
Compostos fenólicos a partir de vegetais: uma revisão sobre as classes, propriedades e métodos de extração

Phenolic compounds from vegetables: a review of classes, properties, and extraction methods

Marília de Almeida Cavalcante

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1447-5723>

Instituto Federal do Amapá, Brasil

e-mail: marilia.cavalcante@yahoo.com.br

Wardsson Lustrino Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2960-0638>

Embrapa Agroindústria Tropical, Brasil

E-mail: wardsson.borges@embrapa.br

Tiago Marcolino de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4568-7884>

Universidade do Estado do Amapá, Brasil

e-mail: uaitiago@gmail.com

RESUMO

Os compostos fenólicos sintetizados pelos vegetais destacam-se por apresentar diversas propriedades biológicas com aplicação nas indústrias alimentícias, farmacêutica, cosmética e nutracêutica. Assim, torna-se importante o estudo desses compostos, assim como de suas classes, estruturas químicas, propriedades e métodos de obtenção. Esta revisão tem como objetivo apresentar as diferentes classes de compostos fenólicos e os métodos usados para extração. Os métodos de extração incluem extração sólido-líquido, extrações assistidas por ultrassom, extrações assistidas por micro-ondas e extração com fluido supercrítico. A partir da pesquisa foi possível demonstrar as principais classes dos compostos fenólicos, condições específicas de obtenção e as principais vantagens e desvantagens dos métodos utilizados tanto na extração quanto para identificação.

Palavras-chave: Compostos Bioativos; Extratos de Plantas; Antioxidantes.

ABSTRACT

Phenolic compounds synthesized by plants stand out for presenting diverse biological properties with applications in the food, pharmaceutical, cosmetic, and nutraceutical industries. Therefore, it is important to study these compounds, as well as their classes, chemical structures, properties, and methods of obtaining them. This review aims to present the different classes of phenolic compounds and the used extraction methods. Extraction methods include solid-liquid extraction, ultrasound-assisted extractions, microwave-assisted extractions, and supercritical fluid extraction. From the research, it was possible to demonstrate the main classes of phenolic compounds, specific conditions for obtaining them, and the main advantages and disadvantages of the methods used in both extraction and identification.

Keywords: Bioactive Compounds; Plant Extracts; Antioxidants;

INTRODUÇÃO

As espécies vegetais sintetizam metabólitos secundários que apresentam propriedades biológicas e, por isso, são denominados de compostos biologicamente ativos ou compostos bioativos. Entre todos os metabólitos secundários, os compostos fenólicos têm sido amplamente estudados e utilizados em uma grande variedade de aplicações industriais. Esses compostos são produzidos em resposta as condições de estresse tais como infecções, injúrias, radiação ultravioleta, entre outras, são classificados conforme suas estruturas químicas e apresentam uma ampla variedade de funções biológicas, tais como, antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória, antiviral, anticancerígena e vasodilatadora, destacando-se as propriedades antioxidante e antimicrobiana (Penny et al., 2002; Soobrattee et al., 2005; Paixão et al., 2007).

Os compostos fenólicos produzidos pelos vegetais podem ser utilizados como antioxidantes naturais com o objetivo de substituir os sintéticos e assim interferir nos processos de oxidação e alteração de lipídios, proteínas e DNA (Neffati et al., 2017). Além disso, os antioxidantes naturais podem proteger os organismos vivos contra doenças degenerativas, particularmente as doenças cardiovasculares e câncer, através da inibição e eliminação dos radicais livres nas células (Cavalcante, 2011).

Outra propriedade biológica desses compostos consiste na atividade antimicrobiana contra patógenos multirresistentes (Tayel et al., 2018). Assim, dados da literatura indicam que houve um aumento no interesse pela utilização de compostos fenólicos como uma alternativa para o controle do crescimento de microrganismos e em substituição a substâncias comerciais que perderam sua efetividade. Outra aplicação está relacionada ao atraso ou inibição do crescimento de microrganismos patogênicos e produtores de toxinas nos alimentos, o que pode evitar a transmissão de doenças por alimentos e a deterioração dos produtos alimentícios (Corrêa et al., 2018).

As condições de extração podem influenciar na caracterização e isolamento dos compostos fenólicos. Estudos demonstraram que a variação na composição fitoquímica e nas propriedades biológicas dos extratos são influenciadas pelas condições laboratoriais de extração, tais como, tipo de solvente, tempo, temperatura e o método empregado (Sindi et al., 2014; Formagio et al., 2015; Zhen et al., 2016). Na extração, o tipo de solvente tem sido considerado como o fator mais importante; água e/ou solvente orgânico (etanol, metanol, acetona, acetato de etila) podem ser utilizados. Etanol e metanol são os solventes

orgânicos mais empregados na extração de compostos fenólicos, mas diferentes solventes podem ser inicialmente avaliados para seleção do mais adequado. Comparado ao metanol, o etanol é um solvente verde, mais susceptível ao consumo humano, reutilizável, não tóxico, e empregado nas indústrias de bebidas, alimentos e cosméticos (Yakoub et al., 2018).

Neste contexto, esta revisão possui como objetivo apresentar as diferentes classes de compostos fenólicos, suas estruturas químicas, as propriedades biológicas, extração e os métodos analíticos usados na identificação e quantificação.

COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são sintetizados através das vias bioquímicas do ácido chiquímico e do ácido malônico, sua estrutura química é constituída por um anel aromático (C₆) ligado a uma ou mais hidroxilas e podem ser apresentados na forma de ésteres ou glicosídeos. Conforme sua estrutura molecular, número de anéis aromáticos e de hidroxilas, ligações com outros grupamentos, dentre outras diferenciações, são classificados em: fenóis simples, ácidos benzoicos, ácidos cinâmicos, ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, estilbenos e ligninas (Tabela 1).

Tabela 1 – Classes e estruturas químicas dos principais compostos fenólicos

Classe	Estrutura química
Fenóis simples, benzoquinonas	C ₆ -
Ácidos fenólicos	C ₆ -C ₁
Estilbenos	C ₆ -C ₂ -C ₆
Flavonoides, Isoflavonoides	C ₆ -C ₃ -C ₆
Ligninas, Lignananas	(C ₆ -C ₃) _n
Taninos condensados ou proantocianidinas	(C ₆ -C ₃ -C ₆) _n

Fonte: Balasundram; Sundram; Samman (2006)

A variedade nas funções específicas que esses compostos exercem nos vegetais está relacionada a diversidade dessas estruturas e, conseqüentemente, na sua distribuição na natureza. Assim, alguns fenólicos são comumente encontrados nos vegetais, enquanto outros são específicos de certas famílias ou encontrados em órgãos específicos ou em determinados estágios de desenvolvimento do vegetal (Boudet, 2007; Cheynier, 2012).

Essas substâncias são produzidas nos vegetais para a proteção contra os ataques de agentes externos, tais como microrganismos e radiação ultravioleta, repelência a insetos e para atração dos polinizadores. Elas podem ser encontradas no caule, casca,

ramo, folha, flor e frutos e sua composição ou concentração pode variar qualitativa e quantitativamente dependendo do vegetal, estação do ano, condições ambientais, estágio de desenvolvimento e maturação da planta, ação dos agentes polinizadores, colheita, condições de cultivo, solo, armazenamento depois de colhidos, entre outros fatores (Cheynier et al.; 2005; Arnos, Costa, Schmidt, 2019).

Na indústria alimentícia, os compostos fenólicos podem ser adicionados para aferir e/ou intensificar características sensoriais, tais como adstringência, acidez e cor, inibir a oxidação lipídica e a proliferação de bactérias e fungos (Espin; Tomas-Barbera, 2009; Del Rio et Al., 2010; Selma). Na indústria farmacêutica, os compostos fenólicos podem apresentar os seguintes efeitos farmacológicos: (i) propriedades ansiolíticas semelhantes a ação do diazepam no sistema nervoso central; (ii) atividade cardioprotetora; (iii) atividade hipolipemiante por eliminação direta de radicais; (iv) proteção gastrointestinal, como por exemplo, atividade antiúlcera e hepatoprotetora; (v) atividade antioxidante, atividade anti-inflamatória e analgésica; (vi) efeito sobre os vasos sanguíneos; (vii) atividade antimicrobiana; e (viii) efeitos antiosteoporótico (Narayana et al., 2001; Nijveldt et al., 2001; Griebel et al., 1999). Além disso, estudos epidemiológicos e medicinais sugerem que a ingestão desses compostos, principalmente os flavonoides, pode prevenir e tratar diversas doenças, tais como câncer, diabetes e doenças cardiovasculares (Liskova et al., 2020; Ciumărnean et al., 2020; Manavi; Amiri; Mozafaryan, 2021).

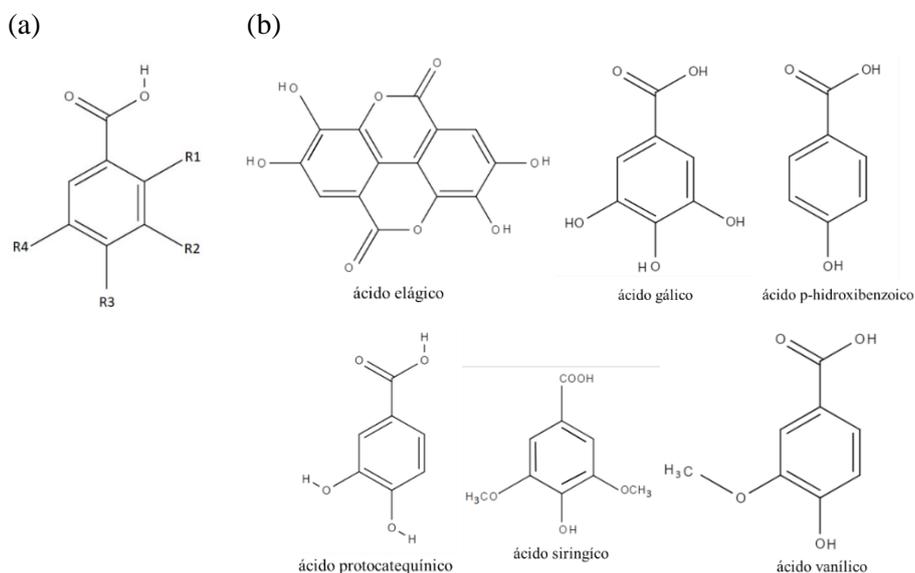
Ácidos fenólicos

Os ácidos fenólicos são compostos presentes em abundância na natureza, podem ser encontrados nas formas livres ou conjugadas e são divididos em duas classes: derivativos do ácido benzoico (ácidos hidroxibenzoico) e derivativos do ácido cinâmico (ácidos hidroxicinâmicos). A estrutura molecular desses compostos é constituída por um anel benzênico, um grupamento carboxílico e um ou mais grupamentos de hidroxila e/ou metoxila (Tsao, 2010). Esses compostos estão amplamente distribuídos no reino vegetal, podem ser clivados através da hidrólise química ou enzimática, desempenham função sobre a estabilidade estrutural e são moléculas de sinalização e de defesa (Mandal; Chakraborty; Dey, 2010).

Os ácidos hidroxibenzoicos possuem sete átomos de carbono (C_6-C_1) e são os compostos fenólicos mais simples encontrados na natureza. Sua fórmula geral está

representada na Figura 1a. Alguns exemplos dessa classe são o ácido salicílico, ácido gentísico, ácido p-hidroxibenzoico, ácido protocatequínico, ácido vanílico, ácido gálico, ácido siríngico (Soares, 2002), cujas estruturas são apresentadas na Figura 1b.

Figura 1 – Estrutura química dos ácidos benzoicos (a) dos ácidos hidroxibenzoicos (b)

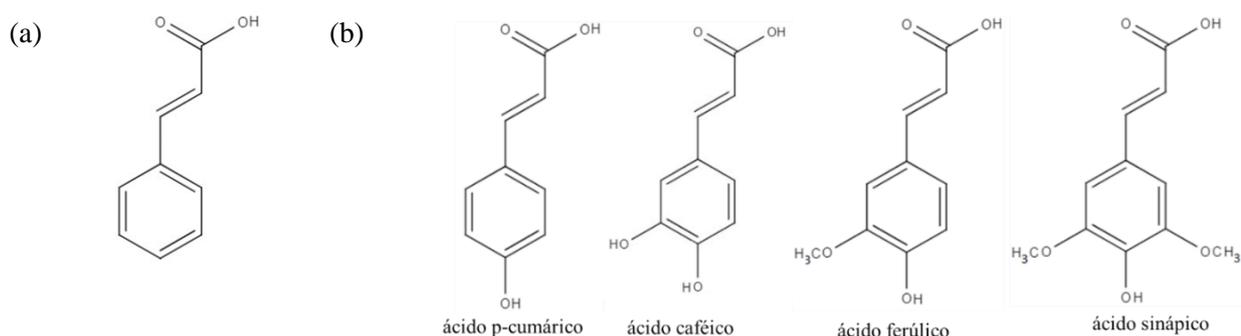


Fonte: Soares (2002) e Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Os ácidos hidroxicinâmicos são fenólicos de baixo peso molecular, derivados do fenilpropanoide e caracterizados por estrutura química C_6-C_3 . A estrutura desses compostos contém um ácido trans-fenil-3-propenoico ligado a uma ou mais hidroxilas na metade da molécula, que em algumas classes pode ser metilada (Figura 2a). Nos vegetais, desempenham funções estruturais, de defesa contra patógenos e desempenham papel protetor contra raios UV. Os compostos mais comumente encontrados são os ácidos p-cumárico, cafeico, ferúlico e sinápico (Cartea et al., 2011; Pereira; Angelis-Pereira, 2014), cujas estruturas são apresentadas na Figura 2b.

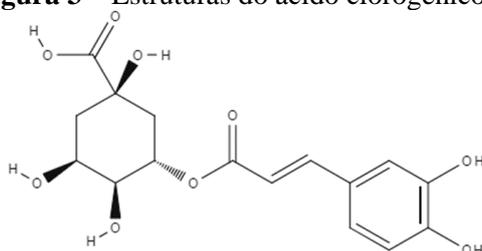
Estes ácidos são raramente encontrados na forma livre, exceto em alimentos processados, e as formas conjugadas são derivados glicosilados ou esterificados com ácido quínico, chiquímico ou tartárico (Manach et al., 2004). A combinação mais importante destes ácidos ocorre com o ácido cafeico e o ácido quínico, originando o ácido clorogênico (Figura 3) (Soares, 2002).

Figura 2 – Estrutura química dos ácidos hidroxicinâmico (a) e exemplos (b)



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Figura 3 – Estruturas do ácido clorogênico

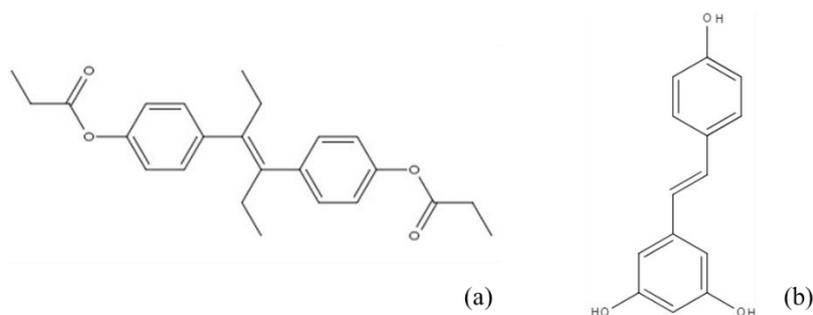


Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Estilbenos

Os estilbenos estão amplamente distribuídos entre os vegetais, apresentam uma estrutura contendo 14 carbonos e dois anéis fenólicos ligados através de uma ponte de etileno (Figura 4a). O resveratrol (Figura 4b), 3,5,4'-trans-tri-hidroxiestilbeno, é considerado o composto mais relevante desta classe e é encontrado tanto nas configurações cis e trans, ambas glicosiladas (Espín; García-Conesa; Tomás-Barberán, 2007).

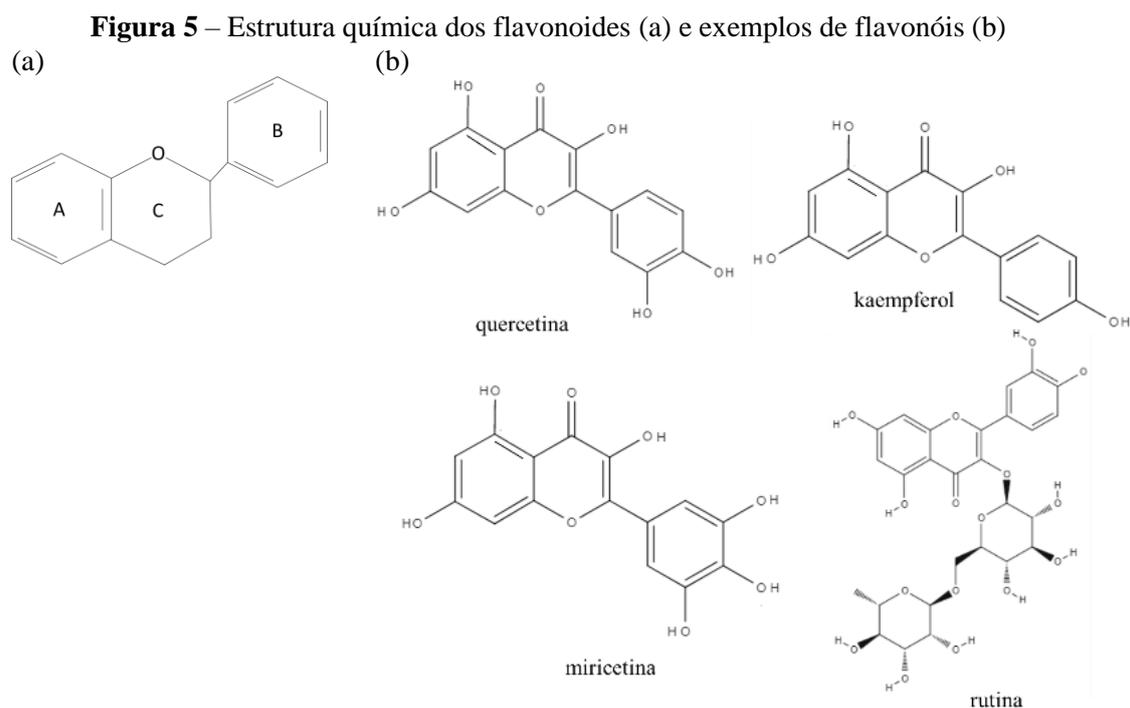
Figura 4 – Estrutura do estilbeno (a) e do resveratrol (b)



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Flavonoides

Flavonoides são o grupo mais importante dos compostos fenólicos, com substâncias amplamente distribuídas nos vegetais. São derivados de aminoácidos aromáticos e possuem como estrutura química básica dois anéis benzênicos, A e B, ligados por uma pirona, anel C (Figura 5a) (Ozidal et al., 2016; Leopoldini; Russo; Toscano, 2011). O anel A é formado a partir de uma molécula de resorcinol ou floroglucinol sintetizada no metabolismo do acetato, com hidroxilação característica nas posições 5 e 7. O anel B é gerado no metabolismo do chiquimato. Os subgrupos desses fenólicos são divididos conforme a hidroxilação, glicosilação e demais reações que possam alterar a molécula básica. As flavonas, os flavonóis, os flavanóis, as flavanonas, as isoflavonas e as antocianidinas são subclasses desses compostos formadas a partir das variações no anel C (Bravo, 1998; Ross; Kasum, 2002).



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Nos vegetais, podem ser encontrados nas formas aglicona e glicosilada (Farah; Donangelo, 2006; Leopoldini; Russo; Toscano, 2011; Chang et al., 2016), sendo a forma conjugada mais comum (Pereira; Angelis-Pereira 2014). Os flavonoides glicosilados podem estar associados com um ou mais açúcares ligados ao grupo hidroxil,

preferencialmente no C₃ e raramente no C₇, embora também ocorra a ligação direta do açúcar no carbono aromático. Os açúcares associados podem ser mono, di ou oligossacarídeos, tais como glicose, galactose, raminose, xilose ou arabinose. Associações com ácidos carboxílicos, aminas e lipídeos, e outros fenólicos também podem ocorrer (Bravo, 1998). Os açúcares e a presença de hidroxilas aumentam a solubilidade dos flavonoides em água; enquanto a presença de outros grupos substituintes como metil e isopentil aumentam as propriedades lipofílicas (Carocho; Ferreira, 2013).

Esses compostos são relativamente resistentes ao calor, oxigênio, desidratação e níveis moderados de acidez, no entanto, são sensíveis a luz. A fotoestabilidade ocorre conforme a natureza do grupo hidroxila ligado no carbono 3 do anel C. Alta fotoestabilidade da molécula ocorre na ausência de glicosilação deste grupo (Aherne; O'Brien, 2002).

Os flavonoides apresentam diversas propriedades biológicas tais como antioxidante, antimicrobiana, anticâncer, antitumoral, entre outras. Em relação a atividade antioxidante, a estrutura química do composto influencia na capacidade de eliminação dos radicais livres e quelação dos íons metálicos. Assim, quanto maior o número de hidroxilas na molécula, maior a atividade antioxidante da substância (Balasundram; Sudram; Samman, 2006). Assim, para o flavonoide apresentar atividade antioxidante são necessárias algumas características estruturais dos anéis A, B e C tais como um grupo hidroxila no carbono 3, uma dupla ligação entre os carbonos 2 e 3, um grupo carbonila na posição 4 e a poli-hidroxilação dos anéis aromáticos A e B (Rice-Evans; Miller; Paganga, 1996).

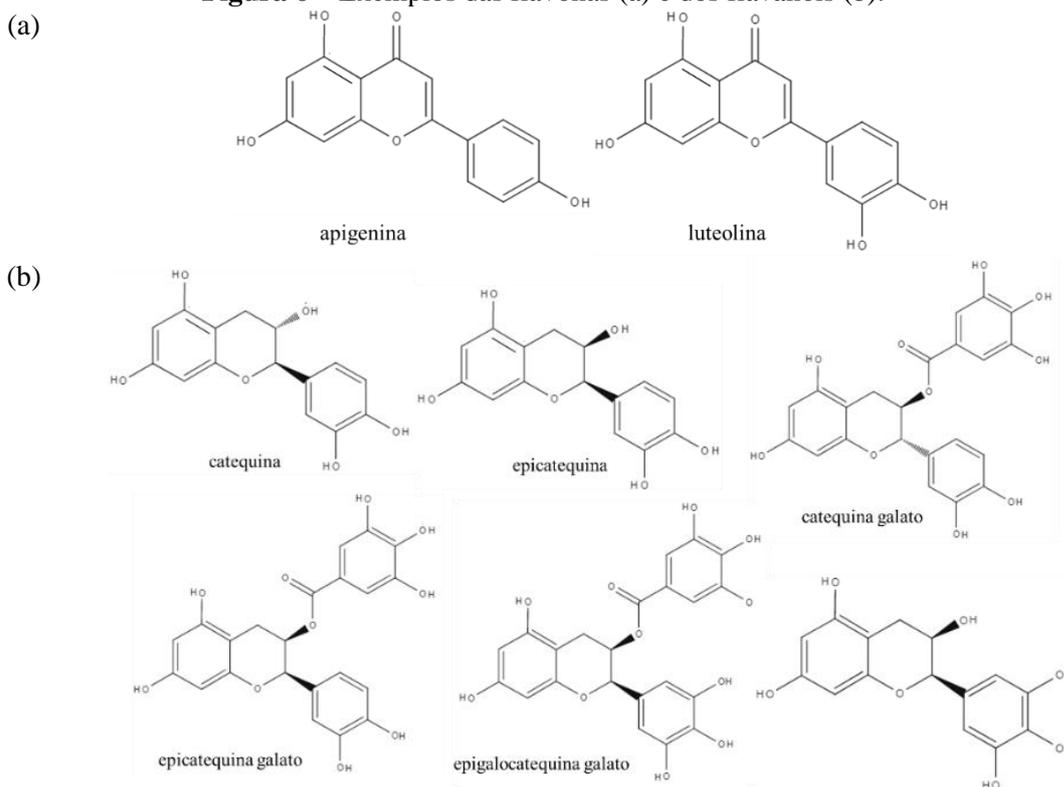
Dentre as classes dos flavonoides, os flavonóis e as flavonas se destacam como as mais ocorrentes nos vegetais. As principais substâncias pertencentes a classe dos flavonóis são a miricetina, o kaempferol, a quercetina e suas formas glicosiladas, como a rutina (Figura 5b) (Carocho; Ferreira, 2013). Esses compostos estão presentes em uma variedade de frutas, vegetais, castanhas e bebidas (Pereira; Angelis-Pereira 2014).

As flavonas estão presentes nos vegetais como 7-O-glicosídeos, derivam das flavanonas através da captação de dois átomos de hidrogênio e introdução de ligações duplas entre os carbonos 2 e 3 (Carocho; Ferreira, 2013). A apigenina e a luteolina são as substâncias dessa classe mais encontradas (Figura 6a). Nos vegetais, desempenham ação protetora contra a radiação ultravioleta e interagem com microrganismos, insetos e outras

plantas. Alguns alimentos como as ervas, temperos e chás são fonte desta classe de fenólicos (Pereira; Angelis-Pereira, 2014).

Os flavanois ou flavan-3-óis são a classe mais complexa pertencente aos flavonoides e incluem desde moléculas simples como catequina e epicatequina até estruturas polarizadas como as proantocianidinas. Pertencem a essa classe de flavonoides a catequina, epicatequina e seus ésteres de ácido gálico como catequina galato, epigalocatequina galato, epicatequina galato, galocatequina galato, epigalocatequino e galocatequina (Figura 6b). Nos vegetais atuam na proteção contra microrganismos, insetos, e herbívoros, e apresentam capacidade de quelar metais. Nos alimentos, estão presentes em frutas vermelhas como mirtilo, amora, uva roxa e em sementes de cacau, e são responsáveis pela adstringência, sabor amargo, acidez, aroma e cor (Carocho; Ferreira, 2013; Pereira; Angelis-Pereira, 2014).

Figura 6 – Exemplos das flavonas (a) e dos flavanois (b).



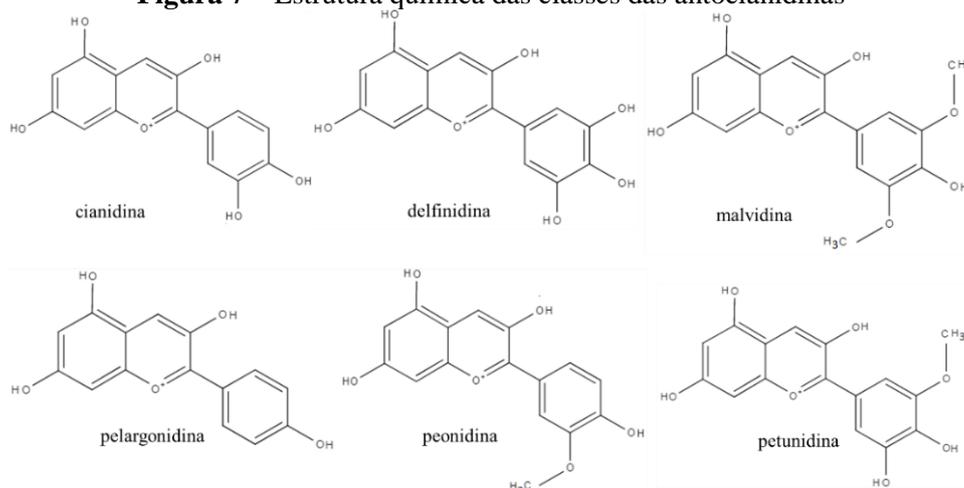
Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

As antocianidinas e antocianinas (formas glicosiladas das antocianidinas) são moléculas responsáveis pela coloração vermelha, roxa e azul dos vegetais, exercem proteção contra o excesso de luz e atração dos polinizadores (Carocho; Ferreira, 2013).

Cianidina, delphinidina, malvidina, pelargonidina, peonidina e petunidina são as principais substâncias dessa classe de flavonoides (Figura 7) (Pereira; Angelis-Pereira, 2014).

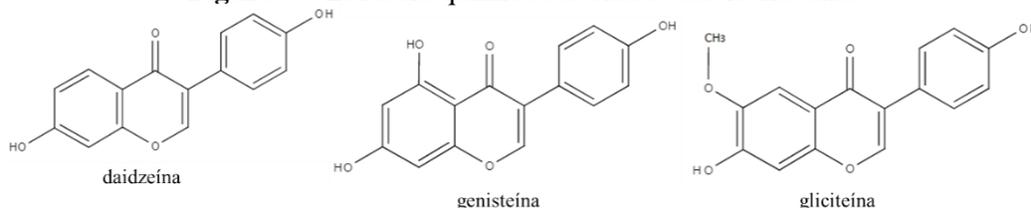
As isoflavonas são encontradas principalmente nas leguminosas e sua estrutura química é constituída de um anel B ligado ao carbono C₃ ao invés do carbono C₂, diferenciando das outras classes dos flavonoides. Daidzeína, genisteína e gliciteína são compostos pertencentes a esta classe de flavonoides (Figura 8).

Figura 7 – Estrutura química das classes das antocianidinas



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

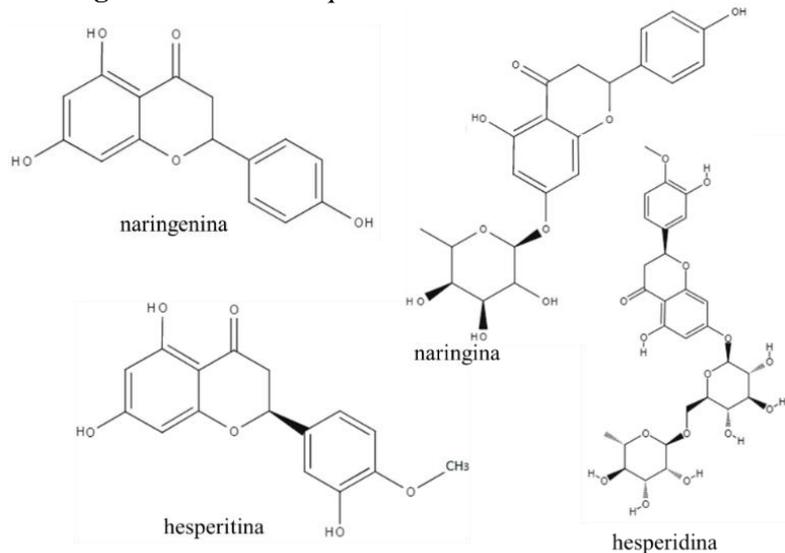
Figura 8 – Estrutura química das classes das isoflavonas



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

As flavononas são flavonoides caracterizados pela ausência de ligações duplas e um centro quiral no anel C. Os principais compostos dessa classe são a naringenina e a hesperitina e suas formas glicosiladas como hesperidina e a naringina (Figura 9). Esses compostos são encontrados principalmente em frutas cítricas como laranja, limão e tangerina (Pereira; Angelis-Pereira, 2014).

Figura 9 – Estrutura química das classes das flavononas

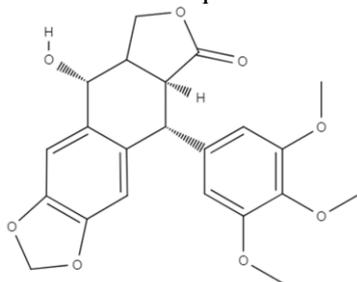


Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Lignanas

As lignanas (Figura 10) são compostos fenólicos produzidas através do processo oxidativo do fenil-pronano, podem ser encontradas em uma variedade de plantas, estão relacionadas a diversas propriedades biológicas, como antioxidante, anti-inflamatória e na prevenção de doenças, como o câncer (Cong-Cong et al., 2017).

Figura 10 – Estrutura química das lignanas



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

Taninos

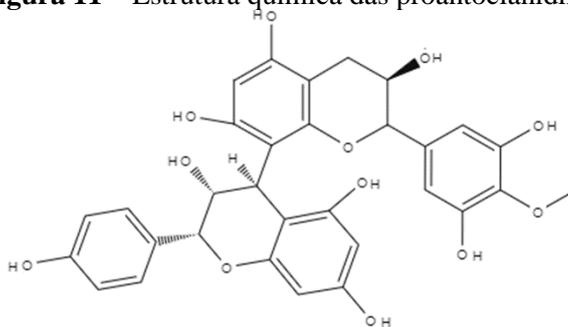
Os taninos correspondem a classe dos flavonoides hidrossolúveis oligoméricos e poliméricos, com peso molecular entre 500 - 3000 Da, amplamente distribuídos nos vegetais e classificados em condensados (proantocianidinas) ou hidrolisáveis. Nos vegetais, esses compostos têm a função de proteção contra o ataque de microrganismos por inativar as enzimas agressivas (Naczki; Shahidi, 2004). Podem ser encontradas em

sementes como a amêndoa, bebidas como cerveja e vinho tinto e frutas vermelhas (Achilli et al., 1993; Jakobek et al., 2007).

As proantocianidinas (Figura 11) ou taninos condensados são oligômeros ou polímeros das catequinas e epicatequinas que estão ligadas entre si nos carbonos C₄-C₈ (denominado ligação tipo β) e possuem peso molecular entre 500 - 2.800 Da (Naczki; Shahidi, 2004). Nos alimentos, são responsáveis pelo sabor adstringente, sendo as procianidinas, prodelfinidinas e propelargonidinas as substâncias mais encontradas (Pereira; Angelis-Pereira, 2014).

Os taninos hidrolisáveis apresentam uma molécula de açúcar ligada ao ácido gálico ou ao ácido elágico, denominado tanino gálico ou tanino elágico, respectivamente. Na natureza, são encontrados na forma de ésteres múltiplos com açúcares, principalmente a D-glucose formando estruturas complexas. Nos alimentos, desempenham papel importante nas características sensoriais relacionadas ao sabor característico de adstringência e estão presentes nas partes não comestíveis das plantas como ramos e raízes (Gonçalves, 2007).

Figura 11 – Estrutura química das proantocianidinas



Fonte: Pereira; Angelis-Pereira (2014)

EXTRAÇÃO DOS COMPOSTOS FENÓLICOS

A extração de compostos fenólicos constitui uma importante etapa para o estudo e obtenção de produtos nutracêuticos e funcionais. É a primeira etapa utilizada na identificação e/ou quantificação dos compostos químicos a partir das diversas partes da planta, incluindo as folhas, frutas, sementes e flores (Cong-Cong et al., 2017) e consiste em uma operação unitária de separação de um ou mais constituintes de uma mistura através do contato com uma fase líquida ou gasosa. A aplicação de uma tecnologia

extrativa de baixo custo pode ser uma estratégia racional para obtenção destes compostos (Rice-Evans; Miller; Paganga, 1997).

Antes da extração, o material vegetal é normalmente seco, liofilizado ou congelado, seguido de peneiramento ou moagem para aumentar a superfície de contato com o extrator e inativação das enzimas lipoxigenases (Azizah; Ruslawatti; Tee, 1999; Gámez-Meza et al., 1999; Juntachote; Berghofer, 2005). A extração empregando solventes orgânicos, ultrassom, micro-ondas, fluido supercrítico ou alta pressão hidrostática são os métodos comumente usados para obtenção dos compostos bioativos de espécies vegetais. No entanto, para a escolha do método é necessário considerar alguns fatores, tais como: a natureza do vegetal, o solvente empregado na extração, o tamanho das partículas, o tempo e a temperatura. Estes métodos se diferem entre si conforme o tipo solvente, temperatura e pressão utilizados (Leal et al., 2003; Rehman; Habibi; Shah, 2004; Cong-Cong et al., 2017).

As técnicas de extração envolvem o uso de solventes não tóxicos ou com baixa toxicidade, como água, etanol ou solventes com características físico-químicas alteradas, como por exemplo, fluidos supercríticos. Atualmente, do ponto de vista da química verde, a extração supercrítica de fluidos (SFE) tem recebido grande destaque (Sonia et al., 2012; Liza et al., 2010). Deste modo, a otimização da extração e os custos deverão ser realizados para determinar sua viabilidade como alternativa eficiente de obtenção dos compostos bioativos (Andreo; Jorge, 2006). Na Tabela 2 é apresentada uma comparação de diferentes métodos de extração de compostos bioativos considerando vantagens, desvantagens e aplicação.

Tabela 2 – Comparação dos diferentes métodos de extração de compostos bioativos, vantagens, desvantagens e aplicação

Método	Vantagens	Desvantagens	Aplicação
Extração com solvente	Operação fácil e simples; ampla adaptabilidade	Uso de grande quantidade de solvente; solventes orgânicos perigosos; longo tempo de extração; baixa eficiência.	Uso geral
Extração em ultrassom	Operação fácil e simples; eficiente; econômica; ampla adaptabilidade	Inadequado para produção industrial	Uso geral
Extração em micro-ondas	Menos solvente e menor tempo de extração; aumenta o conteúdo de antioxidantes extraídos.	Pode ocorrer a degradação e oxidação sob tais condições	Compostos fenólicos termicamente estáveis

Extração com fluido supercrítico	Maior segurança e seletividade; evita a oxidação da amostra na presença do ar.	Inadequado para a extração de compostos fenólicos polares; alto investimento de capital.	Compostos fenólicos não polares
Extração acelerada com solvente	Menor quantidade de solvente; extração mais rápida.	Necessita alta temperatura e pressão	Compostos fenólicos termicamente estáveis
Extração com alta pressão hidrostática	Eficiência; Menor quantidade de solvente e menor tempo de extração.	Necessita de alta pressão e equipamento caro.	Uso geral

Fonte: adaptado de Cong-Cong et al. (2017)

Extração sólido-líquida

A extração sólido-líquida consiste na transferência de massa dos solutos da amostra para o solvente, processo este que pode ser denominado de lixiviação. A eficácia do processo está relacionada às características químicas das moléculas, aos procedimentos de extração, ao tipo de solvente utilizado e as etapas de extração. Esses fatores são importantes para aumentar a obtenção de compostos bioativos com atividades biológicas aprimoradas (Bimbenet; Duquenoy; Trystam, 2002; Jun et al., 2014). Os parâmetros, tais como tipo e polaridade do solvente, tempo de extração, temperatura, pH, razão sólido-líquido, tamanho da partícula e o número de etapas da extração podem influenciar significativamente o processo extrativo, melhorar a eficiência da extração e o rendimento do conteúdo em compostos bioativos (Marinova; Yanishlieva, 1997; Fang et al., 2015a). O tempo de extração pode variar de 1 a 1440 minutos, porém, longos períodos aumentam a possibilidade de oxidação dos compostos. A temperatura pode afetar a estabilidade do composto e a volatilização do solvente. Assim, temperaturas mais brandas como a ambiente são desejáveis no processo (Shahidi; Nacz, 1995; Conde et al., 1998; Ibáñez et al., 1999; Herrero et al., 2005).

A extração com solventes de polaridades diferentes, como o etanol, metanol, água, acetato de etila, hexano ou a misturas de solventes é empregada para obtenção, identificação e isolamento de compostos bioativos em fontes vegetais como frutas, sementes, folhas e especiarias. Estudos são desenvolvidos utilizando diferentes solventes para determinar, através do rendimento por exemplo, a melhor aplicação industrial, considerando a influência da polaridade dos compostos nas propriedades dos extratos (Andreo; Jorge, 2006). O etanol e a água são os solventes orgânicos mais utilizados devido ao custo, abundância e toxicidade. O acetato de etila é utilizado para obtenção de extratos com propriedades antioxidantes com aplicabilidade em alimentos e formulações

medicinais. No entanto, estudos sobre a toxicidade dos resíduos devem ser realizados (Anagnostopoulou et al., 2006; Moure et al., 2001). A extração sólida-líquida apresenta algumas desvantagens como: a necessidade do uso de reagentes orgânicos tóxicos para o ambiente; longo tempo de extração e baixa eficiência. Deste modo, são empregadas técnicas mais avançadas para superar esses problemas (Cong-Cong et al., 2017).

A composição das matrizes vegetais influencia na natureza dos compostos bioativos presentes nos extratos. Assim, em geral, é difícil recomendar a utilização de um solvente adequado para diferentes espécies vegetais (Wijekoon; Bhat; Karim, 2011). Estudos foram desenvolvidos para determinar o melhor solvente orgânico, como água, metanol, acetato de etila e hexano, na obtenção de extratos fenólicos a partir de diferentes partes do hibisco em distintas condições de tempo e temperatura (Sindi et al., 2014; Formagio et al., 2015; Zhen et al., 2016). Cassol et al. (2019) demonstraram que a extração assistida com micro-ondas utilizando solução aquosa acidificada foi eficaz na extração de compostos fenólicos do hibisco, especialmente as antocianinas.

Extração assistida com ultrassom

O processo de extração utilizando ultrassom consiste na produção de ondas sonoras que criam bolhas de cavitação próximo ao tecido da amostra e rompem as paredes celulares dos vegetais, liberando o conteúdo celular (Cheng et al., 2015). Nesse método, o tempo de sonicação, temperatura, frequência da onda ultrassônica, propriedade do solvente e a amostra são fatores que influenciam na extração (Cong-Cong et al., 2017).

Extração com fluido supercrítico

A extração supercrítica consiste na operação unitária em que as mudanças na pressão e temperatura transformam o dióxido de carbono (CO₂) em fluido supercrítico para extrair os compostos bioativos presentes nas matrizes vegetais. Este processo é industrialmente desejável pois não libera resíduos tóxicos de solventes no meio ambiente (Leal et al., 2003; Rehman; Habibi; Shah, 2004).

Esta extração constitui em um método moderno, eficiente e possibilita a obtenção de extratos com alta pureza. No entanto, o uso de alta pressão para tornar o CO₂ um fluido supercrítico requer equipamentos caros que elevam o custo final do produto. A utilização de alguns co-solventes nos processos de extração supercrítica, como o etanol, pode

melhorar o rendimento e a seletividade dos extratos (Pokorny; Korczak, 2001; Herrero, Cifuentes; Ibáñez, 2006).

Os fluidos supercríticos apresentam baixa viscosidade e elevada capacidade de difusão, por isso se difundem mais facilmente no meio sólido que os líquidos, são melhores meios de transporte e favorecem maiores rendimentos de extração. No entanto, no caso do CO₂, a sua baixa polaridade favorece a extração de compostos de maior polaridade encontrados nas espécies vegetais (Raventós; Duarte; Alarcón, 2002). De forma geral, a extração supercrítica tem despertado o interesse das indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas, principalmente para a obtenção de óleos essenciais e óleo-resinas (Zancan et al., 2002).

Extração assistida com micro-ondas

A extração assistida com micro-ondas é uma tecnologia que utiliza a energia das micro-ondas para facilitar a separação dos analitos da amostra para o solvente. É afetada pela potência do micro-ondas, tempo, solubilidade, constante dielétrica e propriedade do solvente. Solventes com elevada constante dielétrica pode absorver mais energia micro-ondas. (Fang et al., 2015b). É empregada para obtenção de compostos bioativos com propriedades antioxidante, tais como taninos e flavonoides totais. Alguns estudos demonstraram que os produtos extraídos por esse método continham compostos bioativos com elevada propriedade antioxidante quando comparados a outros métodos (Fang et al., 2015b; Dahmoune et al.; 2015).

CONCLUSÕES

Esta revisão apresentou as principais classes dos compostos bioativos obtidos em espécies vegetais, em destaque aos compostos fenólicos que são majoritariamente encontrados. Para a obtenção desses compostos a partir das espécies vegetais são aplicados diversos métodos de extração, em destaque a sólido-líquida, mais comumente empregada, e para a extração por fluído supercrítico devido ao potencial industrial. No entanto, para a escolha do método de extração alguns fatores, tipo de solvente, temperatura e tempo deverão ser considerados, pois, influenciam no tipo do composto obtido e no rendimento do processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Universidade do Estado do Amapá (UEAP) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amapá (Processo N°: 250.203.133/2018).

REFERÊNCIAS

ACHILLI, G.; CELLERINO, G.P.; GAMACHE, P.H.; MELZI d'ERIL, G.V. Identification and determination of phenolic constituents in natural beverages and plant extracts by means of a coulometric electrode array system. **Journal of Chromatography A**, v. 632, p. 111-117, 1993.

AHERNE, S.A.; O'BRIEN, N. M. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. **Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 75-81, 2002.

ANAGNOSTOPOULOU, M. A.; KEFALAS, P.; PAPAGEORGIOU V.P.; ASSIMOPOULOU A.N.; BOSKOU, D. Radical scavenging activity of various extracts and fractions of sweet orange peel (*Citrus sinensis*). **Food Chemistry**, v. 94, n. 1, p.19-25, 2006.

ANDREO, D.; JORGE, N. Antioxidantes naturais: técnicas de extração. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 319-336, 2006.

ARNOSO, B.J.M.; COSTA G.F.; SCHMIDT, B. Biodisponibilidade e classificação de compostos fenólicos. **Nutrição Brasil**. v. 18, n. 1, p. 39-38, 2019.

AZIZAH, A.H.; RUSLAWATTI, N.M; TEE, T.S. Extraction and characterization of antioxidant from cocoa by-products. **Food Chemistry**, v. 64, p. 199-202, 1999.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, v. 99, p. 191-203, 2006.

BIMBENET, J.J; DUQUENOY, A; TRYSTAM, G. **Génie des procédés alimentaires: des bases aux applications**. 2. ed. Paris: Dunod, 2002.

BOUDET, A. M. Evolution and current status of research in phenolic compounds. **Phytochemistry**, Saint Paul, v. 68, p. 2722-2735, 2007.

BRAVO, L. Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. **Nutrition Reviews**, v. 56, n. 11, p. 317-333, 1998.

CAROCHO, M.; FERREIRA, I.C.F.R. The role of phenolic compounds in the fight against cancer: a review. **Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents)**, v. 13, n. 8, p. 1236-1258, 2013.

CARTEA, M.E. FRANCISCO, M.; SOENGAS, O.; VELASCO, P. Phenolic compounds in Brassica vegetables. **Molecules**, Basel, v. 16, n. 1, p. 251-280, 2011.

CASSOL, L.; RODRIGUES, E.; PELAYO, C.; NPREÑA, Z. Extracting phenolic compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. calyx using microwave assisted extraction. **Industrial crops & Products**, v. 133, p. 168-177, 2019.

CAVALCANTE, Marília de Almeida. **Estudo do potencial antimicrobiano e antioxidante de espécies vegetais amazônicas**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

CHANG, S.C.; CASSIDY, A.; WILLET, W.C.; RIMM, E.B.; O'REILLY, E.J.; OKEREKE, O.I. Dietary flavonoid intake and risk of incident depression in midlife and older women. **The American Journal of Clinical Nutrition**; v. 104, n. 3, p. 704-14, 2016.

CHENG, X.; ZHANG, M.; XU, B.; ADHIKARI, B.; SUN, J. The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review. **Ultrason Sonochem**, v. 27, p. 576-585, 2015.

CHEYNIER, V. Phenolic compounds: from plants to foods. **Phytochemistry Reviews**, Berlin, v. 11, n. 2/3, p. 153-177, 2012.

CHEYNIER, V. Polyphenols in food are more complex than often thought. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 223-229, 2005.

CIUMĂRNEAN, L.; MILACIU, M. V.; RUNCAN, O.; VESA, S. C.; RĂCHIȘAN, A. L.; NEGREAN, V.; PERNÉ, M. G.; DONCA, V. I.; ALEXESCU, T. G.; PARA, I.; DOGARU, G. The effects of flavonoids in cardiovascular diseases. **Molecules**, v. 25, n. 18, p. 4320, 2020.

CONDE, E.; CADAHIA, E.; GARCIA-VALLEJO, M.C.; SIMÓN, B.E. Polyphenolic composition of *Quercus suber* cork from different spanish provenances. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 3166-3171, 1998.

CONG-CONG, X.; BING, W.; YI-QUIONG, P.; JIAN-SHENG, T.; TONG, Z. Advances in extraction and analysis of phenolic compounds from plant materials. **Chinese Journal of Natural Medicines**, v. 15, p. 721-731, 2017.

CORRÊA, R.C.; BARROS, L.; FERNANDES, Â.; SOKOVIC, M.; BRACHT, A.; PERALTA, R.M.; FERREIRA, I.C. A natural food ingredient based on ergosterol: optimization of the extraction from *Agaricus blazei*, evaluation of bioactive properties and incorporation in yogurts. **Food & Function**, v. 9, p. 1465–1474, 2018.

DAHMOUNE, F.; NAYAK, B.; MOUSSI, K.; REMINI, H.; MADANI, K. Optimization of microwave- assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis* L. leaves. **Food Chemistry**, v. 166, p. 585-595, 2015.

DEL RIO, D.; COSTA, L.G.; LEAN, M.E.J.; CROZIER, A. Polyphenols and health: What compounds are involved? **Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases**, v. 20, p.1-6, 2010.

DO, Q.D.; ANGKAWIJAYA, A.E.; TRAN-NGUYEN, P.L.; HUYNH, L.H.; SOETAREDJO, F.E.; ISMADJI, S.; JU, Y.H. Effect of extraction solvent on total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity of *Limnophila aromatic*. **Journal of Food and Drug Analysis**. v. 22, p. 296–302, 2014.

ESPÍN, J.C.; GARCÍA-CONESA, M.T.; TOMÁS-BARBERÁN, F.A. Nutraceuticals: Facts and fiction. **Phytochemistry**, v. 68, p. 648-656, 2007.

FANG, R.; YAN, F.; WANG, N.; GAO, Y.; HUANG, Y. Extraction and analysis of antioxidant compounds from the residues of *Asparagus officinalis* L. **Journal Food Science Technology**, V. 52, p. 2690-2700, 2015a.

FANG, X.; WANG, J.; HAO, J.; LI, X.; GUO, N. Simultaneous extraction, identification and quantification of phenolic compounds in *Eclipta prostrata* using microwave-assisted extraction combined with HPLC-DAD-ESI-MS/MS. **Food Chemistry**, v. 188, p. 527-536, 2015b.

FARAH, A; DONANGELO, CM. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal Plant Physiological**, v.18(1), p. 23-36, 2006.

FORMAGIO, A.S.; RAMOS, D.D.; VIEIRA, M.C.; RAMALHO, S.R.; SILVA, M.M.; ZÁRATE, N.A.; FOGLIO, M.A.; CARVALHO, J.E. Phenolic compounds of *Hibiscus sabdariffa* and influence of organic residues on its antioxidant and antitumoral properties. **Brazilian Journal of Biology**, v. 75, p. 69-76, 2015.

GÁMEZ-MEZA, N.; NORIEGA-RODRÍGUEZ, J.A.; MEDINA-JUÁREZ, L.A.; ORTEGA-GARCÍA, J.; CÁZAREZ-CASANOVA, O. Antioxidant activity in soybean oil of extracts from Thompson grape bagasse. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v. 76, n. 12, p. 1445-1447, 1999.

GONÇALVES, Rui Miguel Freitas. **Estudo da inibição de tripsina por compostos fenólicos isolados de fontes naturais: efeito antinutricional de bebidas comuns**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia, Ciência e Segurança Alimentar) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2007.

GRIEBEL, G.; PERRAULT, G.; TAN, S.; SCHOEMAKER, H.; SANGER, D.J. Pharmacological studies on synthetic flavonoids: comparison with diazepam. **Neuropharmacology**. v. 38, n. 7, p. 965–977, 1999.

HERRERO, M.; MARTÍN-ÁLVAREZ, J.; SENORÁNS, F. J.; CIFUENTES, A.; IBÁÑEZ, E. Optimization of accelerated solvent extraction of antioxidants from *Spirulina platensis* microalga. **Food Chemistry**, v. 93, n. 3, p. 417-423, 2005.

HERRERO, M.; CIFUENTES, A.; IBANEZ, E. Sub and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: plants, food-by-products, algae and microalgae: a review. **Food Chemistry**, v. 98, n. 1, p. 136-148, 2006.

IBÁÑEZ, E.; OCA, A.; MURGA, G.; LÓPEZ-SEBASTIÁN, S.; TABERA, J.; REGLERO, G. Supercritical fluid extraction and fractionation of different preprocessed

rosemary plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 47, n. 4, p. 1400-1404, 1999.

JAKOBEK, L.; ŠERUGA, M.; NOVAK, I.; MEDVIDOVIĆ-KOSANOVIĆ, M. Flavonols, Phenolic acids and antioxidant activity of some red fruits. **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, Stuttgart, v. 103, n. 8, p. 369-378, 2007.

JUN, H.J.; KIM, B.T.; SONG, G.S.; KIM, Y.S. Structural characterization of phenolic antioxidants from purple perilla (*Perilla frutescens* var. *acuta*) leaves. **Food Chemistry**, p. 367-372, 2014.

JUNTACHOTE, T.; BERGHOFER, E. Antioxidant properties and stability of ethanolic extracts of Holy basil and Galangal. **Food Chemistry**, v. 92, p. 193-202, 2005.

LAPORNIK, B.; PROŠEK, M.; GOLC WONDRA, A. Comparison of extracts prepared from plant by products using different solvents and extraction time. **Journal of Food Engineering**, v. 71, p. 214–222, 2005.

LEAL, P.F.; BRAGA, M.E.; SATO, D.N.; CARVALHO, J.E.; MARQUES, M.O.; MEIRELES, M.A. Functional properties of spices extracts obtained via supercritical fluid extraction. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 9, p.2520-2525, 2003.

LEOPOLDINI, M.; RUSSO, N.; TOSCANO, M. The molecular basis of working mechanism of natural polyphenolic antioxidants. **Food Chemistry**, v. 125, p. 288-306, 2011.

LISKOVA, A.; KOKLESOVA, L.; SAMEC, M.; SMEJKAL, K.; SAMUEL, S. M.; VARGHESE, E.; ABOTALEB, M.; BIRINGER, K.; KUDELA, E.; DANKO, J.; SHAKIBAEI, M.; KWON, T. K.; BÜSSELBERG, D.; KUBATKA, P. Flavonoids in cancer metastasis. **Cancers**, v. 12, n. 6, p. 1498, 2020.

LIZA, M.S.; ABDUL RAHMANA, R.; MANDANA, B.; JINAP, S.; RAHMAT, A.; ZAIDUL, I.S.M.; HAMID, A. Supercritical carbon dioxide extraction of bioactive flavonoid from *Strobilanthe scrispus* (PecahKaca). **Food and Bioproducts Processing**, v. 8, p. 319-326 2010.

MANACH, C.; SCALBERT, A.; MORAND, C.; RÉMÉSY, C.; JIMÉNEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 79, n. 5, p. 727-747, 2004.

MANDAL, S.M.; CHAKRABORTY, D.; DEY, S. Phenolic acids act as signaling molecules in plantmicrobe symbioses. **Plant Signaling & Behavior**. v. 5. p. 359-368, 2010.

MANAVI, S. P.; AMIRI, T.; MOZAFARYAN, M. J. Role of Flavonoids in Diabetes. **Journal of Reviews in Medical Sciences**, v. 1, n. 3, p. 149-161, 2021.

- MARINOVA, E.M.; YANISHLIEVA, N.V.I. Antioxidant activity of extracts from selected species of the family Lamiaceae in sunflower oil. **Food Chemistry**, v. 58, p. 245-248, 1997.
- MOURE, A.; FRANCO, D.; DOMINGUES, J.M.; SINEIRO, J.; DOMINGUES, H.; NÚÑEZ, M.J.; PARAJÓ, J.C. Natural antioxidants from residual sources. **Food Chemistry**, v. 72, p.145-171, 2001.
- NACZK, M.; SHAHIDI, F. Extraction and analysis of phenolics in food. **Journal of Chromatography**, v. 1054, p. 95-111, 2004.
- NARAYANA, K. R.; SRIPAL REDDY, M.; CHALUVADI, M. R.; KRISHA, D. R. Bioflavonoids classification, pharmacological, biochemical effects and therapeutic potential. **Indian Journal of Pharmacology**, v. 33, p. 2-16, 2001.
- NEFFATI, N.; ALOUI, Z.; KAROUI, H.; GUIZANI, I.; BOUSSAID, M.; ZAOUALI, Y. Phytochemical composition and antioxidant activity of medicinal plants collected from the Tunisian flora. **Natural Product Research**, v. 23, p. 1-6, 2017.
- NIJVELDT, R.J.; VAN NOOD, E.; VAN HOORN, D.E.; BOELENS, P.G.; VAN NORREN, K.; VAN LEEUWEN, P.A. Flavonoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 74, n. 4, p. 418-425, 2001.
- OZDAL, T.; SELA, D.A.; XIAO, J.; BOYACIOGLU, D.; CHEN, F.; CAPANOGLU, E. The Reciprocal interactions between polyphenols and gut microbiota and effects on bioaccessibility. **Nutrients**, v. 8, p. 78, 2016.
- PAIXÃO, N.; PERESTRELO, R.; MARQUES, J. C.; CÂMARA, J. S.; Relationship between antioxidant capacity and total phenolic content of red, rose´ and white wines. **Food Chemistry**, v. 105, p. 204-214, 2007.
- PENNY, M.K.; HECKER, M.S.; BANANOME, M.D.; STACIE, M.M.; COVAL, M.S. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **The American Journal of Medicine**, v. 113, 2002.
- PEREIRA, R.C.; ANGELIS-PEREIRA, M.C. **Compostos fenólicos na saúde humana: do alimento ao organismo**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2014.
- POKORNY, J.; KORCZAK, J. Preparation of Natural antioxidants. In: POKORNY, J.; YANISHLIEVA, N.; GORDON, M. **Antioxidants in food: practical applications**. New York: CRC Press, 2001. p. 311-330.
- RAVENTÓS, M.; DUARTE, S.; ALARCÓN, R. Application and possibilities of supercritical CO₂ extraction in food processing industry: an overview. **Food Science and Technology International**, v. 8, n. 5, p. 269-284, 2002.
- REHMAN, Z.; HABIB, F.; SHAH, W. H. Utilization of potato peels extract as a natural antioxidant in soy bean oil. **Food Chemistry**, v. 85, n. 2, p. 215-220, 2004.

RICE-EVANS, C. A.; MILLER, N. J.; PAGANGA, G. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 20, n. 7, p. 933-956, 1996.

RICE-EVANS, C.A.; MILLER, N.J.; PAGANGA, G. Antioxidant properties of phenolic compounds. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 152-159, 1997.

ROSS, J.A.; KASUM, C.M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects and safety. **Annual Review of Nutrition**, v. 22, p. 19-34, 2002.

SEGURA-CARRETERO, A.; PUERTAS-MEJIA, M.A.; CORTACERO-RAMÍREZ, S.; BELTRÁN, R.; ALONSO-VILLAVARDE, C.; JOVEN, J.; DINELLI, G.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. Selective extraction, separation, and identification of anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa* L. using solid phase extraction-capillary electrophoresis-mass spectrometry (time-of-flight/ion trap). **Electrophoresis**, v. 29, p. 2852-2862, 2008.

SELMA, M.V.; ESPIN, J.C.; TOMAS-BARBERA, N.F.A. Interaction between Phenolics and Gut microbiota: Role in human health. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, p. 6485-6501, 2009.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. **Food phenolics: sources, chemistry, effects, and applications**. 1. ed. Lancaster: Technomic Publishing Co., 1995.

SINDI, H.A.; MARSHAL, L.J.; MORGAN, M.R.A. Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of *Hibiscus sabdariffa*. **Food Chemistry**, v. 164, p. 23-29, 2014.

SOARES, S.E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOBRATTEE, M. A.; Neergheen, V. S.; Luximon-Ramma, A.; O.I. Aruoma; Bahorun, T. Phenolics as potential antioxidant therapeutic agents: mechanism and actions. **Mutation Research/Fundamental and Molecular mechanisms of mutagenesis**, v. 579, n. 1-2, p. 200-213, 2005.

SONIA, A.O.; SANTOS, S.A.O.; SILVA, C.A.; NETO, C.P.; SILVESTRE, A.J.D.; Supercritical fluid extraction of phenolic compound from *Eucalyptus globulus* Labillard. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 71, p. 71-79, 2012.

TAYEL, A.A.; SHABAN, S.M.; MOUSSA, S.H.; ELGUINDY, N.M.; DIAB, A.M.; MAZROU, K.E.; GHANEM, R.A.; EL-SABBAGH, S.M. Bioactivity and application of plant seeds' extracts to fight resistant strains of *Staphylococcus aureus*. **Annals of Agricultural Science**, v. 63, p. 47-53, 2018.

TSAO, R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. **Nutrients**, v. 2, n. 12, p.1231-46, 2010.

WIJEKOON, M.M.J.O.; BHAT, R; KARIM, A.A. Effect of extraction solvents on the phenolic compounds and antioxidant activities of bunga kantan (*Etlingera elatior* Jack.) inflorescence. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 24, p. 615–619, 2011.

YAKOUB, A.R.B.; ABDEHEDI, O.; JRIDI, M.; ELFALLEH, W.; NASRI, M. Flavonoids, phenols, antioxidant, and antimicrobial activities in various extracts from Tossa jute leave (*Corchorus olitorus* L.). **Industrial Crops & Products**, v. 118, p. 206-213, 2018.

ZANCAN, K.C.; MARQUES, M.O.M.; PETENATE, A.J.; MEIRELES, M.A.A. Extraction of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) oleoresin with CO₂ and co-solvents: a study of the antioxidant action of the extracts. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 24, n. 1, p. 57-76, 2002.

ZHEN, J.; VILLANI, T.S.; GUO, Y.; QY, Y.; CHIN, K.; PAN, M. H.; HO, C.T.; SIMON, J.E.; WU, Q. Phytochemistry, antioxidant capacity, total phenolic content and anti-inflammatory activity of *Hibiscus sabdariffa* leaves. **Food Chemistry**, v. 190, p. 673-680, 2016.