polifenóis totais do fruto de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC) com e sem casca**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Farmácia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/59/teses/764378.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2023.

RIZZI, F. R. **Otimização do processo de extração de compostos bioativos a partir das folhas de *Moringa oleífera***. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15296>. Acesso em: 2 fev. 2023.

ROBARDS, K.; PRENZLER, P. D.; TUCKER, G.; SWATSITANG, P.; GLOVER, W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. **Food Chemistry**, v. 66, n. 4, p. 401-436, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00093-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00093-X).

RODRIGUES, E. B.; COLLEVATTI, R. G.; CHAVES, L. J.; MOREIRA, L. R.; TELLES, M. P. C. Mating system and pollen dispersal in *Eugenia dysenterica* (Myrtaceae) germplasm collection: tools for conservation and domestication. **Genetica**, v. 144, p. 139-146, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10709-016-9884-3>.

RODRIGUES, M. I; LEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2. ed. Campinas: Cárita Editora, 2009.

ROMAN, M. J.; DECKER, E. A.; GODDARD, J. M. Biomimetic polyphenol coatings for antioxidant active packaging applications. **Colloid and Interface Science Communications**, v. 13, p. 10-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2016.06.002>.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{o+}**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 128). Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/426954/metodologia-cientifica-determinacao-da-atividade-antioxidante-total-em-frutas-pela-captura-do-radical-livre-abts>. Acesso em: 28 fev. 2023.

ŞAHIN, S.; SAMLI, R.; TAN, A. S. B.; BARBA, F. J.; CHEMAT, F.; CRAVOTTO, G.; LORENZO, J. M. Solvent-free microwave-assisted extraction of polyphenols from olive tree leaves: antioxidant and antimicrobial properties. **Molecules**, v. 22, n. 7, 1056, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22071056>.

SCARIOT, A.; RIBEIRO, J. F. **Boas práticas de manejo para o extrativismo sustentável da cagaita**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2015. Disponível em: <https://ispn.org.br/cagaita-boas-praticas-de-manejo-para-o-extrativismo-sustentavel/>. Acesso em: 2 fev. 2023.

SCHEFFÉ, H. Experiments with mixtures. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 20, n. 2, p. 344-360, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1958.tb00299.x>.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. **Food phenolics: sources, chemistry, effects and applications**. Lancaster: Technomic, 1995.

SILVA, M. R.; FREITAS, L. G.; SOUZA, A. G.; ARAÚJO, R. L. B.; LACERDA, I. C. A.; PEREIRA, H. V.; AUGUSTI, R.; MELO, J. O. F. Antioxidant activity and metabolomic analysis of cagaitas (*Eugenia dysenterica*) using paper spray mass spectrometry. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 30, n. 5, p. 1034-1044, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20190002>.

SILVA, R. S. M.; CHAVES, L. J.; NAVES, R. V. Caracterização de frutos e árvores de cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) no sudeste do estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n. 2, p. 330-334, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452001000200026>.

SILVA, S. M. M.; SILVA, C. A. G.; FONSECA-BAZZO, Y. M.; MAGALHÃES, P. O.; SILVEIRA, D. *Eugenia dysenterica* Mart. Ex Dc. (cagaita): planta brasileira com potencial terapêutico. **Infarma - Ciências Farmacêuticas**, v. 27, n. 1, p. 49-95, 2015. DOI: <http://doi.org/10.14450/2318-9312.v27.e1.a2015.pp49-95>.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965. DOI: <http://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>.

SOUZA, V. R.; PEREIRA, P. A. P.; QUEIROZ, F.; BORGES, S. V.; CARNEIRO, J. D. S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381-386, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.191>.

SUCUPIRA, N. R.; SILVA, A. B.; PEREIRA, G.; COSTA, J. N. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Journal of Health Sciences**, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012. Disponível em: <https://journalhealthscience.pgskroton.com.br/article/view/885>. Acesso em: 2 fev. 2023.

SUN, C.; WU, Z.; WANG, Z.; ZHANG, H. Effect of ethanol/water solvents on phenolic profiles and antioxidant properties of beijing propolis extracts. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2015, 595393, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1155/2015/595393>.

TABARAKI, R.; HEIDARIZADI, E.; BENVIDI, A. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) peel antioxidants by response surface methodology. **Separation and Purification Technology**, v. 98, p. 16-23, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.06.038>.

TAO, Y.; WU, D.; ZHANG, Q.-A.; SUN, D.-W. Ultrasound-assisted extraction of phenolics from wine lees: modeling, optimization and stability of extracts during storage. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 21, n. 2, p. 706-715, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.09.005>.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; HAWKINS BYRNE, D. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6-7, p. 669-675, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2006.01.003>.

TIVERON, A. P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no Brasil**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2010.tde-20102010-101541>.

VIEIRA, V.; PRIETO, M. A.; BARROS, L.; COUTINHO, J. A. P.; FERREIRA, O.; FERREIRA, I. C. F. R. Optimization and comparison of maceration and microwave extraction systems for the production of phenolic compounds from *Juglans regia* L. for the valorization of walnut leaves. **Industrial Crops and Products**, v. 107, p. 341-352, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.012>.

WANG, P.; ZHANG, Q.; WANG, Y.; WANG, T.; LI, X.; DING, L.; JIANG, G. Evaluation of Soxhlet extraction, accelerated solvent extraction and microwave-assisted extraction for the determination of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in soil and fish samples. **Analytica Chimica Acta**, v. 663, n. 1, p. 43-48, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2010.01.035>.

WOLFF, S. M.; SILVEIRA, A. C.; LAZZAROTTO, M. Metodologia para extração de fenólicos totais e antioxidantes da erva-mate. **Iniciação Científica Cesumar**, v. 21 n. 1, p. 45-54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/1518-1243.2019v21n1p45-54>.

ZHOU, T.; XU, D.-P.; LIN, S.-J.; LI, Y.; ZHENG, J.; ZHOU, Y.; ZHANG, J.-J.; LI, H.-B. Ultrasound-assisted extraction and identification of natural antioxidants from the fruit of *Melastoma sanguineum* Sims. **Molecules**, v. 22, n. 2, 306, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22020306>.