

TÓPICOS EM CIÊNCIA DOS ALIMENTOS

VOLUME II

**WESCLEN VILAR
NOGUEIRA**
ORG.



2021

Wesclen Vilar Nogueira
Organizador

TÓPICOS EM CIÊNCIA
DOS ALIMENTOS
VOLUME II



Pantanal Editora

2021

Copyright© Pantanal Editora
Copyright do Texto© 2021 Os Autores
Copyright da Edição© 2021 Pantanal Editora
Editor Chefe: Prof. Dr. Alan Mario Zuffo
Editores Executivos: Prof. Dr. Jorge González Aguilera
Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora

Edição de Arte: A editora. Imagens de capa e contra-capas: Canva.com

Revisão: O(s) autor(es), organizador(es) e a editora

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – OAB/PB
- Profa. Msc. Adriana Flávia Neu – Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
- Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – IF SUDESTE MG
- Profa. Msc. Aris Verdecia Peña – Facultad de Medicina (Cuba)
- Profa. Arisleidis Chapman Verdecia – ISCM (Cuba)
- Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – UFESSPA
- Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo - UEA
- Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu – UNEMAT
- Prof. Dr. Carlos Nick – UFV
- Prof. Dr. Claudio Silveira Maia – AJES
- Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – UFGD
- Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva – UEMS
- Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos – IFPA
- Prof. Msc. David Chacon Alvarez – UNICENTRO
- Prof. Dr. Denis Silva Nogueira – IFMT
- Profa. Dra. Denise Silva Nogueira – UFMG
- Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão – URCA
- Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves – ISEPAM-FAETEC
- Prof. Me. Ernane Rosa Martins – IFG
- Prof. Dr. Fábio Steiner – UEMS
- Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza – UFF
- Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez (Colômbia)
- Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles – UNAM (Peru)
- Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira – IFRR
- Prof. Msc. Javier Revilla Armesto – UCG (México)
- Prof. Msc. João Camilo Sevilla – Mun. Rio de Janeiro
- Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales – UNMSM (Peru)
- Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski – UFMT
- Prof. Msc. Lucas R. Oliveira – Mun. de Chap. do Sul
- Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela – IFPR
- Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez – Tec-NM (México)
- Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan – Consultório em Santa Maria
- Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann – UFJF
- Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior – UEG
- Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos – FAQ
- Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla – UNAM (Peru)
- Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira – SEDUC/PA
- Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira – IFPA
- Profa. Dra. Patrícia Maurer
- Profa. Msc. Queila Pahim da Silva – IFB
- Prof. Dr. Rafael Chapman Auty – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke – UFMS
- Prof. Dr. Raphael Reis da Silva – UFPI
- Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo – UEMA
- Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca – UFPI
- Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira – FURG
- Profa. Dra. Yilan Fung Boix – UO (Cuba)
- Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
T673	Tópicos em ciência dos alimentos [livro eletrônico] : volume II / Organizador Wesclen Vilar Nogueira. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2021. 81p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web ISBN 978-65-88319-69-7 DOI https://doi.org/10.46420/9786588319697 1. Alimentos – Análise. 2. Tecnologia de alimentos. I. Nogueira, Wesclen Vilar. CDD 664.07
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

O conteúdo dos e-books e capítulos, seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do(s) autor (es) e não representam necessariamente a opinião da Pantanal Editora. Os e-books e/ou capítulos foram previamente submetidos à avaliação pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação. O download e o compartilhamento das obras são permitidos desde que sejam citadas devidamente, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais, exceto se houver autorização por escrito dos autores de cada capítulo ou e-book com a anuência dos editores da Pantanal Editora.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000. Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

APRESENTAÇÃO

A economia mundial provoca com frequência grandes mudanças nos setores produtivos de alimentos. Desta forma, desafios diários são impostos para que o processamento de alimentos contemple as exigências dos consumidores e legislação vigente. Assim, conhecer alguns pontos que podem interferir ou contribuir para a produção de alimentos é de extrema importância.

Neste sentido, o segundo volume do e-book *Tópicos em Ciência dos Alimentos* aborda pontos importantes para produção de alimentos como: ocorrência de contaminantes em bebidas, determinação de metabólitos secundários de plantas e bioacessibilidade de compostos. Além disso, relata algumas alternativas que contribuem para o aumento da produção de alimentos (e.g. aditivos e melhoramento genético).

O conteúdo abordado demonstra a multidisciplinaridade da área de Ciência dos Alimentos sobre diferentes aspectos e realidades, de modo a suprir a escassez de material na literatura sobre os assuntos muitas vezes desconhecidos. Além disso, contribui para o acesso ao conhecimento em uma linguagem contextualizada e de fácil compreensão aos leitores. Assim, espero que os temas sejam de grande proveito e ofereçam subsídios teórico-metodológicos para profissionais da área de Ciência dos Alimentos e áreas afins.

O organizador


SUMÁRIO

Apresentação	4
Capítulo I	6
Micotoxinas em cervejas: ocorrência e risco de exposição para população brasileira	6
Capítulo II	20
Determinação de compostos fenólicos em frutas e tendências na avaliação dos seus teores bioacessíveis: Uma revisão	20
Capítulo III	41
A importância do melhoramento genético de tilápia na produção de alimentos	41
Capítulo IV	55
A dinâmica do resíduo de ractopamina na produção de suínos: farinha de carne e ossos, tecidos e urina	55
Capítulo V	71
Mitigação de contaminantes em alimentos	71
Índice Remissivo	81


Determinação de compostos fenólicos em frutas e tendências na avaliação dos seus teores bioacessíveis: Uma revisão

Recebido em: 07/05/2021

Aceito em: 11/05/2021

 10.46420/9786588319697cap2

Priscila Tessmer Scaglioni^{1,2,3*} 

Nádia Carbonera³ 

INTRODUÇÃO

No *ranking* mundial de produção de frutas, o Brasil encontra-se na terceira colocação, perdendo apenas para China e Índia. Dados de 2019 apontam que a fruticultura abrange em torno de 3 milhões de hectares no Brasil, gerando pelo menos 6 milhões de empregos diretos. O país foca a sua produção no mercado interno, exportando apenas cerca de 3% da produção. A produção anual fica em torno de 37 milhões de toneladas. Considerando a vasta extensão territorial do país, há uma grande diversidade na produção de frutas do Brasil, já que as lavouras estão espalhadas por todas as regiões do país (ABRAFRUTAS, 2019). Além disso, a crescente procura da população por um estilo de vida saudável e uma dieta balanceada, aliada a qualidade das frutas brasileiras, vem impulsionando o setor.

Uma alimentação variada é importante para garantir o suprimento dos diversos constituintes dos alimentos, e neste contexto, frutas e hortaliças apresentam características atrativas por serem boas fontes de energia, e ainda apresentarem-se como fonte de diversos compostos minoritários na dieta, como vitaminas, fibras, minerais e compostos antioxidantes, como os compostos fenólicos (Yahia et al., 1992).

Os compostos fenólicos compõem uma classe de moléculas, oriundas do metabolismo secundário de plantas, que apresentam diversas ações benéficas para os vegetais e para os indivíduos que os consomem, tais como, comprovada atividade antioxidante, antifúngica, antimicotoxigênica, anti-inflamatória e anticarcinogênica (Giada, 2013; Scaglioni et al., 2018, 2019). Dentre os alimentos fontes de compostos fenólicos, as frutas apresentam destaque quanto a concentração total destes metabólitos, principalmente uva, pêssego, mirtilo, pitanga, maçã, laranja, amora-preta, morango e cereja (Araújo, 2019; Feitosa, 2017).

¹ Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Bioprospecção, Universidade Federal de Pelotas, 96160-000, Capão do Leão, RS, Brasil.

² Centro de Ciências da Natureza, Universidade Federal de São Carlos - Campus Lagoa do Sino, 18290000, Buri, SP, Brasil.

³ Centro de Ciências Químicas, Farmacêuticas e de Alimentos, Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, Tecnologia de Frutas e Hortaliças, Universidade Federal de Pelotas, 96160-000, Capão do Leão, RS, Brasil.

* Autora correspondente: priscilascaglioni@gmail.com

Apesar de inúmeros estudos determinarem a concentração de compostos fenólicos presentes em frutas, esta concentração pode não refletir a fração bioacessível destes compostos ao organismo humano após a ingestão de tal alimento. Isso se deve ao fato de que fatores como a estrutura química, métodos de transformação, aditivos alimentares, drogas coadministradas, frequência de administração, bem como gênero e perfil genético individual, podem influenciar a fração bioacessível dos compostos fenólicos, bem como sua bioatividade (Feitosa, 2017). Como definição, tem-se que a fração bioacessível é aquela fração do composto liberada da matriz no trato gastrointestinal, enquanto que a fração biodisponível é posteriormente absorvida durante a digestão, podendo gerar moléculas metabolicamente ativas (Versantvoort et al., 2004), ou seja, os compostos serão capazes de exercer sua bioatividade, que se refere à propriedade inerente a alguns compostos de participarem em reações bioquímicas específicas (Feitosa, 2017). Embora a biodisponibilidade oral de antioxidantes naturais, tais como os polifenóis, seja relativamente baixa, há evidências de que eles mantenham sua atividade biológica mesmo em baixas concentrações biodisponíveis (Velderrain-Rodríguez et al., 2017), além disso, essa baixa biodisponibilidade pode também ser melhorada/ampliada por intermédio de modificações químicas e/ou estratégias biotecnológicas.

Além dos conhecidos benefícios dos compostos fenólicos para a saúde, relacionados à sua capacidade de modificar fatores subjacentes do metabolismo, como o estresse oxidativo e inflamatório (Giada, 2013), recentemente o potencial dos compostos fenólicos de exercerem efeitos semelhantes aos prebióticos também tem sido estudado, fato que destaca a interação entre os polifenóis da dieta e a microbiota intestinal e sugere que esses compostos podem fornecer diversos efeitos bioativos e/ou promover uma microbiota intestinal funcional (Tomás-Barberán et al., 2016). Neste contexto, estudos sobre a bioacessibilidade de compostos fenólicos auxiliam a compreender as implicações fisiológicas destes compostos, que pode depender da forma e da quantidade consumida, e da sua transformação através do processamento de alimentos, onde o potencial para interações entre os compostos fenólicos e outros constituintes podem afetar a estabilidade e os perfis biodisponíveis finais (Debelo et al., 2020).

Este capítulo aborda aspectos fundamentais quanto as características gerais dos compostos fenólicos e define diversos conceitos no contexto da ciência de alimentos, tendo como objetivo compilar informações presentes na literatura sobre a concentração destes compostos presente inicialmente em frutas, bem como quanto a concentração que está bioacessível ao organismo humano a partir do consumo destas matrizes. Existem centenas de artigos que relacionam estes aspectos e que foram publicados em periódicos internacionais nos últimos anos, entretanto, a fim de discutir as principais tendências atuais, esta revisão considerou manuscritos de elevado impacto publicados durante o ano de 2020.

COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são substâncias aromáticas hidroxiladas, com grande diversidade estrutural, variando de uma simples molécula a polímeros, todos altamente instáveis e rapidamente transformados em diversos produtos oriundos de reações observadas quando as células vegetais são danificadas, por exemplo, durante o processamento (Araújo, 2019). É notável em muitos estudos de propriedades antioxidantes que a responsabilidade satisfatória de extratos e frações ocorra em função da presença e quantidade de compostos fenólicos tendo em vista que os grupos hidroxilas ligados ao anel aromático são suscetíveis de sofrer homólise da ligação O-H, formando um radical aromático estabilizado por ressonância e liberando um H· (radicalar) capaz de reduzir radicais livres (Rad·) e prevenir os processos de oxidação (Figura 1) (Feitosa, 2017). Desta forma, embora não sejam considerados nutrientes essenciais, a ingestão regular de alimentos e bebidas ricos em compostos fenólicos tem sido amplamente recomendada, tendo em vista a associação positiva destes compostos com a redução de doenças degenerativas (Giada, 2013).

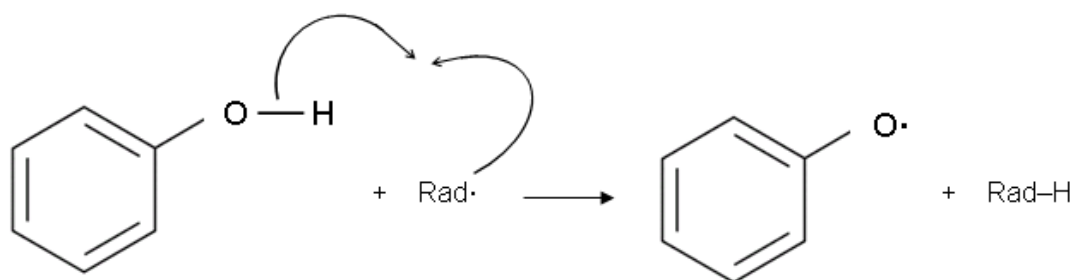


Figura 1. Sequestro de radicais por fenol. Fonte: Feitosa (2017).

Os compostos fenólicos resultam do metabolismo secundário das plantas, ou seja, não participam diretamente do crescimento e desenvolvimento do vegetal. As suas principais funções estão envolvidas no mecanismo de crescimento vegetal, pigmentação, como agente antimicrobiano, remoção de radicais livres formados durante a fotossíntese, absorção de luz e atração de polinizadores (Soto-Hernández, 2019).

Mais de oito mil tipos de compostos fenólicos são conhecidos, o que torna a distinção entre as moléculas uma tarefa difícil, contudo, a classificação dos compostos fenólicos em classes e subclasses facilita este entendimento (Figura 2).

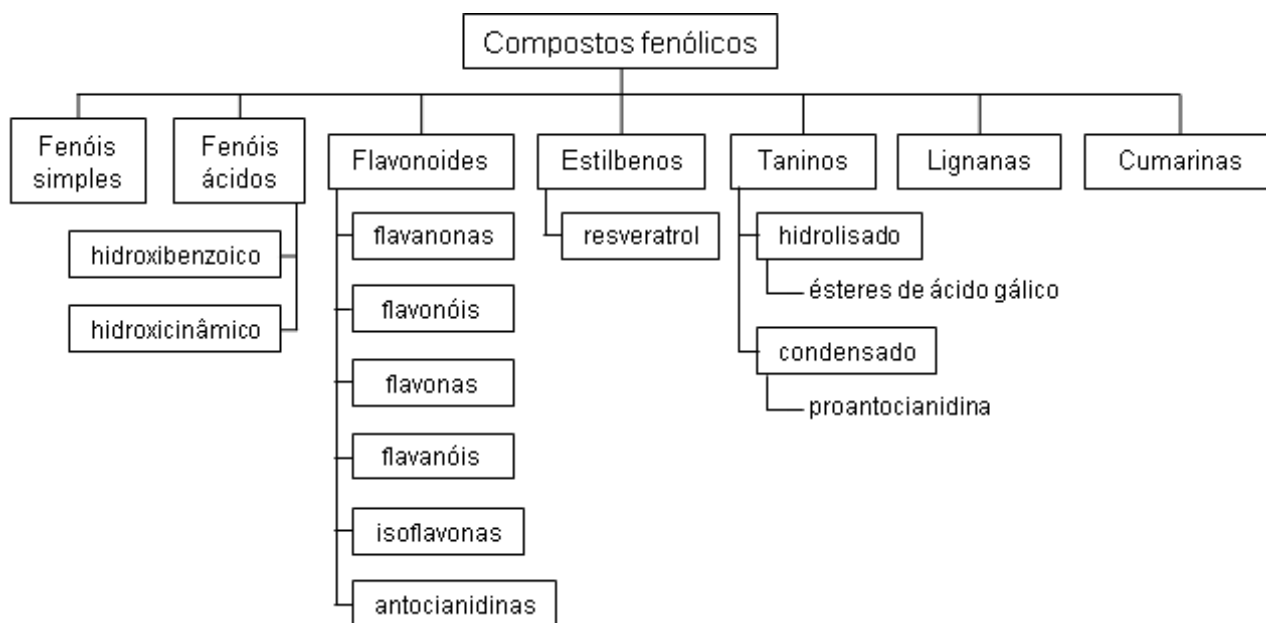


Figura 2. Classes e subclasses dos compostos fenólicos. Fonte: Araújo (2019).

Geralmente os compostos fenólicos são encontrados conjugados com açúcares e ácidos orgânicos, sendo classificados principalmente em: flavonoides e não flavonoides. Todos os flavonoides possuem estrutura básica contendo dois anéis benzeno ligados ao anel heterocíclico pirano. Em contraste, os não flavonoides incluem grupos de compostos mais heterogêneos, encontrados em grande quantidade e em diversas formas químicas, incluindo os fenóis simples, fenóis ácidos, cumarinas, estilbenos, lignanas e taninos (Giada, 2013). Os compostos fenólicos mais comuns de ocorrência em alimentos são os flavonoides e os fenóis ácidos (Araújo, 2019).

Compostos fenólicos em frutas

As frutas, juntamente com hortaliças, café, chá e vinho tinto, constituem as principais fontes de compostos fenólicos na dieta humana. Alguns fenóis, como a quercetina, podem ser encontrados em todos os tipos de produtos oriundos de vegetais, enquanto outros são específicos para certos tipos de alimentos, como as flavanonas em frutas cítricas e a floridizina em maçã (Araújo, 2019; Bílková et al., 2020). Fatores ambientais (tipo de solo, exposição ao sol e frequência de chuva) ou práticas agrônômicas (cultivo em estufas, cultivo hidropônico, número de frutas/árvores, etc.) são os principais fatores na concentração de substâncias fenólicas nos alimentos. Em geral, a concentração de fenóis ácidos diminui durante o amadurecimento, enquanto que as antocianinas aumentam (Soto-Hernández, 2019).

A presença de compostos fenólicos em frutas traz diversos benefícios para quem consome habitualmente estas matérias-primas alimentares, tendo em vista que a bioatividade comprovada destes compostos sugere que alimentos que os contenham possam ser classificados como “funcionais”. Segundo

a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), tem-se por definição que alimentos funcionais são aqueles que produzem efeitos metabólicos ou fisiológicos através da atuação de um nutriente ou não nutriente no crescimento, desenvolvimento, manutenção e em outras funções normais do organismo humano (ANVISA, 1999).

Além disso, os compostos fenólicos em frutas contribuem com a cor e sabor, e o teor destes compostos pode variar em uma ampla faixa. De forma geral, o ácido cafeico, tanto na forma livre ou esterificado, é o composto fenólico mais abundante, representando entre 75 e 100% do teor total de ácido hidrocínâmico em frutas, este fenol ácido pode ser encontrado em todas as partes das frutas, embora a concentração mais elevada esteja presente na parte externa (Araújo, 2019). Demais derivados do ácido hidrocínâmico, como os ácidos p-cumárico, ferúlico e sináptico, são frequentemente encontrados na forma de ésteres com o ácido quínico em frutas como damasco, ameixa e cereja (Bílková et al., 2020; Schmidt et al., 2020; Wani et al., 2020). Os flavonóis glicosídicos também estão vastamente presentes em frutas, contudo se acumulam nas folhas e na casca, em razão de sua biossíntese ser estimulada pela luz (Soto-Hernández, 2019). A casca de frutas cítricas possui elevada quantidade de flavonas polimetoxiladas, enquanto que as frutas cítricas apresentam elevada concentração de flavanonas (hesperidina e naringenina), o que as confere sabor amargo (Alam et al., 2014).

A fim de exemplificação, a Tabela 1 apresenta alguns dos principais resultados de estudos que determinaram diferentes compostos fenólicos em diversas frutas, através destes resultados, nota-se a variedade de composição de fenóis que pode ser encontrada em frutas, tanto em relação às concentrações destes compostos, quanto à identificação das moléculas. É importante destacar que a utilização de instrumentação analítica sofisticada auxilia na detecção e identificação de diversas estruturas químicas e também garante a maior confiabilidade e exatidão dos resultados. Além disso, existe uma tendência à procura de novas fontes de compostos fenólicos, neste sentido, pesquisas utilizando frutas regionais ou de consumo ainda não estabelecido pela população, têm se tornado assunto de interesse na área de ciência e tecnologia de alimentos. Por exemplo, a baga do espinheiro, que apresenta composição de fenólicos solúveis e insolúveis-ligados que pode contribuir para a formulação de suplementos dietéticos, entretanto, a forma de consumo da fruta influencia na disponibilização dos compostos, enquanto os fenólicos solúveis podem ser adquiridos quando se ingere chá ou suco natural da fruta, os insolúveis-ligados podem ser obtidos quando se consome as frutas frescas ou algum produto derivado que utiliza a polpa (Lou et al., 2020).

Tabela 1. Concentração de compostos fenólicos em frutas. Fonte: dados coletados pelos autores.

Fruta	Composto Fenólico	Concentração (mg kg ⁻¹)	Método analítico	Referência
Damasco	Ácido clorogênico	36,1 ± 0,33 a 42,6 ± 0,14	Cromatografia líquida de alta eficiência com detector ultravioleta (CLAE-UV)	Wani et al. (2020)
	Ácido neoclorogênico	27,8 ± 0,43 a 32,1 ± 0,23		
	Catequina	16,4 ± 0,34 a 20,1 ± 0,11		
	Kaempferol	14,6 ± 0,36 a 17,6 ± 0,16		
	Quercetina	14,2 ± 0,29 a 19,5 ± 0,67		
	Procianidina B2	28,1 ± 0,40 a 32,7 ± 0,46		
Framboesa	Antocianinas	1730 ± 30	Cromatografia líquida de ultra alta eficiência com detector de arranjo de diodos e espectrômetro de massas (CLUAE-DAD-EM)	Piechowiak et al. (2020)
	Elagitaninos	16920 ± 220		
	Flavonóis	900 ± 40		
	Proantocianidinas	440 ± 10		
Bagas de espinheiro (<i>Crataegus pinnatifida</i>)	Fenóis ácidos	36,97 ± 2,81 a 281,94 ± 4,73	CLAE acoplada a espectrometria de massas sequencial por fonte de ionização por <i>electrospray</i> (CLAE-ESI-EM/EM)	Lou et al. (2020)
	Flavonoides	8,94 ± 0,38 a 422,08 ± 4,47		
	Procianidinas	1,03 ± 0,02 a 243,51 ± 6,58		
Polpa de açaí	Fenóis totais	858 ± 9 a 921 ± 7	Espectrofotometria	Rossetto et al. (2020)
	Flavonoides	280 ± 5 a 317 ± 6		
Morango	Fenóis totais	11500 ± 800 a 16100 ± 1570	Espectrofotometria e reações colorimétricas (proposição de método)	Azeem et al. (2020)
Romã		10400 ± 200 a 13100 ± 100		
Ameixa vermelha		3800 ± 180 a 4200 ± 200		
Uva vermelha		2600 ± 250 a 3100 ± 100		
Uva preta		1600 ± 100 a 3000 ± 160		
Kiwi		2800 ± 110 a 3600 ± 270		
Framboesa		18200 ± 550 a 19700 ± 1490		
Laranja		770 ± 40 a 1000 ± 70		
Goiaba		1960 ± 60 a 2040 ± 100		
Maçã vermelha		2300 ± 90 a 2600 ± 240		
Pêra		920 ± 50 a 1000 ± 600		
Toranja		1270 ± 110 a 1620 ± 130		
Feijoa - <i>Acca sellowiana</i> (O. Berg) Burret	Fenóis totais	4182,31 a 11447,71		
	Ác. hidroxibenzoico total	1594,4 a 5398,61		
	Flavonol total	270,48 a 546,26		
	Ác. hidroxicinâmico total	456,79 a 1346,27		
	Fenóis totais	10177,40 a 13486,24		

Cereja-do-Rio-Grande - <i>Eugenia involucrata</i> DC.	Antocianinas totais	6710,82 a 8789,32		
	Flavonol total	573,81 a 1011,51		
	Ác. hidroxicinâmico total	107,33 a 218,06		
Maçãs	Ácido clorogênico	1,4 ± 0,3 a 99,6 ± 3,0	CLAE-UV	Bílková et al. (2020)
	Epicatequina	0,8 ± 0,2 a 21,3 ± 3,2		
	Rutina	0,5 ± 0,1 a 16,8 ± 1,2		
	Quercetina	2,2 ± 0,3 a 24,0 ± 3,1		
	Florizina	0,7 ± 0,1 a 13,6 ± 0,4		
Mirtilo	Fenóis totais	1120 ± 20	Espectrofotometria	Martín-Gómez et al. (2020)
	Antocianinas totais	27,4 ± 0,32		
Araçá amarelo	Fenóis totais	2345,4 ± 63,2	LC-DAD-ESI-EM/EM	Mallmann et al. (2020)
Araçá vermelho		2488,7 ± 80,2		

Ainda sobre estudos envolvendo fontes pouco conhecidas de compostos fenólicos, pesquisadores avaliaram as frutas denominadas feijoa e cereja-do-Rio-Grande, e estas foram consideradas pelos autores como sendo excelentes fontes de compostos fenólicos com atividade antioxidante contra os radicais •OH, •ROO⁻ e ABTS. Os autores mencionam que a compreensão da composição bioativa das frutas nativas pode estimular sua maior aceitabilidade e utilização como recurso de compostos com atividade antioxidante, bem como estimular o consumo ou aplicação destas frutas para fins nutracêuticos, além de contribuir com a conservação da biodiversidade da flora nativa brasileira e melhorar a renda das populações locais (Schmidt et al., 2020).

Quanto aos estudos envolvendo frutas amplamente consumidas pela população, Wani et al. (2020) verificaram a concentração de compostos fenólicos em damascos, encontrando valores que variaram de 14,2 a 42,6 mg kg⁻¹ para os diferentes compostos estudados, os autores relatam que os resultados encontrados são decorrentes de um efeito cumulativo de vários fatores, tendo em vista que o conteúdo fenólico depende da composição genética da planta e também pode sofrer degradação quanto à oxidação, clivagem ou mediada pela enzima polifenol oxidase (PPO). Neste contexto, a secagem fornece condições mais adequadas para reações de degradação, como a disponibilidade de oxigênio e aumento da temperatura, enquanto o congelamento ajuda na manutenção do conteúdo fitoquímico de frutas frescas. Quanto a influência de enzimas na concentração de compostos fenólicos em frutas, Piechowiak et al. (2020), em estudo com framboesa, constataram que a tanino acil hidrolase (TAH) catalisa a hidrólise de ligações éster em taninos hidrolisáveis em ácido gálico e glicose. O ácido gálico formado pode descarboxilar em pirogalol com a participação do descarboxilato de galato (GDC). Por sua vez, o pirogalol e outros polifenóis podem ser oxidados pela PPO em quininas, que não apresentam potencial antioxidante.

Um estudo envolvendo a determinação de compostos fenólicos em diversos cultivares de maçãs armazenadas sob diferentes disponibilidades de oxigênio mostrou que a maioria das variedades armazenadas por curto período (3 meses) sob refrigeração (1,2 – 1,6 °C, 87 – 91% de umidade) ou sob condições ultrabaixas de oxigênio (< 2% O₂ + <1% CO₂ em nitrogênio, 1,5 – 2,0 °C, 99% de umidade) não apresentou diferença estatística no teor de fenólicos. Entretanto o estudo comprovou os benefícios das condições de armazenamento sob condições ultrabaixas de oxigênio para cultivares destinadas a um armazenamento mais longo (7 meses) (Bílková et al., 2020).

O processo de secagem de frutas também pode interferir na quantidade de compostos bioativos presentes na matriz, neste contexto, estudo conduzido por Martín-Gómez et al. (2020) avaliou o efeito da secagem convectiva de mirtilo a 30, 40 e 50 °C na concentração de fenóis e antocianinas. O aumento da temperatura de secagem aumentou os teores de fenólicos totais e de antocianinas. A atividade antioxidante, avaliada pelos métodos DPPH e ABTS, também aumentou com a temperatura de secagem. Segundo os autores, este aumento dos compostos fenólicos e antocianinas pode ser devido ao fato de que uma temperatura mais alta causa uma maior difusão dos componentes presentes na pele para a polpa de mirtilo devido aos danos celulares na pele causados pela alta temperatura. Além disso, pode ocorrer a liberação de compostos fenólicos ligados e a degradação parcial da lignina, levando à liberação de derivados fenólicos. Também é importante destacar a ocorrência do processo de concentração devido à evaporação da água. No estudo mencionado, como o processo de secagem ocorreu em temperatura moderada, as reações de degradação térmica das antocianinas não são muito favorecidas. Por outro lado, as antocianinas também são degradadas enzimaticamente na presença da PPO, essa enzima produz a oxidação dos compostos fenólicos e pode diminuir sua atividade com o aumento da temperatura. Entretanto, existe um equilíbrio entre os mecanismos que aumentam e os que diminuem a concentração de antocianinas, resultando em impactos variáveis.

Trabalhos na interface entre diferentes áreas também avaliam a concentração de compostos fenólicos em frutas, como é o caso de Rossetto et al. (2020), que estudaram a polpa de açaí e, além de verificar que esta apresenta elevado potencial para a obtenção de compostos fenólicos, também foi realizada uma avaliação quanto aos parâmetros de bioadsorção empregando *Saccharomyces cerevisiae* como bioadsorvente de compostos fenólicos, o que resultou em uma levedura residual rica em compostos bioativos (relacionados a atividade antioxidante), os autores sugerem que esta biomassa pode ter aplicações nas indústrias de alimentos, farmacêutica e de rações animais. Neste sentido, verifica-se a importância de se utilizar determinadas matrizes alimentares (tais como as frutas) como subsídio para formulação de novos produtos que contenham elevado conteúdo fenólico.

Novos métodos analíticos para a determinação de compostos fenólicos em frutas também são constantemente propostos na literatura visando melhorar a performance de detecção ou até mesmo

reduzir custos de análise. Neste sentido, Azeem et al. (2020) propuseram um método baseado em reações colorimétricas empregando imagem digital. Os pontos colorimétricos são formados pela reação de aminobenzenos diazotizados (ácido sulfanílico, sulfanilamida ou anilina) com os compostos fenólicos, formando um corante azo. O sistema de captura da imagem pode ser utilizado em telefones celulares ou câmeras digitais. A correlação dos resultados obtidos pelo novo método com os resultados obtidos pelo ensaio de Folin-Ciocalteu foi significativa (coeficiente de Pearson, $R = 0,970-0,991$). Desta forma o método desenvolvido se mostrou rápido, de baixo custo, versátil, robusto, portátil e muito interessante para análises *in situ*. Além disso, os autores também avaliaram a influência da ecologia nas concentrações dos compostos fenólicos totais em diversas frutas, por meio da comparação dos resultados obtidos para uma amostra idêntica provinda de diferentes origens, foi verificado que a produção dos compostos fenólicos é amplamente afetada por fatores ambientais, como temperatura média, precipitação e teor de nutrientes do solo.

As técnicas de determinação de compostos fenólicos também apresentam evolução constante no quesito de instrumentação analítica, equipamentos que utilizam a cromatografia líquida acoplada a diferentes detectores são vastamente empregados a fim de determinar o maior número de compostos no menor tempo possível e ainda garantindo a confiabilidade dos resultados, conforme verificado pelos exemplos da Tabela 1. Neste sentido, Mallmann et al. (2020) utilizaram a técnica de cromatografia líquida com detector de arranjo de diodos acoplada a espectrometria de massa sequencial com fonte de ionização por eletrospray (LC-DAD-ESI-EM/EM) a fim de caracterizar de forma abrangente os compostos fenólicos não extraíveis e extraíveis em genótipos de araquá vermelho e amarelo. Os resultados mostraram um total de 45 e 43 compostos fenólicos na fração não extraível e 51 e 50 compostos na fração extraível do araquá vermelho e amarelo, respectivamente. O ácido gálico e o ácido elágico foram os únicos compostos encontrados em ambas as frações. A fração não extraível representou cerca de 35% (m/m) do conteúdo fenólico total e foi caracterizada por uma abundância de ácidos fenólicos, enquanto a fração extraível mostrou-se rica em flavonoides. Embora a fração não extraível representasse um terço do total de compostos fenólicos encontrados no araquá, sua capacidade antioxidante (contra o radical peroxil) foi 50% maior do que a fração extraível. Os resultados mostraram que o araquá apresenta grande diversidade e concentração relativamente elevada de compostos fenólicos de baixo peso molecular com alta capacidade antioxidante

BIOACESSIBILIDADE E BIODISPONIBILIDADE

A biodisponibilidade está relacionada com a bioacessibilidade do composto de interesse. A biodisponibilidade apresenta muitas interpretações dependendo da área de pesquisa. Nas ciências da saúde humana, como as ciências da nutrição, a biodisponibilidade é definida como a proporção do nutriente ou

composto bioativo digerido e usado ou armazenado para funções fisiológicas (Benito et al., 1998). Em geral, o termo biodisponibilidade inclui absorção, metabolismo, distribuição no corpo e bioatividade (Fernández-García et al., 2009; Schumann et al., 1997). Outra definição aceita na área de ciência de alimentos diz respeito à “biodisponibilidade oral”, definida como a fração da dose externa do composto que atingiu a exposição interna. A dose externa representa a quantidade total do composto ingerido. A exposição é considerada "interna" quando o composto é absorvido no trato gastrointestinal e transportado através do fígado para a circulação sistêmica (Macrae et al., 1993; Versantvoort et al., 2004). De acordo com Versantvoort et al. (2004), a biodisponibilidade oral consiste em três processos apresentados esquematicamente na Figura 3. Primeiro, o composto é mobilizado de sua matriz alimentar para os sucos do trato gastrointestinal – esse processo é denominado bioacessibilidade. Os compostos mobilizados são subsequentemente transportados através do epitélio intestinal para a veia porta. Esta fração passa pelo fígado sem ser metabolizada e atinge a circulação sistêmica. Conseqüentemente, a fração biodisponível (F) é o produto das frações bioacessível (F_B), absorvida (F_A) e metabolizada (F_H).

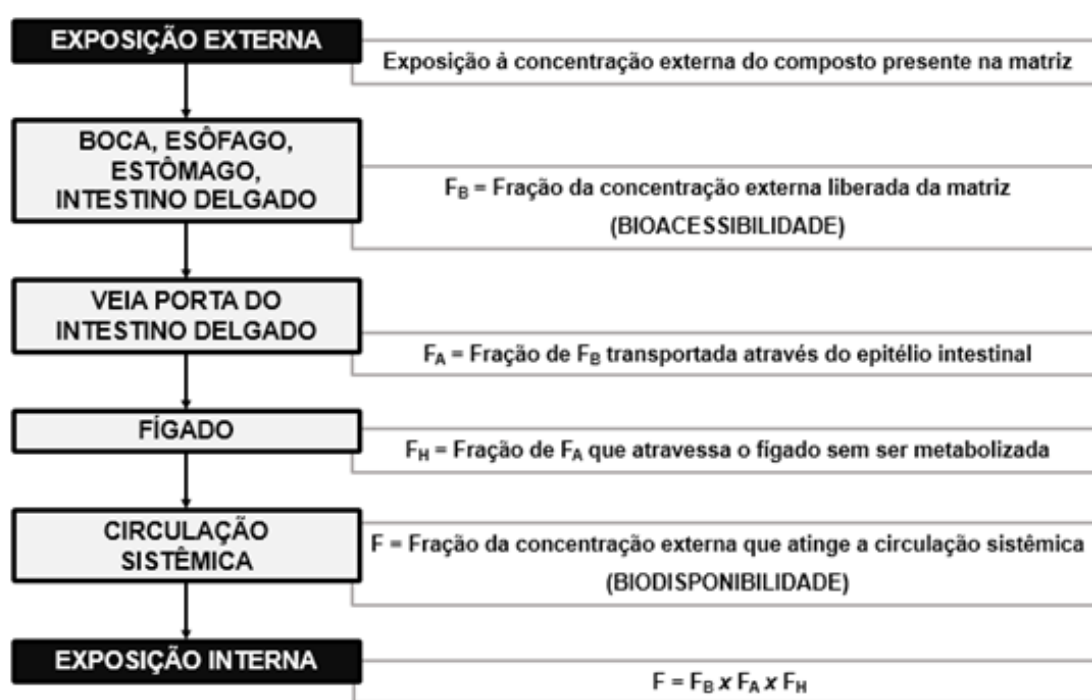


Figura 3. Representação esquemática dos processos que determinam a biodisponibilidade oral. Fonte: Adaptado de Versantvoort et al. (2004).

Após a ingestão de alimentos contendo o composto de interesse, apenas moléculas liberadas da matriz alimentar no intestino delgado através do trato gastrointestinal são consideradas disponíveis para absorção intestinal. A matriz alimentar pode afetar diretamente a concentração do composto na fração liberada no fluido digestivo. Estudos considerando o modelo de digestão *in vitro* mostraram que uma fração

considerável de compostos fenólicos permanece na matriz alimentar durante a digestão (Alminger et al., 2014; Seraglio et al., 2017). Portanto, a matriz alimentar pode diminuir a fração bioacessível, ou seja, $FB < 1$, e conseqüentemente, a exposição interna é reduzida. O transporte através do epitélio intestinal e o metabolismo no fígado dependem predominantemente das propriedades específicas do composto (como peso molecular, lipofilicidade, afinidade pela P450) (Alminger et al., 2014).

Fração bioacessível e biodisponível de compostos fenólicos oriundos de frutas

A literatura científica apresenta vasta quantidade de estudos que determinam a concentração de compostos fenólicos em frutas, entretanto, nos últimos anos, o número de estudos envolvendo a bioacessibilidade ou biodisponibilidade destes compostos tem aumentado significativamente, para isso, diversas estratégias são utilizadas, neste sentido, estudos que versam sobre a bioacessibilidade ou biodisponibilidade de compostos fenólicos presentes em frutas estão brevemente descritos no presente tópico.

Balasoorya et al. (2020) avaliaram a bioacessibilidade de micronutrientes em morangos frescos (MF) e congelados (MC) cultivados em condições ambiente (400 ppm de CO_2 , 25 °C) (CA) e condições elevadas (950 ppm de CO_2 , 30 °C) (CE) com simulação do sistema gastrointestinal em jejum (SGIJ) ou alimentado (SGIA). Os autores verificaram que mais de 65% dos compostos fenólicos detectados foram liberados no fluido digestivo, sendo que o percentual mais alto foi de 98%, referente ao ácido ferúlico em sistema gastrointestinal alimentado a partir de morangos frescos cultivados em condições ambientais. Em geral, as amostras de morango liberaram maiores quantidades de polifenóis quando no estado alimentado comparativamente ao estado em jejum, os autores justificam que este aumento da concentração de sais biliares durante o estado alimentado facilita a solubilidade de compostos bioativos (Van-de-Wiele et al., 2007). As concentrações de polifenóis individuais na fração bioacessível foram significativamente maiores ($p \leq 0,05$) em morangos frescos cultivados em condições de crescimento elevado em comparação com frutas cultivadas em condições ambiente de crescimento. O Pelargonidina-3-glicosídeo apresentou o menor percentual de bioacessibilidade em todos os tratamentos (de 66 a 89%) quando comparado com os outros compostos fenólicos avaliados no estudo (de 70 a 98%). No entanto, os mesmos dados revelaram também que as quantidades de Pelargonidina-3-glicosídeo prontamente disponíveis foram as mais altas (de 55 a 200 $mg\ kg^{-1}$) em comparação com outros polifenóis, tais como Pelargonidina-3-rutinosídeo, p-cumárico, ferúlico, quercitina e p-cumariol (de 1,8 a 25,6 $mg\ kg^{-1}$). Fato que demonstra a importância em se considerar não apenas o percentual bioacessível, mas também a concentração que este percentual representa.

Carvalho et al. (2020) avaliaram o efeito do ultrassom de alta potência (0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 $J\ cm^{-3}$) na bioacessibilidade de compostos bioativos dos sucos de açaí (*Euterpe precatoria*). Foi verificado que a

concentração de antocianinas monoméricas e a atividade antioxidante aumentou com o emprego da maior densidade de potência ultrassônica estudada ($3,6 \text{ J cm}^{-3}$), estes resultados foram confirmados pela estatística multivariada envolvendo a Análise de Componentes Principais (ACP). Os autores sugerem que o ultrassom permitiu a liberação de novas substâncias aromáticas, e por esse motivo, a tecnologia de ultrassom pode ser considerada uma alternativa de pré-tratamento para sucos de frutas, melhorando a bioacessibilidade e a concentração de compostos bioativos. A literatura reporta que o processamento de alimentos por ultrassom favorece a ruptura da membrana das células do suco vegetal, liberando compostos bioativos intracelulares. Além disso, o processo de ultrassom aumenta a viscosidade/textura dos sucos de frutas, dificultando a reação das enzimas digestivas com os compostos bioativos que se tornam mais biodisponíveis (Campoli et al., 2018). Entretanto, durante o processo de digestão, a concentração inicial de compostos bioativos pode ser reduzida devido ao pH adverso e às condições enzimáticas. Para o açaí, foi observada uma redução considerável dos níveis de antocianinas durante a fase gástrica (com redução média de 48%), com manutenção das concentrações durante a fase enteral (com redução média de 7,3%). As antocianinas tendem a ser mais estáveis em pH neutro e básico (Pérez-Vicente et al., 2002), corroborando com a estabilidade das antocianinas durante a fase enteral.

Cervantes et al. (2020) utilizaram morango, framboesa e mirtilo como modelos experimentais para avaliar o efeito das condições da digestão *in vitro* na liberação de compostos fenólicos totais, flavonoides totais e antocianinas totais através da determinação da bioacessibilidade e da biodisponibilidade. Foi verificada uma proporção variada de cada grupo de compostos nas frações bioacessíveis e biodisponíveis, em comparação com os extratos hidrometanólicos das frutas. Essas diferenças representaram um aumento na proporção de fenólicos não flavonoides no morango, e uma diminuição nas antocianinas e um aumento nos flavonoides não antocianínicos no mirtilo após a digestão. Por outro lado, nenhum efeito da digestão foi encontrado nas proporções polifenólicas da framboesa. É importante destacar que a biodisponibilidade antioxidante total no morango foi $\sim 1,2$ e $\sim 2,5$ vezes maior do que no mirtilo e framboesa, respectivamente, sendo que o perfil antioxidante biodisponível no morango e no mirtilo foi consistente com seus perfis de bioacessibilidade. No entanto, a proporção biodisponível de flavonoides não antocianínicos na framboesa foi aumentada enquanto as antocianinas diminuíram. A literatura reporta que esses resultados mostraram a diferença de digestibilidade entre as frutas silvestres nas condições gastrointestinais simuladas, que pode estar relacionada à natureza da sua matriz alimentar, ou seja, teor de açúcares, fibras dietéticas, lipídios e proteínas, bem como ao seu perfil químico de compostos específicos com caráter antioxidante (Ariza et al., 2018). A estrutura da matriz alimentar determina o destino de cada composto polifenólico durante o processo de digestão: eles podem ser liberados como estão inicialmente presentes, podem ser modificados por ligação a outras moléculas ou transformados/degradados em outros grupos químicos com propriedades diferentes (Tagliacuzzi et al., 2010). Neste sentido, a menor

bioacessibilidade antioxidante observada na framboesa em comparação com mirtilo e morango pode ser atribuída ao seu maior teor de fibra alimentar.

Fernández-Jalao et al. (2020) objetivaram avaliar o efeito do processamento de alta pressão (PAP: 400 MPa, 35°C, 5 min) na fase oral, gástrica e intestinal, e fração bioacessível de flavonóis, ácidos hidroxicinâmicos, flavan-3-óis, dihidrocalcona e compostos fenólicos totais em maçãs não tratadas e tratadas com PAP. Com este estudo se verificou que a concentração de todos os compostos fenólicos diminuiu durante a simulação da digestão gastrointestinal por modelo dinâmico *in vitro*, sendo que esta redução foi observada em maçãs não tratadas e tratadas com o processamento de alta pressão. Em consequência desta diminuição, também ocorreu redução na capacidade antioxidante (%DPPH, %ABTS⁺, compostos fenólicos totais por Folin-Ciocalteu e FRAP), efeito sobre a capacidade inibitória da lipoxigenase (LOX) e atividade da xantina oxidase (XO) também foi observado. A digestão gastrointestinal dinâmica aumentou a liberação de quercetina-aglicona e levou a uma baixa bioacessibilidade de quercetina-glicosídeos (~10%). A maçã tratada com alta pressão, em comparação com a maçã não tratada, apresentou maior índice de recuperação para os ácidos hidroxicinâmicos (~67% e 52%) e maior bioacessibilidade para os ácidos hidroxicinâmicos (40% e 31%) e dihidrocalconas (30% e 19,5%). A fração bioacessível da maçã tratada com alta pressão demonstrou elevada capacidade antioxidante no conteúdo não digerido: 24% (%DPPH), 14% (%ABTS⁺), 86% (compostos fenólicos totais), 48% (FRAP) e 68% e 100% das capacidades inibitórias de XO e LOX.

Considerando o contexto dos alimentos funcionais, o estudo de Fernández-Jalao et al. (2020) supramencionado fornece informações relevantes para o uso de modelos dinâmicos gastrointestinais em vez dos modelos estáticos, mais frequentemente empregados para obter dados mais exatos sobre a bioacessibilidade de compostos fenólicos. Os resultados obtidos por estes ensaios fornecem informações fidedignas para a indústria de alimentos funcionais sobre as quantidades que devem ser consumidas de um determinado alimento ou ingrediente funcional para atingir o efeito biológico desejado. O apelo de estudos como este se torna ainda maior quando se considera que o consumidor está disposto a pagar pelo maior valor agregado de alimentos ou ingredientes funcionais que representem uma melhoria substancial em termos de qualidade de vida e saúde. Portanto, as indústrias de alimentos funcionais devem utilizar métodos validados para garantir que os compostos bioativos presentes no alimento ou ingrediente funcional sejam eficazes e realizem a ação biológica para a qual foram destinados.

Kayacan et al. (2020) avaliaram diferentes métodos de secagem (secagem com ar quente; por infravermelho; à vácuo por ultrassom; e liofilização) de caqui, com o intuito de verificar a influência destes processos no teor e na bioacessibilidade (pós digestão gástrica; fração dialisável da digestão intestinal; e fração não dialisável da digestão intestinal) de compostos fenólicos totais presentes nos frutos. Os autores verificaram que todos os processos de secagem avaliados levaram a um aumento significativo ($p < 0,05$)

na bioacessibilidade dos compostos fenólicos totais, bem como nas suas capacidades antioxidantes. Este aumento pode ser explicado pelo aumento da liberação de compostos fenólicos naturalmente ligados, devido ao tratamento térmico durante o processo de secagem, tendo em vista que a literatura indica que o tratamento térmico pode causar a quebra da matriz vegetal com o consequente aumento da liberação de compostos (Dewanto et al., 2002). A secagem com ar quente e por infravermelho resultaram em maior bioacessibilidade comparativamente aos outros métodos de secagem, este fato pode ser devido a uma carga térmica mais alta durante o processo de secagem. É válido destacar que a liofilização é considerada o melhor método de secagem porque produz alimentos desidratados de alta qualidade sensorial e nutricional e fornece menor encolhimento e maior capacidade de reidratação. No entanto, não é vastamente utilizado porque é um processo demorado, de elevado custo e que exige conhecimento técnico mais sofisticado para sua aplicação (Wojdyło et al., 2016). No contexto da tecnologia de frutas e hortaliças, os métodos de secagem inovadores devem ser aplicados visando aumentar as taxas de transferência de calor e massa, e reduzir a degradação de compostos bioativos e a ocorrência de compostos indesejáveis, além de apresentar baixo custo e ser de fácil aplicação.

Outro apelo que pode ser dado aos estudos que determinam a bioacessibilidade de compostos fenólicos está relacionado a frutos ainda pouco conhecidos quanto a composição e benefícios à saúde. Neste contexto, Oliveira et al. (2020) trabalharam com juá proveniente de diferentes localidades do território brasileiro (Mata Paraibana, Borborema, Agreste e Sertão Paraibano). Os autores avaliaram as características morfológicas dos frutos, a composição nutricional, o conteúdo e a bioacessibilidade de compostos fenólicos e a atividade antioxidante equivalente a estes compostos. A bioacessibilidade da catequina, epicatequina, galato de epicatequina, galato de epigallocatequina, procianidina e ácido siríngico variou entre as frutas de diferentes regiões (de 2,4 a 127,6 mg kg⁻¹). Os frutos do Sertão Paraibano apresentaram o maior conteúdo fenólico na fração bioacessível e a maior atividade antioxidante em todos os ensaios, indicando que esta localidade apresenta maior potencial para este tipo de cultivo. Como principal conclusão deste estudo, os autores salientam que o juá pode ser considerada uma fruta que fornece concentrações promissoras de flavonoides bioacessíveis. Além disso, a correlação entre os resultados obtidos pelos autores sugere que o teor de fibras dos frutos pode afetar a bioacessibilidade dos compostos fenólicos. Na matriz alimentar, os compostos fenólicos podem se ligar às superfícies das fibras por um fenômeno de superfície, as fibras criam cavidades ou poros em sua estrutura, e os compostos fenólicos podem penetrar nesses poros (Jakobek et al., 2019). No entanto, esse fenômeno é influenciado pelo tamanho dos fenólicos, sendo que moléculas maiores que os poros seriam amplamente excluídas (Renard et al., 2017).

Ainda quanto aos resultados obtidos por Oliveira et al. (2020), os autores estimaram as frações dialisadas e não dialisadas dos compostos fenólicos após a simulação da digestão. Embora os compostos

detectados na fração não dialisada não estejam disponíveis para absorção, uma vez que não passam pela barreira intestinal, esses compostos podem ser “transportados” pelas fibras e atingir o cólon, onde podem ser liberados pela ação de bactérias com benefícios específicos para a saúde (Jakobek et al., 2019). A fração não dialisada do juá apresentou o maior teor de compostos fenólicos, principalmente o galato de epigallocatequina (~76%). Esse fato pode ser explicado pelas alterações químicas que ocorrem devido à ruptura de ligações induzida por ambientes ácidos ou alcalinos, liberando flavonóis durante a digestão *in vitro*.

Além da matriz da própria fruta em que os compostos fenólicos se encontram, a mistura da matriz com outros ingredientes também pode interferir na bioacessibilidade destes compostos. Neste sentido, Quan et al. (2020) avaliaram o efeito de diferentes processamentos (homogeneização à alta pressão e processamento térmico) e da adição de leite (desnatado, integral, e bebida de soja) na bioacessibilidade *in vitro* (digestão gástrica e pancreática) de compostos fenólicos presentes em suco de pomelo e em suco de kiwi. Sabe-se que o leite bovino é uma fonte rica em proteínas, gorduras e vitaminas, assim como a bebida de soja. Sendo que os diferentes efeitos dessas matrizes na fração bioacessível são provavelmente causados por diferentes interações proteína-polifenol, que podem impedir a liberação e solubilização de compostos fenólicos ou proteger os fenólicos da degradação durante a digestão (Rodríguez-Roque et al., 2014). Após a condução dos experimentos, os autores verificaram que tanto o método de processamento quanto a matriz de leite tiveram diferentes efeitos na bioacessibilidade e nos teores de compostos fenólicos nos sucos de pomelo e de kiwi. O tratamento térmico e o processamento de homogeneização à alta pressão aumentaram o conteúdo de compostos individuais e, conseqüentemente, de fenólicos totais, segundo os autores, este aumento se deve à danificação das paredes celulares e subsequente liberação dos compostos fenólicos. Entretanto, os métodos de processamento não melhoraram e até apresentaram efeitos negativos na bioacessibilidade de fenólicos totais provenientes dos sucos. Em relação às matrizes de leite, embora os leites desnatado e integral não tenham apresentado efeitos significativos nos teores dos compostos fenólicos, estas matrizes aumentaram a bioacessibilidade fenólica de 21,6% para 37,8% e de 60,1% para 63,3%, respectivamente, enquanto que a bebida de soja apresentou um efeito negativo significativo na bioacessibilidade dos fenólicos presentes no suco de pomelo. Os resultados deste estudo destacam a importância da bioacessibilidade de fenólicos provenientes de frutas e os benefícios para a saúde dos sucos de frutas por meio da otimização da tecnologia de processamento e do uso da matriz de leite na indústria de alimentos.

Apesar da maioria dos estudos encontrados na literatura utilizarem modelos experimentais *in vitro* que simulam a digestão até a etapa que fornece resultados de bioacessibilidade, existe uma tendência em utilizar modelos experimentais que forneçam resultados mais completos sobre o comportamento dos compostos de interesse após a simulação da ingestão, neste sentido, Quattrin et al. (2020) propuseram o

emprego de um modelo experimental estático de digestão gastrointestinal *in vitro* associado a um ensaio de fermentação colônica utilizando fezes humanas, a fim de elucidar o catabolismo e a bioacessibilidade de polifenóis provenientes da casca de jaboticaba em pó. Os autores verificaram a produção de catabólitos polifenólicos bioativos que podem atuar como antioxidantes e, com a fibra alimentar da casca da jaboticaba, melhorar o metabolismo da microbiota intestinal. Os polifenóis da casca da jaboticaba apresentaram maior estabilidade em condições salivares e gástricas do que em condições intestinais. Os principais polifenóis da casca de jaboticaba, antocianinas (18130 mg kg^{-1}) e taninos hidrolisáveis (13050 mg kg^{-1}), foram notavelmente degradados nas condições intestinais, enquanto os ácidos gálico e elágico aumentaram devido à hidrólise parcial e liberação da matriz da fruta. Apesar de sua baixa bioacessibilidade (1,3%), as antocianinas foram os polifenóis mais abundantes encontrados na fração intestinal bioacessível. Além disso, a fração intestinal bioacessível da casca de jaboticaba também se mostrou rica em ácido elágico e taninos hidrolisáveis (1788 mg kg^{-1}). Grande quantidade de elagitaninos e antocianinas da casca de jaboticaba não é bioacessível e permanece no intestino, produzindo inúmeros metabólitos fenólicos durante a fermentação fecal, cujo aumento foi paralelo ao aumento de ácidos graxos de cadeia curta e diminuição da viabilidade de bactérias patogênicas (Enterobactérias). Esses mecanismos podem enfatizar os efeitos benéficos da casca de jaboticaba para a saúde, que já foram amplamente demonstrados em modelos animais. Embora a casca da jaboticaba concentre a maioria dos compostos bioativos da fruta e possa ser explorada para o desenvolvimento de suplementos dietéticos e ingredientes funcionais alimentares, a ingestão da fruta inteira como parte de uma dieta saudável pode ser particularmente benéfica, pois a casca representa 30% do peso da fruta.

Em contrapartida, produtos derivados de frutas amplamente consumidos no Brasil e no mundo também despertam interesse da comunidade científica, neste sentido, o suco de laranja foi estudado por Stinco et al. (2020) quanto ao efeito de diferentes processamentos na bioacessibilidade *in vitro* de flavonoides, sendo eles: homogeneização à alta pressão (150 MPa); pasteurização a $92 \text{ }^\circ\text{C}$ por 30 s; pasteurização a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por 15 s; e centrifugação com a fração da polpa homogeneizada a 150 MPa, reconstituída com a fração soro e pasteurizada a $85 \text{ }^\circ\text{C}$ por 15 s. No geral, tanto a concentração inicial quanto a bioacessibilidade de flavonas e flavanonas não foram significativamente afetada pelos tratamentos de pasteurização e de homogeneização a 150 MPa, mantendo a média de concentração inicial de 18,36 e $276,18 \text{ mg kg}^{-1}$ para as flavonas e flavanonas, respectivamente, enquanto que o percentual de bioacessibilidade variou de 5,7 a 8,2% para as flavonas, e de 6,2 a 9,7% para as flavanonas. Os resultados sugeriram que, após a homogeneização da polpa, esses compostos não foram protegidos por componentes da parede celular que poderiam melhorar a extração dos flavonoides e, portanto, sua bioacessibilidade. Diversos estudos relatam que o processamento de alimentos vegetais pode influenciar a bioacessibilidade

de compostos fenólicos, principalmente por meio de alterações na estrutura da parede celular (Dutra et al., 2017).

Por fim, o estudo conduzido por Tomas et al. (2020) teve como objetivo investigar a modulação do perfil de polifenóis de purês de amora-preta por fibras dietéticas solúveis (5 ou 10% de inulina ou pectina), durante um processo simulado de digestão gastrointestinal *in vitro* e fermentação no intestino grosso. A fermentação *in vitro* no intestino grosso após a digestão gastrointestinal *in vitro* revelou que o maior nível de inclusão (10% m/m) de fibras dietéticas solúveis foi eficaz na modulação da bioaccessibilidade de algumas classes fenólicas (principalmente ácidos fenólicos, lignanas e flavonas). As antocianinas que atingiram o intestino grosso promoveram a formação de compostos de baixo peso molecular, como 4-vinilfenol, ácido benzoico e tirosol, juntamente com outros ácidos fenólicos (ácidos ferúlico e gálico). O aumento dos metabólitos fenólicos, provavelmente possuindo potencial antioxidante, torna a amora-preta adicionada de fibras solúveis um alimento funcional potencial. Resultados como este possibilitam investigar a interação entre a microbiota intestinal e o purê de frutas adicionado de fibra solúvel, avaliando a possível modulação da comunidade microbiana do intestino grosso. Essa modulação pode surgir diretamente da interação com as fibras solúveis, bem como indiretamente resultante da disponibilidade dos compostos fenólicos relacionados.

CONCLUSÃO

A importância da ingestão de compostos fenólicos a partir da dieta humana é evidente devido aos inúmeros benefícios acarretados ao organismo, neste sentido, o conhecimento da fração bioacessível e/ou biodisponível dos compostos fenólicos a partir da ingestão de diferentes frutas se torna primordial a fim de se aprimorar o conhecimento quanto aos efeitos deste consumo. Além disso, o emprego de diferentes tecnologias durante o processamento dos frutos pode ocasionar alterações nas frações bioacessíveis destes compostos. Sendo assim, o presente capítulo abordou as principais tendências e inovações no que diz respeito à diferentes frutas que disponibilizam estes compostos, bem como a importância de validação dos métodos analíticos, e o efeito de diferentes processamentos nos teores bioacessíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAFRUTAS – Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. Os rumos da produção de frutas no Brasil. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2019/11/04/os-rumos-da-producao-de-frutas-no-brasil/>. Acesso em: 02/04/2021.

Alam MS et al. (2014). Effect of citrus flavonoids, naringin and naringenin, on metabolic syndrome and their mechanisms of action. *Advances in nutrition*, 5(4): 404-417.

- Alminger M et al. (2014). *In Vitro* Models for Studying Secondary Plant Metabolite Digestion and Bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4): 413-36.
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 19, de 30 de abril de 1999. Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e/ou de saúde em sua rotulagem. Diário Oficial da União, 03 de maio de 1999. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/resolucao-no-19-de-30-de-abril-de-1999.pdf/view>. Acesso em: 02/04/2021.
- Araújo JMA (2019). *Química de alimentos: teoria e prática*. 7. ed., Viçosa: Ed. UFV. 666p.
- Ariza MT et al. (2018). Bioaccessibility and potential bioavailability of phenolic compounds from achenes as a new target for strawberry breeding programs. *Food Chemistry*, 248: 155-165.
- Azeem SMA et al. (2020). Analysis of total phenolic compounds in tea and fruits using diazotized aminobenzenes colorimetric spots. *Food Chemistry*, 332: 127392.
- Balasoorya H et al. (2020). Bioaccessibility of micronutrients in fresh and frozen strawberry fruits grown under elevated carbon dioxide and temperature. *Food Chemistry*, 30: 125662.
- Benito P et al. (1998). Iron absorption and bioavailability: An updated review. *Nutrition Research*, 18(3): 581-603.
- Bílková A et al. (2020). Content of major phenolic compounds in apples: Benefits of ultra-low oxygen conditions in long-term storage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92: 103587.
- Campoli SS et al. (2018). Ultrasound processing of guava juice: Effect on structure, physical properties and lycopene *in vitro* accessibility. *Food Chemistry*, 268: 594-601.
- Carvalho LMS et al. (2020). Improvement of the bioaccessibility of bioactive compounds from Amazon fruits treated using high energy ultrasound. *Ultrasonics – Sonochemistry*, 67: 105148.
- Cervantes L et al. (2020). Bioavailability of phenolic compounds in strawberry, raspberry and blueberry: Insights for breeding programs. *Food Bioscience*, 37: 100680.
- Debelo H et al. (2020). Processing influences on food polyphenol profiles and biological activity. *Current Opinion in Food Science*, 32: 90-102.
- Dewanto V et al. (2002). Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17): 4959-4964.
- Dutra RLT et al. (2017). Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in frozen pulps of Brazilian exotic fruits exposed to simulated gastrointestinal conditions. *Food Research International*, 100: 650-657.
- Feitosa CM (2017). *Antioxidantes: aspectos químicos, farmacológicos e terapêuticos*. Campinas: Ed. Átomo. 210p.

- Fernández-García E et al. (2009). *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, 29(11): 751-60.
- Fernández-Jalao I et al. (2020). Impact of an *in vitro* dynamic gastrointestinal digestion on phenolic compounds and antioxidant capacity of apple treated by high-pressure processing. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66: 102486.
- Giada MLR (2013). *Food Phenolic Compounds: Main Classes, Sources and Their Antioxidant Power, Oxidative Stress and Chronic Degenerative Diseases - A Role for Antioxidants*, Morales-González, J.A. IntechOpen.
- Jakobek L et al. (2019). Non-covalent dietary fiber -Polyphenol interactions and their influence on polyphenol bioaccessibility. *Trends in Food Science & Technology*, 83: 235-247.
- Kayacan S et al. (2020). Effect of different drying methods on total bioactive compounds, phenolic profile, *in vitro* bioaccessibility of phenolic and HMF formation of persimmon. *LWT – Food Science and Technology*, 118: 108830.
- Lou X et al. (2020). Identification and quantification of free, esterified, glycosylated and insoluble-bound phenolic compounds in hawthorn berry fruit (*Crataegus pinnatifida*) and antioxidant activity evaluation. *LWT – Food Science and Technology*, 130: 109643.
- Macrae R et al. (1993). *Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition*. Academic Press.
- Mallmann LP et al. (2020). Comprehensive identification and quantification of unexploited phenolic compounds from red and yellow araçá (*Psidium cattleianum* Sabine) by LC-DAD-ESI-MS/MS. *Food Research International*, 131: 108978.
- Martín-Gómez J et al. (2020). Influence of drying processes on anthocyanin profiles, total phenolic compounds and antioxidant activities of blueberry (*Vaccinium corymbosum*). *LWT – Food Science and Technology*, 120: 108931.
- Oliveira PML et al. (2020). Juá fruit (*Ziziphus joazeiro*) from Caatinga: A source of dietary fiber and bioaccessible flavanols. *Food Research International*, 129: 108745.
- Pérez-Vicente A et al. (2002). *In vitro* gastrointestinal digestion study of pomegranate juice phenolic compounds, anthocyanins, and vitamin C, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 2308-2312.
- Piechowiak T et al. (2020). Changes in phenolic compounds profile and glutathione status in raspberry fruit during storage on ozone-enriched atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 168: 111277.
- Quan W et al. (2020). Effects of high-pressure homogenization, thermal processing, and milk matrix on the *in vitro* bioaccessibility of phenolic compounds in pomelo and kiwi juices. *Journal of Functional Foods*, 64: 103633.

- Quatrin A et al. (2020). Bioaccessibility and catabolism of phenolic compounds from jaboticaba (*Myrciaria trunciflora*) fruit peel during *in vitro* gastrointestinal digestion and colonic fermentation. *Journal of Functional Foods*, 65: 103714.
- Renard CMGC et al. (2017). Interactions between polyphenols and polysaccharides: Mechanisms and consequences in food processing and digestion. *Trends in Food Science & Technology*, 60: 43-51.
- Rodríguez-Roque MJ et al. (2014). *In vitro* bioaccessibility of health-related compounds as affected by the formulation of fruit juice- and milk-based beverages. *Food Research International*, 62: 771-778.
- Rossetto R. et al. (2020). Acai Pulp and seeds as emerging sources of phenolic compounds for enrichment of residual yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*) through bisorption. *LWT – Food Science and Technology*, 128: 109447.
- Scaglioni PT et al. (2019). Inhibition of *in vitro* trichothecenes production by microalgae phenolic extracts. *Food Research International*, 124: 175-180.
- Scaglioni PT et al (2018). Inhibition of enzymatic and oxidative processes by phenolic extracts from *Spirulina* sp. and *Nannochloropsis* sp. *Food Technology & Biotechnology*, 56(3): 344-353.
- Schmidt HO et al. (2020). New insights into the phenolic compounds and antioxidant capacity of feijoa and cherry fruits cultivated in Brazil. *Food Research International* 136:109564.
- Schumann K et al. (1997). Bioavailability of oral vitamins, minerals, and trace elements in perspective. *Arzneimittel-Forschung*, 47(4): 369-80.
- Seraglio SKT et al. (2017). Effect of *in vitro* gastrointestinal digestion on the bioaccessibility of phenolic compounds, minerals, and antioxidant capacity of *Mimosa scabrella* Bentham honeydew honeys. *Food Research International*, 99: 670-678.
- Soto-Hernández M (2019). *Plant Physiological Aspects of Phenolic Compounds*. IntechOpen.
- Stinco CM et al. (2020). Influence of high-pressure homogenization and pasteurization on the *in vitro* bioaccessibility of carotenoids and flavonoids in orange juice. *Food Chemistry*, 331: 127259.
- Tagliazucchi D et al. (2010). A. *In vitro* bio accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120(2): 599-606.
- Tomás-Barberán FA et al. (2016). Interactions of gut microbiota with dietary polyphenols and consequences to human health. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 19: 471-476.
- Tomas M et al. (2020). Effect of different soluble dietary fibres on the phenolic profile of blackberry puree subjected to *in vitro* gastrointestinal digestion and large intestine fermentation. *Food Research International*, 130: 108954.

- Van-De-Wiele TR et al. (2007). Comparison of five *in vitro* digestion models to *in vivo* experimental results: Lead bioaccessibility in the human gastrointestinal tract. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, 42(9): 1203-1211.
- Velderrain-Rodríguez GR et al. (2017). Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds from tropical fruits. In *Fruit and Vegetable Phytochemicals*, EM Yahia (Ed.).
- Versantvoort CHM et al. (2004). Development and Applicability of an *in vitro* Digestion Model in Assessing the Bioaccessibility of Contaminants from Food: RIVM.
- Wani SM et al. (2020). Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots. *LWT – Food Science and Technology*, 132(13): 109846.
- Wojdyło A et al. (2016). Chemical composition, antioxidant capacity, and sensory quality of dried jujube fruits as affected by cultivar and drying method. *Food Chemistry*, 207: 170-179.
- Yahia EE et al. (1992). *Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas*. México: Acribia. 300p.

ÍNDICE REMISSIVO

A

agrotóxicos, 72, 73
 alimentos, 4, 6, 7, 8, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 28,
 30, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 42, 43, 44, 48, 49,
 50, 56, 58, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 81
 aproveitamento, 44, 48, 50

B

bebida alcoólica, 6
 bioacessibilidade, 4, 13, 22, 29, 31, 32, 33, 34,
 35, 36, 37
 bioatividade, 22, 24, 30
 biodisponibilidade, 13, 22, 29, 30, 31, 32
 Brasil, 3, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 21, 30, 32, 35,
 36, 37, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 51, 52, 53, 54,
 56, 57, 58, 62, 63, 68, 69

C

cadeia produtiva, 44, 45, 46, 52, 72, 78
 cloridrato de ractopamina, 56
 contaminantes de processamento, 72

D

Desoxinivalenol, 9

F

farinha de carne e ossos, 56, 57, 59, 66, 70

I

ingestão diária, 13, 57, 58

L

limite
 de detecção, 61
 de quantificação, 61, 66
 máximo de resíduos, 58

M

melhoramento genético, 4, 42, 43, 44, 46, 48, 50,
 51, 52, 54
 metais pesados, 72, 73
 micotoxinas, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 72, 73,
 74, 75, 76

O

Oreochromis niloticus, 42, 53, 55

P

piscicultura, 43, 46, 47, 54
 processamento de alimentos, 4



 **Wesclen Vilar Nogueira**

Graduado em Engenharia de Pesca pela UNIR. Mestre e doutorando em Engenharia e Ciência de Alimentos pela FURG.



Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

