

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), Brasil

^[3] gsmadrona@uem.br, ^[4] diogo.rossoni@gmail.com, ^[5] mrsscapi@uem.br. Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Brasil

* autor correspondente

Resumo

O Cerrado brasileiro, ultimamente tem sido muito estudado, principalmente devido sua diversidade de frutas exóticas que possuem 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*, e por meio da quantificação da capacidade antioxidante. Somente o tratamento 3 (60 minutos a 70 °C, a 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 reduz o gasto energético do processo. 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 desta 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

The Brazilian Cerrado, lately has been much studied, mainly due to its diversity of exotic fruits that 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. Only treatment 3 (60 minutes at 70 °C, water as solvent extractor and without the use of ultrasound) was 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 reduces the energy expenditure of the process. The 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 em 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 pelo 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 em formulação de novos produtos, ou mesmo 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. No 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, proporcionando benefícios nutricionais, econômicos. O suco da polpa da cagaita é muito saboroso, com sabor doce e ácido (BALISTEIRO *et al.*, 2017) e como 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, bem como 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 essa melhor forma de extração é a utilização da otimização desse processo para desenvolver, melhorar e otimizar o mesmo, facilitando a utilização deste fruto pela indústria alimentícia. Compreende aplicações importantes nas etapas de projeto, desenvolvimento e formulação de novos produtos. Dentre essas aplicações, destacam-se a otimização da resposta e seleção das condições de operação (MYERS, MONTGNOMERY, ANDERSON-COOK, 2016; ŞAHIN *et al.*, 2017).

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).

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

No restante do artigo o referencial teórico baseado em uma pesquisa bibliográfica é apresentado na seção 2. Em seguida, na seção 3, os materiais e métodos utilizados na pesquisa, bem os resultados e discussões são apresentados na seção 4. Por fim, na seção 5, as conclusões do trabalho realizado.

2. Referencial teórico

Nesta seção é realizada 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 utilizado.

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. 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). 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). Essas inovações podem ser tanto em formulação de novos produtos, ou mesmo 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, araçás, pitangas, gabiobas e eucaliptos. É uma árvore predominantemente alogâmica. As flores são pequenas, de 1,5 a 2 cm de diâmetro. Os frutos comestíveis, com potencial econômico, são levemente achatados e tem de 2 a 3 cm de diâmetro, pesam de 14 a 20 gramas e contém de 1 a 3 sementes brancas. A planta pode alcançar até 10 metros 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 *et al.*, 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, que são altamente perecíveis. Esses frutos tem efeito laxante, principalmente quando muito maduros ou fermentados. As flores, folhas, 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 *et al.*, 2001). A cagaita apresenta forma redonda, ligeiramente achatada, com casca quebradiça e cor amarela brilhante. No 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, essa fruta 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, proporcionando benefícios nutricionais, econômicos (BALISTEIRO *et al.*, 2017) e como 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, bem como menores quantidades de flavonoides, como quercetina e derivados de kaempferol, e ácidos fenólicos, como ácido elágico (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 ser fonte de vitamina C, polifenóis, monoterpênos 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 a determinação do teor de compostos fenólicos totais e da capacidade antioxidante (MENESES *et al.*, 2013) é considerada uma etapa essencial devido a recuperação de compostos presentes em amostras naturais, o procedimento de extração pode ser desenvolvido por diversas metodologias, onde os métodos convencionais de extração, como Soxhlet e maceração e técnicas atuais mais eficazes reduzem o tempo de extração destes compostos e 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, 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 através de técnicas de tentativa e erro, mostrando a influência direta dos fatores ou variáveis independentes sobre as respostas desejadas e é fundamentado em princípios estatísticas que levam a maior confiabilidade no fornecimento de informações do que por métodos aleatórios, onde 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 trata-se de 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 medida da influência de cada variável, ou fator, 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 resultado da determinação da capacidade antioxidante da matriz (PEREIRA, 2009).

Os métodos analíticos utilizados para a determinação da capacidade antioxidante *in vitro* são muito utilizados 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 (radical 1,1-difenil-2-picril-hidrazila) e FRAP (Poder Antioxidante 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. Nestes ensaios resultados diferentes entre as espécies dos vegetais analisadas e laboratórios podem ser obtidos (BRAGA *et al.*, 2010; THAIPOONG *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, devido aos 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 50, para descobrir doadores de hidrogênio em produtos naturais, têm sido aplicados 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 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 sua estrutura (LIANDA, 2009). Essa deslocalização confere a esta molécula uma coloração violeta intenso, 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. Este 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 é reduzida a amarelo pálido (ALVES *et al.*, 2010; PAZINATTO, 2008; TIVERON, 2010), ou seja, a redução da absorbância é proporcional a concentração e a capacidade antioxidante da amostra (RIBEIRO, 2011), sendo somente solubilizado 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 transitoriedade dos radicais peróxil envolvidos na peroxidação lipídica por ser um radical de nitrogênio de vida longa (PAZINATTO, 2008); não poder ser aplicado em avaliações in vivo pelo fato do pH do meio reacional ser em torno de 5,5, diferente do pH fisiológico humano; pode 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 serem 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), 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 este radical pode reagir com o mesmo (MAGALHÃES *et al.*, 2008; TIVERON, 2010). 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 hidrofílicos e lipofílicos (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, como é observado na e conseqüentemente um decréscimo na absorbância que pode ser quantificado por espectrofotometria à 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 que na presença de um antioxidante recebe um elétron e é reduzido a um complexo de Fe^{2+} , de coloração azul escura com absorbância máxima em 595 nm (BERGAMASCHI, 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 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 ácidos siríngico), aldeídoformas de ácidos fenólicos (por exemplo, a vanilina, siringaldeído e p-hidroxibenzaldeído), ácidos fenilacéticos, acetofenonas, fenilpropanoides e seus derivados, cromonas e cumarinas (por exemplo, umbiliferona e aesculetina) e álcoois cinâmicos (por exemplo, álcoois coniferil, sinapil, siríngil e p-cumarílico) (ALU'DATT *et al.*, 2013; ALU'DATT; RABABAH; 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 tungstosfosfato produzirem a oxidação. As moléculas reduzidas são azuis e as não reduzidas são amarelas. Estas últimas se decompõem vagarosamente em pH alcalino, o qual é necessário para a manutenção do fenol na forma de fenolato. Este método espectrofotométrico não é um método específico, pois detecta todos os grupos fenólicos presentes no extrato, incluindo as proteínas extraíveis (NACZK, SHAHIDI, 2004; SHAHIDI; NACZK, 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 °C à -22 °C. As amostras foram mantidas em congelamento e transportadas para a cidade de Maringá para análises em caixa térmica não permitindo 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 e a tendo como resposta a capacidade antioxidante utilizando os seguintes 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

Nível	-1	+1
Temperatura de extração (°C)	30	70
Tempo de extração (min)	30	60
Concentração de etanol (%)	0	99
Utilização do banho ultrassônico	Não	Sim

Fonte: dados da pesquisa.

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) desidratadas a 50 °C em estufa com circulação de ar por 24 horas. Para a otimização foram pesadas 10 g de amostra em Erlenmeyer de 250 mL, um volume de 25 mL de etanol (+) ou água destilada (-), durante 30 (-) ou 60 (+) minutos, à uma temperatura de 30 (-) ou 60(+) (° 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 e em seguida a solução filtrada foi armazenada, nas condições de congelamento em abrigo de luz para posteriores análises. Os 16 extratos foram submetidos a 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 (2,2-AZINO BIS (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid diammonium salt) foi empregada metodologia de

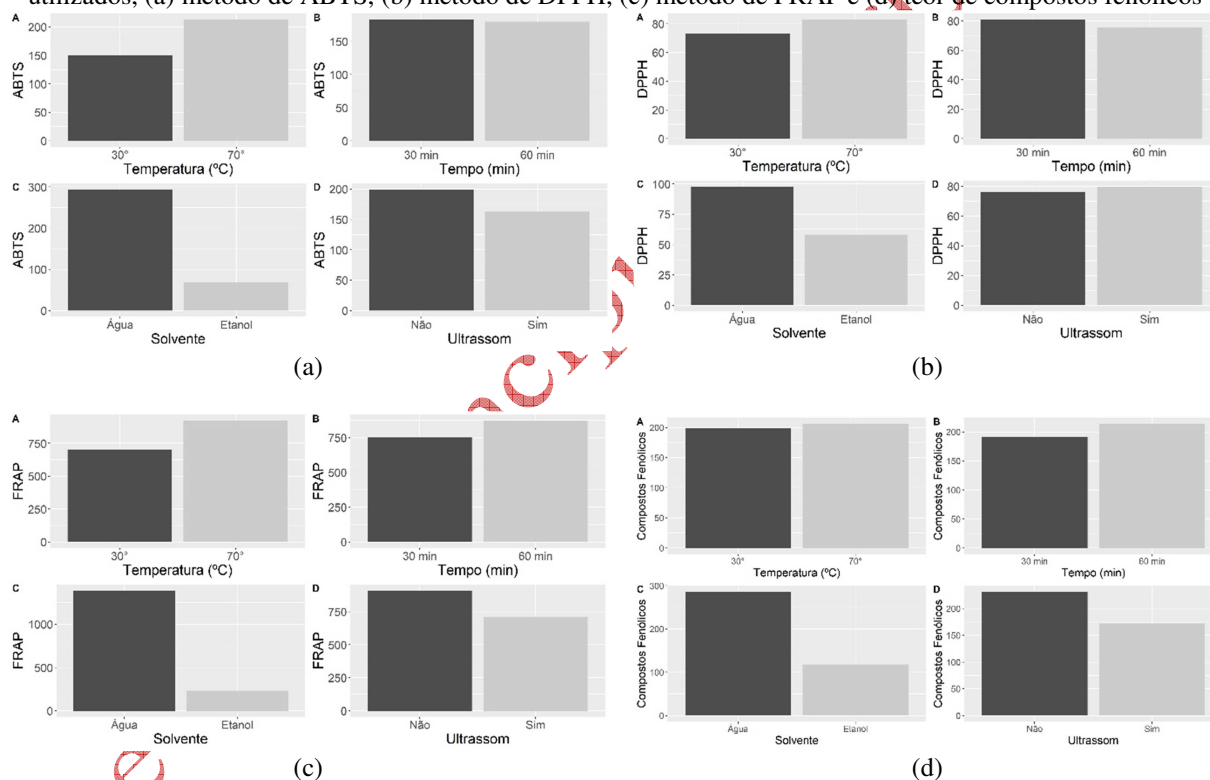
(RUFINO *et al.*, 2007). O ensaio FRAP foi realizado segundo metodologia de Benzie e Strain (1996). Os resultados de antioxidantes foram expressos em μM Equivalente Trolox/mg amostra.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente, por meio da Análise de Variância (ANOVA), comparadas 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, utilizando ou não o ultrassom) influenciaram a capacidade antioxidante dos extratos obtidos. O aumento da temperatura apresentou um efeito positivo na capacidade antioxidante independentemente do método (Figura 1) de quantificação, podendo ser considerado um efeito principal. Em extrações realizadas em temperaturas entre 52 °C a 70 °C pode ocorrer aumento na porosidade no tecido da parede celular, facilitando a permeabilidade do solvente, permitindo a hidrólise dos compostos fenólicos ligados a proteínas ou polissacarídeos, liberando o conteúdo intracelular de forma eficiente e consequentemente melhorando o processo de extração destes compostos (CACACE, MAZZA, 2002; TABARAKI, HEIDARIZADI, BENVIDI, 2012; WOLFF, SILVEIRA, LAZZAROTTO, 2019).

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

Já com a variação no tempo de extração, o efeito positivo no processo de extração não foi tão importante o que pode indicar talvez a utilização do menor tempo visando à economia de energia e a 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, a água é um solvente eficaz devido à sua alta polaridade e alta constante dielétrica (MIKUCKA *et al.*, 2022). O que atende a busca por um desenvolvimento mais sustentável devido à preocupação com o meio ambiente que vem se buscando cada vez técnicas com menor impacto ambiental, resultando assim em uma recuperação dos compostos bioativos que minimizem os volumes de solventes e evitem o uso de substâncias tóxicas (CHEMAT, VIAN, CRAVOTTO, 2012).

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, 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 sem utilizar 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 a 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 termosensibilidade dos compostos desejados, evitando assim a degradação desses.

Revista Principia - Early View

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 (mg EAG/ g de amostra) para os tratamentos definidos para otimização no processo de extração de antioxidantes da polpa da cagaita desidratada

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

*letras diferentes na mesma coluna indicam que há diferença significativa ($p < 0,05$). Os valores são a média \pm desvio padrão de 3 repetições.
 Fonte: dados da pesquisa.

É importante ressaltar também os resultados do tratamento 2, onde utilizou-se somente 30 minutos de extração, pois somente 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 deste 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 asiática*. Ao diminuir o tempo de extração, haverá menor probabilidade de degradação desses compostos, devido à exposição dos mesmos por longos períodos de tempo a altas temperaturas.

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 a possibilidade de oxidação dos fenólicos exigindo que agentes redutores sejam adicionados ao sistema. 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 como antioxidantes (CHIRINOS *et al.*, 2007).

O menor valor para a capacidade antioxidante independe do método de quantificação, foram encontrados com a utilização da água como solvente. Os mesmos resultados foram encontrados por Nogueira (2019), onde a água, como solvente foi bastante eficiente na extração da maioria dos compostos fenólicos antioxidantes analisados em seu estudo, quando comparada ao metanol e a acetona como solventes. A água é um solvente verde, ou seja, não poluente, atóxico e de baixo custo em comparação com outros solventes orgânicos, deixando o processo mais sustentável.

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 ABIS $6,44 \pm 0,26$ a $9,34 \pm 0,34$ $\mu\text{mol.L}^{-1}$ 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} . Valores menores aos encontrados no presente trabalho, o que reforça a indicação da água como solvente mais indicado por ser mais eficiente, baixa toxicidade, 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 atribuiu este comportamento a potência do ultrassom utilizado.

5. Conclusão

A extração à 70 °C, 60 minutos, água como solvente e sem utilizar ultrassom obteve melhores resultados, o que resulta em uma extração com menor custo e com equipamentos simples e solvente verde e baixa toxicidade. Contudo 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, suplementos, e 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 desta 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.

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. **Institute of 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.; 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>.

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://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.09.104>.

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. **Revista 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: 02 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://dx.doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00027-9](https://dx.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://dx.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://dx.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://dx.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://dx.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: 02 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://dx.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, p. 4396-4404, 2015. DOI: <https://dx.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://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.03.005>.

CECÍLIO, A. B.; FARIA, D. B.; OLIVEIRA, P. C.; CALDAS, S.; DE 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 rotavírus. **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://dx.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* Ruiz & Pavón) tubers. **Separation and Purification Technology**, v. 55, n. 2, p. 217-225, 2007. DOI: <https://dx.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, p. 203, 2016. DOI: <https://dx.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://dx.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 própolis 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* (Myrtaceae). **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 5, n. 2, p. 1-11, 2008. DOI: <https://dx.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, 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 a 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.ufrrj.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. (eds). **Seasonally dry tropical forests: ecology and conservation**. Washington: Island Press, p. 3-21, 2011. DOI: https://dx.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://dx.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: Editora UFLA, 2008. DOI: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/48179>.

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://dx.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. (eds) **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 422-

442, 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/570911>. Acesso em: 02 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 antioxidante 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://dx.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.; BOAS, E. V. B. V.; LAMOUNIER, M. L. Caracterização química e física de frutos de curriola, gabirola 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. 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.** Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1089721>. Acesso em: 02 fev. 2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, A. M.; SOARES, D. S. C.; SANTOS, J. T. S.; NUNES, T. 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://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2016.054210>.

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://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.011>.

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: 02 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: 02 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, oil and beverages: extraction, measurement and expression of results. **Food Research International**, v. 41, n. 3, p. 274-285, 2008. DOI: <http://dx.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. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-09112009-135846>. Acesso em: 02 fev. 2023.

RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://dx.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: <https://buscaintegrada.ufrj.br/Record/aleph-UFR01-000764378>. Acesso em: 02 fev. 2023.

RIZZI, F. R. **Otimização do processo de extração de compostos bioativos a partir das folhas de *Moringa oleífera***. 2016. Monografia (Bacharelado em Química) – Departamento de Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/15296>. Acesso em: 02 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://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00093-X](https://dx.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. **Genética**, v. 144, p. 139-146, 2016. DOI: <https://dx.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+. **Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical**, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 128) Disponível em: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=426954>. Acesso em: 28 fev. 2023.

ŞAHİN, 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: 02 fev. 2023.

SCHEFFÉ, H. Experiments with mixtures. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v. 20, n. 2, p. 344-360, 1958.

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

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://dx.doi.org/10.14450/2318-9312.v27.e1.a2015.pp49-95>.

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>.

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://www.ajevonline.org/content/16/3/144.full.pdf+html>. Acesso em: 02 fev. 2023.

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.pgsskroton.com.br/article/view/885>. Acesso em: 02 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://dx.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>

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://dx.doi.org/10.11606/D.11.2010.tde-20102010-101541>.

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>.

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://dx.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, 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. **Moléculas**, v. 22, 306, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/molecules22020306>.

Revista Príncipe de Eanáver