

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Camila Antunes Paz Guarnieri

**Avaliação da estabilidade química de corantes naturais  
utilizados na indústria de alimentos: uma revisão**

Florianópolis

2023

Camila Antunes Paz Guarnieri

**Avaliação da estabilidade química de corantes naturais  
utilizados na indústria de alimentos: uma revisão**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador(a): Prof. Dr. Alan Ambrosi  
Coorientador(a): MSc. Renata Vicente

Florianópolis

2023

Guarnieri, Camila Antunes Paz

Avaliação da estabilidade química de corantes naturais utilizados na indústria de alimentos: Uma revisão / Camila Antunes Paz Guarnieri ; orientador, Alan Ambrosi, coorientadora, Renata Vicente, 2023.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

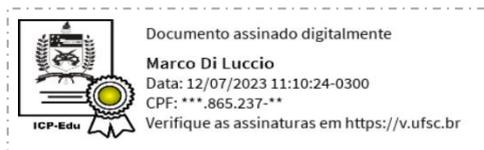
1. Engenharia de Alimentos. 2. corantes naturais. 3. alimentos. 4. estabilidade química. I. Ambrosi, Alan. II. Vicente, Renata. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Camila Antunes Paz Guarnieri

**Avaliação da estabilidade química de corantes naturais  
utilizados na indústria de alimentos: Uma revisão**

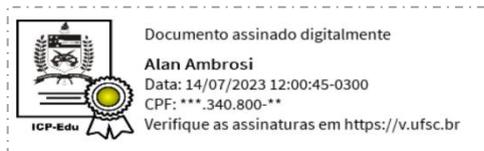
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia de Alimentos

Florianópolis, 03 de julho de 2023.

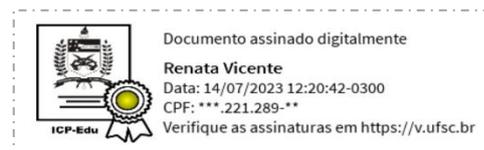


Marco Di Luccio  
Coordenador do Curso

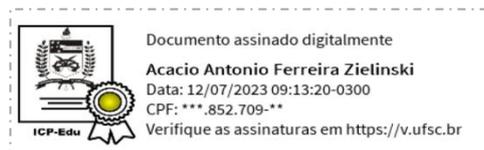
**Banca examinadora:**



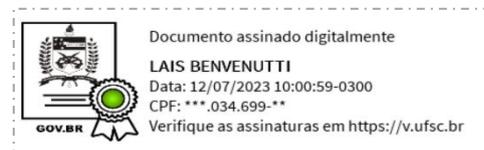
Prof. Dr. Alan Ambrosi  
Orientador(a)



MSc. Renata Vicente  
Coorientador(a)



Prof. Dr. Acácio Antonio Ferreira Zielinski  
Avaliador – Universidade Federal de Santa Catarina



Dra. Laís Benvenutti  
Avaliador – Universidade Federal de Santa Catarina

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, por sempre me incentivarem e não medirem esforços para me proporcionar a melhor educação.

Aos colegas da turma 17.2, em especial aos amigos Bru, Carol, Dani, Fabrycio, Gabi, Glau, Gui, Jô e Pedro, que fizeram do nosso o melhor grupo de calouros que já existiu. Obrigada pela parceria nos estudos e nas festas.

À minha dupla de faculdade, Luan, a pessoa me acompanhou dentro e fora da UFSC, por todos os nossos momentos compartilhando cafés, piadas, almoços no CCA, frustrações acadêmicas e incertezas sobre o futuro.

Às meninas do 303A, Jubs, Jú, Alana, e Rafa, que foram casa e família durante os anos de faculdade. Obrigada por aguentarem os meus piores momentos e por estarem presentes para comemorar as conquistas, sempre na companhia de uma boa pizza, sushi e burrito.

Aos meus amigos Débora, Helena, Lana, Matheus e Mayara, que me acompanharam desde o dia da aprovação no vestibular até a finalização deste trabalho.

A minha amiga mais antiga, Gabi, que apesar da distância sempre se fez presente em todos esses anos.

Aos meus amigos Daiani, Guilherme e Jéssica, por todos os finais de semana em que cozinhamos e bebemos nos divertindo muito.

Aos meus orientadores, Alan e Renata, pelo suporte, ensinamentos e paciência durante a execução deste trabalho.

Aos membros da banca, Acácio e Laís pela disponibilidade e consideração comigo e com este trabalho.

A todos vocês, muito obrigada.

## RESUMO

A cor é a principal característica imediatamente associada à atração do consumidor e à escolha de seus alimentos. O sabor, a segurança e o valor nutricional dos produtos alimentícios estão diretamente relacionados à cor do alimento. Para melhorar as propriedades de cor, tanto na indústria alimentícia quanto em setores como o farmacêutico e têxtil, são comumente adicionados corantes sintéticos e naturais. Embora os corantes alimentícios sintéticos tenham ganhado popularidade devido à sua alta estabilidade e baixo custo, eles apresentam impactos adversos à saúde a longo prazo. Conseqüentemente, os corantes naturais têm despertado interesse significativo no campo de pesquisa. Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura atual sobre a estabilidade química de diferentes corantes naturais utilizados na indústria de alimentos. A avaliação da estabilidade química dos corantes naturais é de extrema importância, uma vez que influencia diretamente a sua viabilidade como alternativa aos corantes sintéticos. A estabilidade química dos corantes naturais é afetada por vários fatores, como pH, temperatura, luz, oxigênio e interações com outros componentes dos alimentos. A revisão bibliográfica incluiu a análise de artigos científicos obtidos nas bases *Scopus* e *Web of Science*, utilizando palavras-chave relevantes, como "corantes naturais", "estabilidade química", "indústria de alimentos" e seus sinônimos. Durante a análise dos estudos selecionados, foram identificados diferentes corantes naturais utilizados na indústria de alimentos, sendo que os principais pertencem a classe das betalaínas, antocianinas e carotenoides. Os resultados obtidos revelaram que os principais fatores de influência na estabilidade dos compostos corantes naturais são exposição à luz, pH do meio, presença de oxigênio, interação com outros componentes do produto e métodos de processamento e armazenamento. Com relação as técnicas para aumentar a estabilidade, a encapsulação apresentou-se como a principal estratégia adotada, sendo tema da maior parte dos estudos avaliados. Assim, este trabalho traz informações relevantes acerca do tema e se apresenta em sintonia com o crescente interesse e reconhecimento da importância dos corantes naturais como alternativas seguras e sustentáveis aos corantes sintéticos.

**Palavras-chave:** corantes naturais; alimentos; estabilidade química; carotenoides; antocianinas; betalaínas.

## ABSTRACT

Color is the main feature immediately associated with consumer attraction and food choice. The taste, safety and nutritional value of food products are directly related to the color of the food. To improve color properties, both in the food industry and in sectors such as pharmaceuticals and textiles, synthetic and natural dyes are commonly added. Although synthetic food colors have gained popularity due to their high stability and low cost, they have adverse long-term health impacts. As a result, natural dyes have aroused significant interest in the field of research. In this context, the general objective of this work was to carry out a review of the current literature on the chemical stability of different natural dyes used in the food industry. The evaluation of the chemical stability of natural dyes is extremely important, since it directly influences their viability as an alternative to synthetic dyes. The chemical stability of natural dyes is affected by many factors such as pH, temperature, light, oxygen and interactions with other food components. The bibliographic review included the analysis of scientific articles obtained from the Scopus and Web of Science databases, using relevant keywords such as "natural dyes", "chemical stability", "food industry" and their synonyms. During the analysis of the selected studies, different natural dyes used in the food industry were identified, the main ones belonging to the class of betalains, anthocyanins and carotenoids. The results obtained revealed that the main factors influencing the stability of natural coloring compounds are exposure to light, pH of the medium, presence of oxygen, interaction with other components of the product, and processing and storage methods. With regard to techniques to increase stability, encapsulation was the main strategy adopted, being the subject of most of the evaluated studies. Thus, this work provides relevant information about the subject and presents itself in line with the growing interest and recognition of the importance of natural dyes as safe and sustainable alternatives to synthetic dyes.

**Keywords:** natural dye; food industry; stability; carotenoids; anthocyanins; betalains.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma do processo de seleção de artigos para análise bibliométrica. ....	20
Figura 2: Fluxograma do processo de seleção de artigos para revisão de literatura. ....	22
Figura 3: Evolução histórica do número de artigos. ....	23
Figura 4: Evolução histórica das publicações por revistas mais relevantes. ....	24
Figura 5: Número de artigos por instituição de pesquisa. ....	26
Figura 6: Quantidade de artigos publicados por autores. ....	27
Figura 7: Quantidade de artigos por autores mais citados. ....	28
Figura 8: Comportamento de colaboração entre os autores. ....	29
Figura 9: Rede de co-citação por documentos. ....	31
Figura 10: Relação de co-citações por autores. ....	31
Figura 11: Alimentos diversos fonte de corantes naturais. ....	36
Figura 12: Estruturas químicas das principais classes de pigmentos. ....	37
Figura 13: Principais classes de alimentos onde são incorporados pigmentos naturais. ....	38
Figura 14: Estrutura química do licopeno. ....	39
Figura 15: Estrutura química da luteína. ....	39
Figura 16: Estrutura generalizada para antocianinas. ....	40
Figura 17: Estrutura geral das betalaínas. ....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Números de artigos publicados por países.....	25
Tabela 2: Número de artigos publicados por idioma.....	25
Tabela 3: Vantagens e desvantagens dos corantes naturais e sintéticos.....	43

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
EFSA	European Food Safety Authority
FDA	Food and Drug Administration
JCR	Journal Citations Report
MERCOSUL	Mercado Comum do Sul

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA DE PESQUISA</b> .....	<b>19</b>
3.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA .....	19
<b>3.1.1</b>	<b>Fonte de dados</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Seleção dos documentos</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Processo de análise</b> .....	<b>20</b>
3.2	REVISÃO DA LITERATURA.....	21
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>23</b>
4.1	PUBLICAÇÕES AO LONGO DO TEMPO .....	23
4.2	PAÍSES, INSTITUIÇÕES E AUTORES .....	24
4.3	MAPAS DE RELACIONAMENTO.....	29
<b>5</b>	<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>32</b>
5.1	DEFINIÇÃO DE CORANTES.....	32
5.2	HISTÓRIA DOS CORANTES .....	33
5.3	APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA.....	33
<b>5.3.1</b>	<b>Indústria em geral</b> .....	<b>33</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Indústria de alimentos</b> .....	<b>34</b>
5.4	CLASSIFICAÇÕES DE CORANTES.....	35
<b>5.4.1</b>	<b>Origem</b> .....	<b>36</b>
5.4.1.1	<i>Corantes sintéticos</i> .....	36
5.4.1.2	<i>Corantes naturais</i> .....	36
<b>5.4.2</b>	<b>Estrutura</b> .....	<b>36</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Corantes aplicados em alimentos no Brasil</b> .....	<b>37</b>
5.5	CORANTES NATURAIS .....	37
<b>5.5.1</b>	<b>Carotenoides</b> .....	<b>38</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Antocianinas</b> .....	<b>40</b>
<b>5.5.3</b>	<b>Betalainas</b> .....	<b>41</b>
<b>5.5.4</b>	<b>Vantagens e desvantagens</b> .....	<b>43</b>
5.6	TÉCNICAS PARA AUMENTAR A ESTABILIDADE.....	44

<b>5.6.1</b>	<b>Encapsulação .....</b>	<b>44</b>
<b>5.6.2</b>	<b>Co-pigmentação .....</b>	<b>46</b>
<b>5.6.3</b>	<b>Complexação.....</b>	<b>46</b>
<b>5.6.4</b>	<b>Acilação química.....</b>	<b>47</b>
<b>5.6.5</b>	<b>Estabilização do pH.....</b>	<b>47</b>
<b>5.6.6</b>	<b>Outras técnicas a serem consideradas .....</b>	<b>48</b>
<b>5.7</b>	<b>MERCADO E PERSPECTIVAS FUTURAS .....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria de alimentos tem buscado cada vez mais substituir corantes artificiais por corantes naturais devido à crescente demanda por produtos alimentícios mais saudáveis e seguros para o consumo humano. Os corantes naturais, obtidos de fontes vegetais, animais ou minerais, apresentam uma grande variedade de cores e são amplamente utilizados para conferir e/ou intensificar a atratividade visual dos alimentos. No entanto, a estabilidade química desses corantes ainda é um aspecto crítico que precisa ser considerado para garantir a qualidade e a durabilidade dos produtos.

Historicamente, as primeiras substâncias corantes utilizadas eram derivadas da natureza. No entanto, de acordo com Christie (2015), a partir do desenvolvimento do primeiro corante orgânico sintético (mauveína) em 1856, iniciou-se a produção em larga escala de corantes sintéticos. Esses compostos ganharam popularidade devido ao seu baixo custo de produção, alta resistência tintorial e estabilidade química, o que acabou suprimindo o uso dos corantes naturais.

Apesar dos corantes sintéticos atualmente utilizados passarem por avaliações de segurança rigorosas e estarem sujeitos a regulamentações estritas, a indústria de alimentos está buscando alternativas para atender às demandas em constante mudança do mercado e às restrições regulatórias.

Nesse contexto, embora existam corantes naturais obtidos de fontes alternativas, são os corantes de origem vegetal os mais utilizados em produtos alimentícios. Esses corantes estão agrupados em três categorias principais: carotenoides, que são encontrados em frutas e vegetais de cor amarela, laranja e vermelha, como cenouras, abóboras e tomates; antocianinas, presentes em frutas e vegetais de cores vermelha, azul e roxa, como uvas, amoras e beterrabas; e betalainas, encontradas em algumas plantas, como a beterraba e o cacto da tuna.

Estes diferentes compostos corantes possuem algumas vantagens e desvantagens em comum. De acordo com Rodriguez-Amaya (2016), são considerados mais seguros e saudáveis em comparação aos corantes artificiais, que podem conter aditivos químicos. Além de apresentarem benefícios nutricionais, como suas funções antioxidantes e anti-inflamatórias.

No entanto, também existem algumas desvantagens associadas a estes compostos, como a sua estabilidade inferior em relação aos corantes artificiais, o que pode resultar em perda de cor ao longo do tempo ou quando expostos a certas condições, como pH e temperatura. Além disso, alguns corantes naturais podem produzir sabor indesejável afetando o sabor final do

alimento. Outra desvantagem é a disponibilidade limitada às fontes destes corantes, o que pode dificultar a obtenção de cores específicas em larga escala.

A avaliação da estabilidade química dos corantes naturais é fundamental para entender sua capacidade de resistir a diferentes condições de processamento, armazenamento e exposição à luz, umidade, pH e temperatura. Existem várias técnicas que podem ser empregadas para aumentar a estabilidade química dos corantes naturais. Uma metodologia essencial é o ajuste adequado do pH, já que diferentes corantes respondem de forma distinta a diferentes faixas de pH. Além disso, segundo Lan et al. (2023) novas metodologias como acilação química (combinação de ácido orgânico com glicosídeo por acilação) vem mostrando eficácia na proteção da ação colorante dos pigmentos naturais. Outra técnica comum, segundo Singh et al. (2023), é a encapsulação em micropartículas, como lipossomas ou emulsões, para proteger os compostos de fatores externos e retardar a liberação do corante, aumentando sua estabilidade.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura atual sobre a estabilidade química de diferentes corantes naturais utilizados na indústria de alimentos, através de metodologia mista integrando análise bibliométrica com revisão bibliográfica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar uma revisão da literatura atual sobre a estabilidade química de diferentes corantes naturais utilizados na indústria de alimentos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para que o objetivo geral seja alcançado, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- realizar uma análise bibliométrica sintetizada das publicações sobre estabilidade química dos corantes naturais utilizados na indústria de alimentos;
- identificar aspectos que influenciam na estabilidade química dos corantes;
- identificar técnicas utilizadas para manter a estabilidade dos corantes;
- identificar vantagens, desvantagens e perspectivas futuras sobre a utilização de corantes e suas técnicas de estabilização.

### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Para este estudo foi adotada uma abordagem mista, que consiste em uma análise bibliométrica seguida de revisão de literatura. Segundo Pluye e Hong (2014), a metodologia mista combina técnicas quantitativas e qualitativas com o objetivo de integrar dados numéricos e explicações que os sustentem e complementem. Assim, foi possível estabelecer conexões entre as informações já disponíveis na literatura sobre técnicas de estabilização de corantes naturais aplicados na indústria de alimentos, bem como fornecer uma revisão original nesse campo de estudo.

#### 3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

##### 3.1.1 Fonte de dados

Os dados foram obtidos durante o mês de abril de 2023 em duas bases de dados: Scopus (Elsevier) e *Web of Science* (Clarivate Analytics). Estas bases foram escolhidas devido a sua relevância e cobertura multidisciplinar, acesso a um grande número de periódicos e artigos, além de oferecerem recursos avançados de busca e filtragem, características que as tornam bases populares e bem avaliadas pelos pesquisadores.

##### 3.1.2 Seleção dos documentos

Para a pesquisa foram selecionadas palavras-chave em inglês, visando qualificar o processo, uma vez que a língua inglesa alcança uma maior audiência internacional e pelo fato de que muitos bancos de dados bibliográficos e ferramentas de análise de texto utilizam o inglês como língua padrão.

As palavras-chave selecionadas foram: *natural; dye; pigment; colorant; stabilization; stability* e *food*. Para melhores resultados, foram realizadas combinações dos termos utilizando as opções de busca avançada em cada base de dados. Para garantir maior assertividade, os resultados foram filtrados de modo a resultar apenas nos artigos de pesquisa e artigos de revisão. Os arranjos abaixo foram buscados em ambas as bases de dados no item de busca avançada abrangendo palavra-chave, título e resumo:

Para a pesquisa na Scopus: *TITLE-ABS-KEY ((dye OR pigment OR colorant) AND (stabilization OR stability) AND food AND natural) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))*.

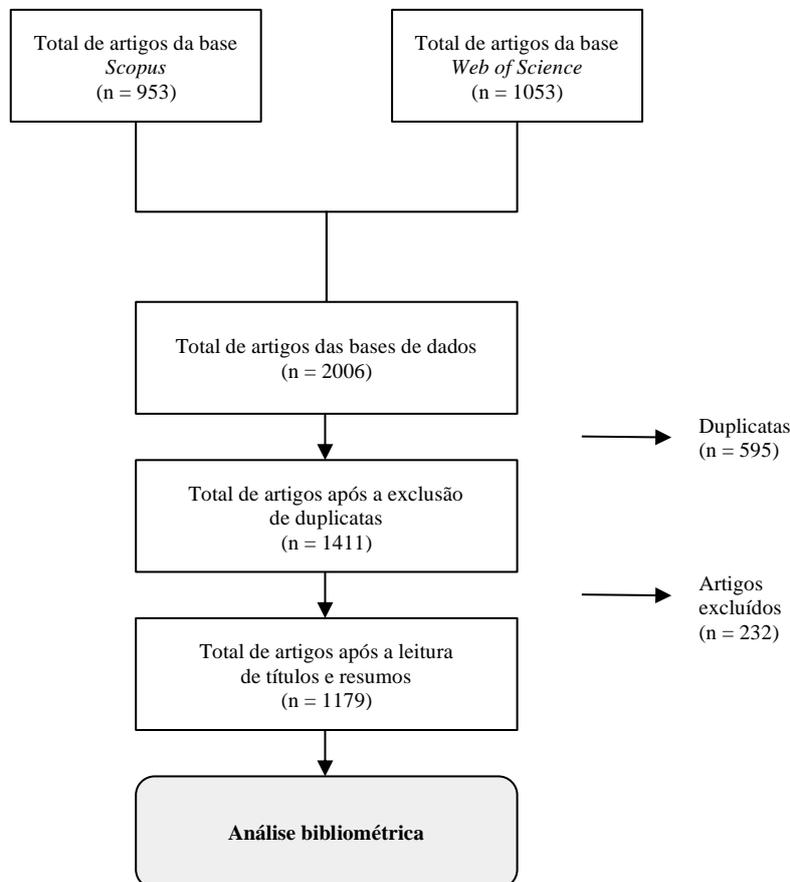
Para a pesquisa na Web of Science:  $(TS= (natural AND (dye* OR pigment* OR colorant*)) AND (stabilization OR stability) AND food)) AND (DT==(ARTICLE OR REVIEW))$ .

### 3.1.3 Processo de análise

Ao todo, a busca resultou em 953 documentos encontrados na base Scopus e 1053 documentos na base *Web of Science*. Estes documentos foram exportados de suas bases no formato de arquivo BibTex e importados no software RStudio versão 2023.03.0+386. Após a importação, os dois arquivos foram mesclados em uma única planilha Excel já com os arquivos duplicados removidos. Com a limpeza das duplicatas o novo total de artigos passou para 1411.

Diretamente na planilha Excel, foi realizada uma verificação manual, através da leitura dos títulos e resumos, visando a exclusão de artigos irrelevantes para o tema deste trabalho. Após esta etapa, um novo total de 1179 documentos foi validado. A Figura 1 apresenta o fluxograma seguido para seleção dos artigos.

Figura 1: Fluxograma do processo de seleção de artigos para análise bibliométrica.



Fonte: A autora (2023).

Estes 1179 documentos foram novamente importados para o RStudio e em conjunto com o pacote *bibliometrix* foi possível realizar a análise bibliométrica utilizando as diversas métricas disponíveis.

Primeiramente, foi realizada a avaliação de publicações ao longo do tempo, importante para identificar períodos de interesse e fornecer um contexto histórico para o estudo. Também foram avaliadas as publicações ao longo do tempo para as cinco principais revistas, identificando publicações mais influentes e populares, ajudando na compreensão das tendências de pesquisas dominantes e as principais contribuições dentro do campo de estudo.

Adicionalmente, foi realizada a análise da quantidade de publicações por país, bem como por idioma de publicação, análises importantes para a identificação dos países com maiores produções científicas na área e possíveis colaborações internacionais.

Além disso, o número de artigos por instituição de ensino e pesquisa foi avaliado, permitindo identificar as instituições mais significativas, número de artigos e citações dos principais autores, sendo possível identificar referências e linhas de pesquisa relacionadas.

Por fim, foram analisados os mapas de relacionamentos divididos em três categorias: i) mapa de colaboração de autores, identificando grupos de pesquisa; ii) mapa de co-citação de documentos, identificando relações entre diferentes trabalhos e iii) mapa de co-citação de autores, identificando interconexões e influências mútuas entre os pesquisadores.

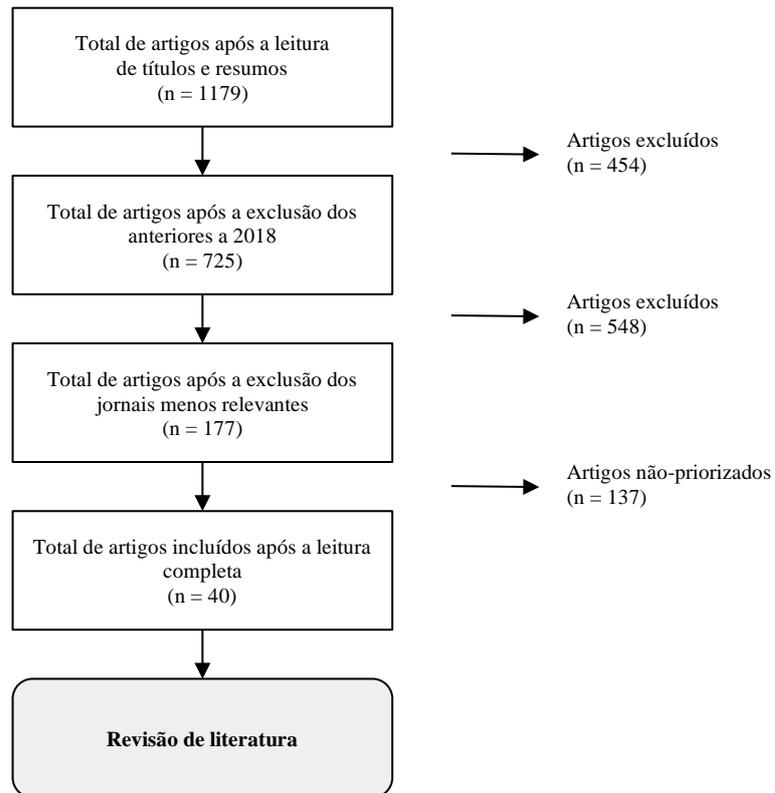
### 3.2 REVISÃO DA LITERATURA

A partir dos artigos encontrados na etapa 3.1 de análise bibliométrica e a fim de desenvolver uma compreensão abrangente e atualizada do assunto foco deste trabalho, foi realizada uma revisão de literatura.

Partindo dos 1179 documentos da etapa anterior, limitou-se o período para os últimos cinco anos, considerando os artigos publicados desde janeiro de 2018, obtendo-se 725 artigos. Identificou-se que estes eram provenientes de 226 periódicos distintos e dentro destes foram selecionados os 50 que mais publicaram. Para estas revistas, foi realizada uma avaliação do fator de impacto de acordo com Journal Citation Reports (JCR) e as 15 melhores classificadas tiveram seus artigos - 177 no total - selecionados para leitura integral.

Nestes 177 artigos, 40 traziam especialmente tópicos sobre estabilidade química e técnicas para melhorar a estabilidade e foram então priorizados. A Figura 2 apresenta o fluxograma seguido para a revisão de literatura.

Figura 2: Fluxograma do processo de seleção de artigos para revisão de literatura.



Fonte: A autora (2023).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

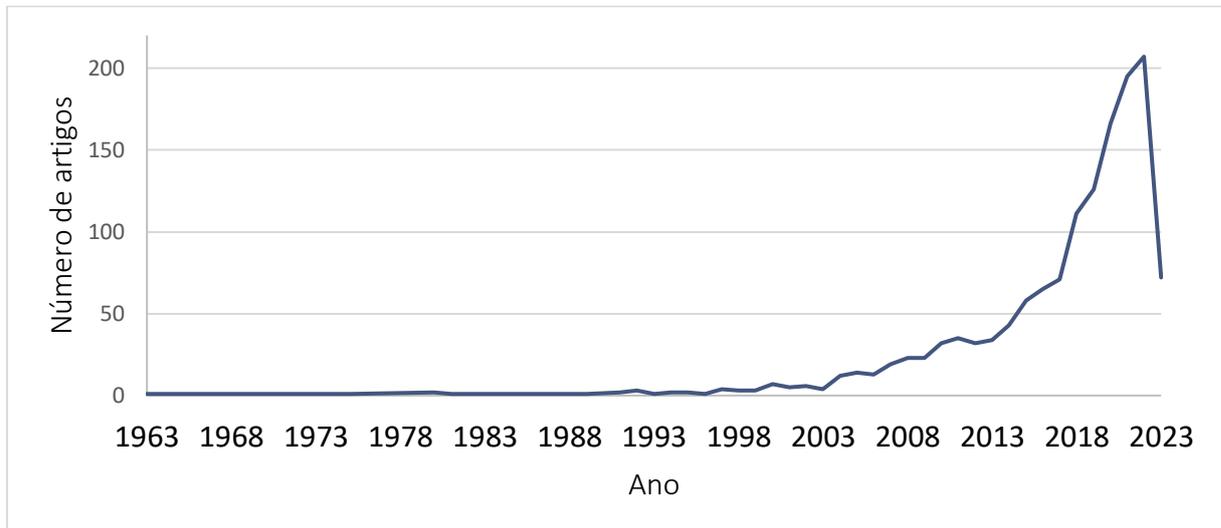
### 4.1 PUBLICAÇÕES AO LONGO DO TEMPO

A análise das publicações por ano é uma importante ferramenta para entender a evolução de um campo de estudo ao longo do tempo. A análise dos dados apresentada na Figura 3 evidencia que há pelo menos seis décadas já havia interesse científico na área de corantes naturais.

Um crescimento significativo no número de publicações a partir da década de 1990, com um aumento ainda mais expressivo a partir de 2010. Esse crescimento pode estar relacionado a diversos fatores, como o aumento do interesse científico no uso de compostos naturais em diversas aplicações, a busca por alternativas mais sustentáveis e seguras para substituir corantes sintéticos, além do aumento do investimento em pesquisas na área.

O ano de 2022 registrou a maior quantidade de publicações até o momento, com 174 artigos. É importante destacar que os resultados até 2023 consideram apenas os dados disponíveis até abril deste ano e, portanto, podem sofrer atualizações ao longo do tempo.

Figura 3: Evolução histórica do número de artigos.

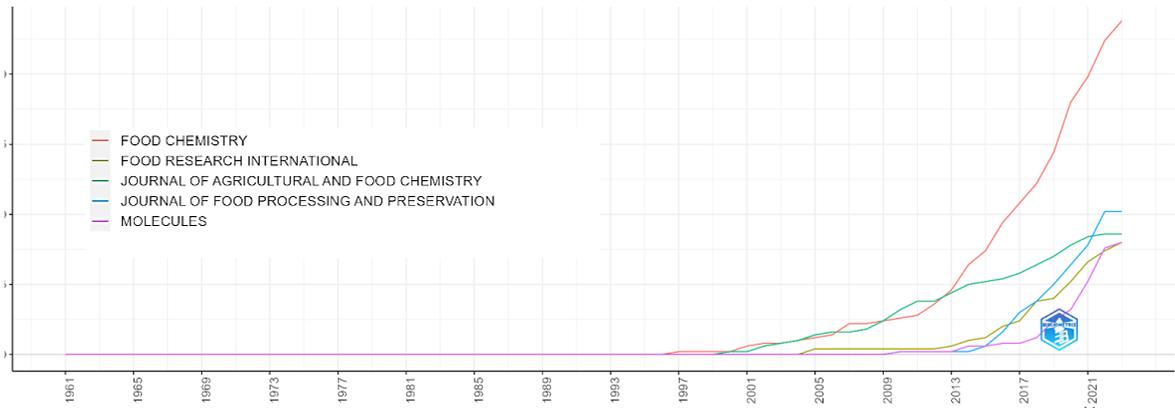


Fonte: A autora (2023).

Ao avaliar a Figura 4, que apresenta a produção das cinco principais fontes ao longo dos anos, foi percebido um padrão importante: uma vez que a revista iniciou suas publicações na área a quantidade de trabalhos só aumentou, crescendo exponencialmente. Esse crescimento

pode ser explicado pelo aumento no número de pesquisadores e a maior disponibilidade de recursos para pesquisa com interesse nesta área.

Figura 4: Evolução histórica das publicações por revistas mais relevantes.



Fonte: A autora (2023).

## 4.2 PAÍSES, INSTITUIÇÕES E AUTORES

Com relação à distribuição por país, a Tabela 1 apresenta os 10 países com maior quantidade de autores afiliados. Em primeiro lugar está a China, com 314 publicações, representando aproximadamente 26,6% de toda a base de 1179 artigos. O Brasil está em segundo lugar, com 309 publicações, representando cerca de 26,2%. Na sequência, estão os Estados Unidos, com 175 publicações (14,8%) e depois a Índia, com 130 publicações (11%).

Esses dados indicam que a China e o Brasil são os países mais representativos em termos de produção científica no tema, juntos somando mais da metade da produção científica total. A predominância do Brasil e da China pode ser atribuída a diferentes razões, tais como: a rica biodiversidade desses países, que oferece uma ampla gama de corantes naturais para pesquisa; a tradição cultural de uso de corantes naturais; e a relevância desses corantes para as indústrias têxtil e alimentícia, impulsionando a pesquisa sobre sua estabilidade química.

É importante ressaltar que, embora a produção científica seja uma medida importante de desenvolvimento científico, a qualidade e a relevância dos trabalhos também devem ser consideradas.

Tabela 1: Números de artigos publicados por países.

<b>País</b>	<b>Número de artigos</b>
China	314
Brasil	309
Estados Unidos	175
Índia	130
Espanha	92
Irã	85
Itália	81
México	79
Malásia	65
Coreia do Sul	61

Fonte: A autora (2023).

Ao analisar a frequência dos idiomas de publicação dos artigos na Tabela 2, fica evidente que o inglês é o idioma predominante, presente em 95,6% dos artigos. Isso reflete a importância do inglês como idioma universal da ciência e a necessidade de pesquisadores terem habilidades em inglês para acessar e contribuir com a produção científica internacional. Além disso, é interessante notar que o chinês, o espanhol e o português também aparecem na lista, mesmo que com uma frequência muito menor, o que pode indicar que esses idiomas são relevantes em algumas subáreas específicas da pesquisa.

Tabela 2: Número de artigos publicados por idioma.

<b>Idioma</b>	<b>Número de artigos</b>
Inglês	1127
Chinês	19
Espanha	6
Português	5
Coreano	5
Persa	3

Francês	2
Russo	2
Turco	2
Indonésio	2

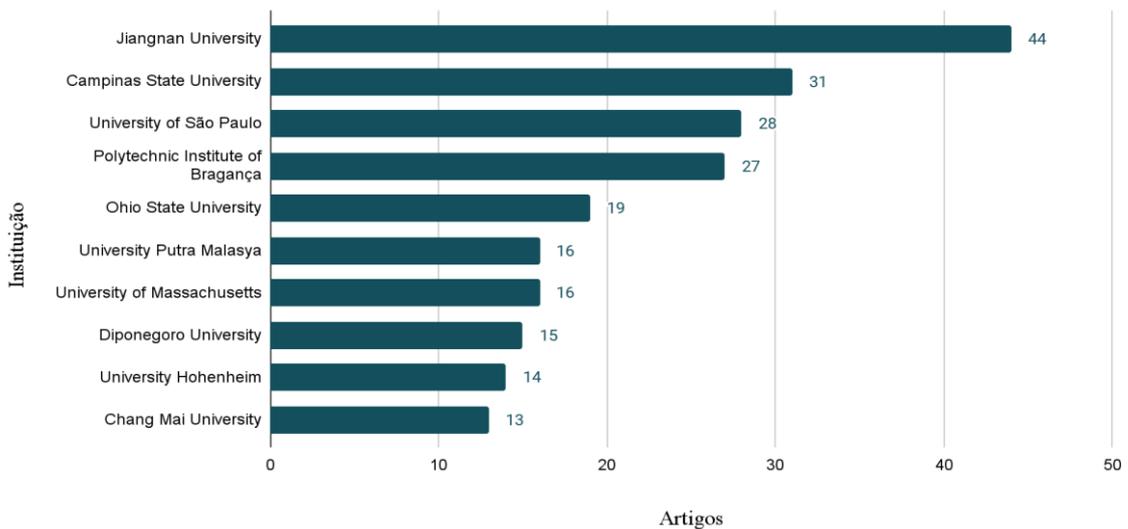
Fonte: A autora (2023).

Ao analisar a afiliação dos autores às instituições de ensino e pesquisa, a instituição chinesa Jiangnan University é a afiliação mais frequente, com 44 artigos, seguida pela Universidade Estadual de Campinas, com 31, e da Universidade de São Paulo, com 28. A presença de instituições brasileiras na lista é um reflexo do destaque que a pesquisa nacional possui.

A

Figura 5 apresenta os resultados em quantidade de artigos para as 10 principais instituições com autores afiliados. Essas afiliações são bastante produtivas e têm um forte envolvimento na área de pesquisa analisada. Além disso, é interessante notar que instituições de diferentes países, como o Instituto Politécnico de Bragança em Portugal, a Universiti Putra Malaysia na Malásia e a Chiang Mai University na Tailândia, também aparecem na lista. Isso sugere a presença de uma colaboração internacional e a diversidade de contribuições para a pesquisa da área.

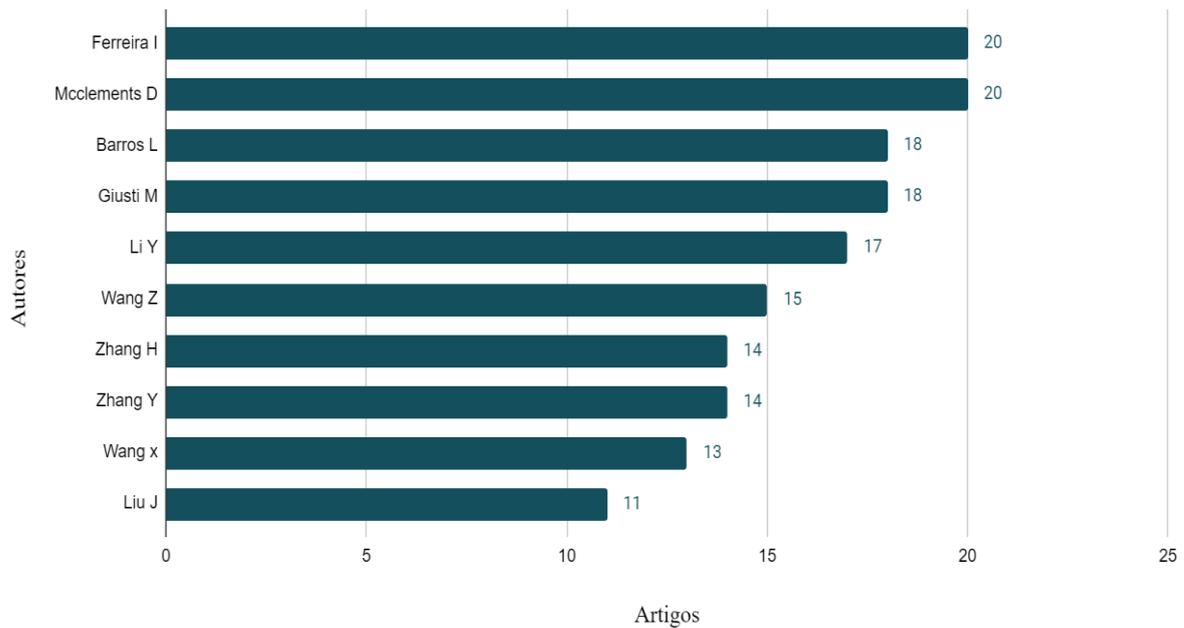
Figura 5: Número de artigos por instituição de pesquisa.



Fonte: A autora (2023).

Com relação aos autores, os dados na Figura 6 mostram que os autores com maior número de publicações (20) são Ferreira, I. do Instituto Politécnico de Bragança em Portugal e McClements, D., da Universidade de Massachusetts, nos Estados Unidos.

Figura 6: Quantidade de artigos publicados por autores.



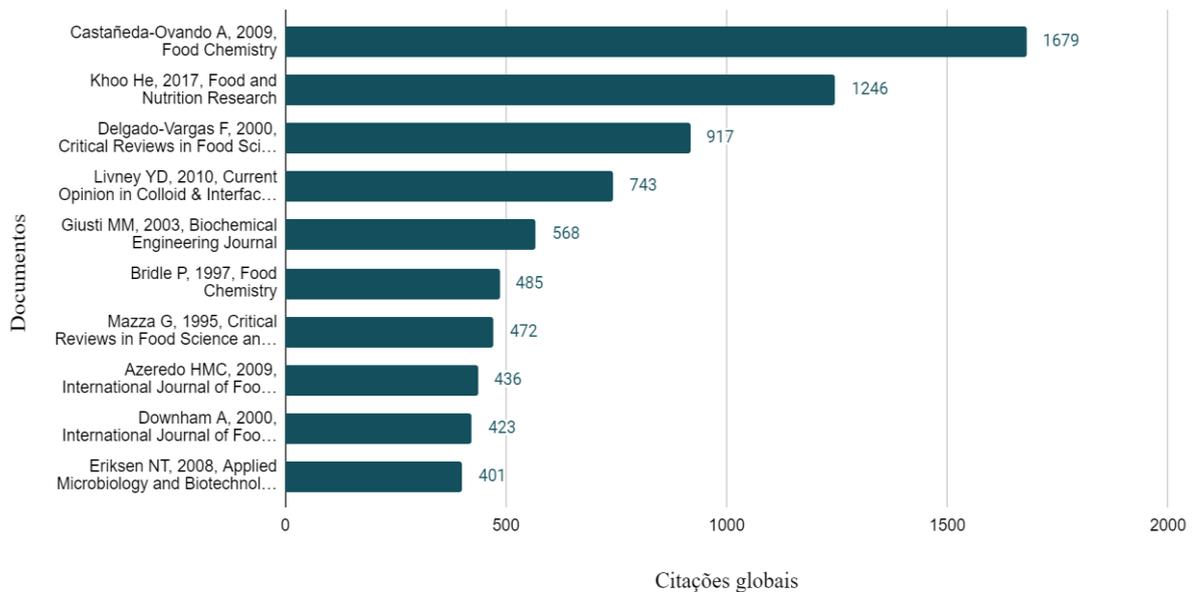
Fonte: A autora (2023).

Com base nos títulos dos artigos publicados por Ferreira, é possível inferir que a principal área de estudo desse autor é a pesquisa e aplicação de corantes naturais em alimentos, com foco em substâncias como betalaínas, antocianinas e carotenoides. Além disso, o autor também parece estar interessado em métodos de extração e formulação desses corantes para a produção de alimentos coloridos, bem como em aspectos relacionados à estabilidade e segurança desses aditivos naturais em alimentos.

Por outro lado, McClements aborda o desenvolvimento e aplicação de sistemas de entrega para compostos bioativos e pigmentos naturais aplicados aos alimentos. Seus artigos abrangem tópicos relacionados a nanoemulsões, estabilidade física e química, encapsulação, bioacessibilidade, bioatividade e características sensoriais de produtos alimentícios enriquecidos com compostos bioativos.

Os resultados da Figura 7 apresentam os resultados ao avaliar a quantidade de citações para os 10 autores mais citados, informação útil para entender as tendências e os temas mais relevantes da área em que os artigos estão inseridos.

Figura 7: Quantidade de artigos por autores mais citados



Fonte: A autora (2023).

O autor principal com mais citações é Castañeda-Ovando, com 1679 citações em um artigo publicado em 2009 na revista *Food Chemistry*. Esse grande número de citações indica que o artigo em questão é bastante relevante e se tornou uma referência na área. Nele, Castañeda-Ovando resume os avanços recentes na investigação química das antocianinas, abordando sua estabilidade em relação ao pH, co-pigmentação, complexação com íons metálicos e atividade antioxidante.

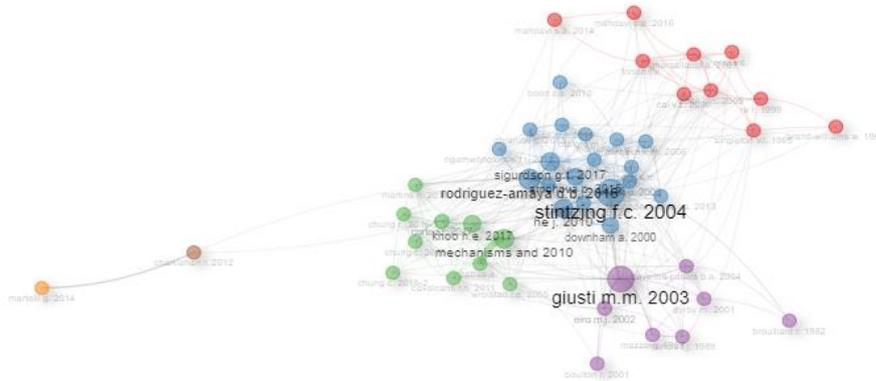
O segundo autor mais citado é Khoo, com 1246 citações em um artigo publicado em 2017 na revista *Food and Nutrition Research*. Isso pode indicar que o tema abordado em seu artigo é bastante atual e muito relevante para a área, pois em menos de 6 anos de publicação já é o segundo mais citado.

Entre os autores mais citados, há uma variedade de revistas, incluindo *Food Chemistry*, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *Biochemical Engineering Journal*, entre outras. Isso sugere que a pesquisa em questão é um campo multidisciplinar que abrange diferentes áreas de conhecimento.



Figura 9, identificam a relação entre os artigos, com base no fato de que dois artigos são considerados co-citados quando aparecem juntos nas listas de referências de um terceiro documento. O resultado permitiu a identificação de clusters separados de documentos que são frequentemente citados juntos, indicando uma possível proximidade temática ou interdependência conceitual. Aparentemente, os grupos de pesquisa não publicam juntos, demonstrando que são independentes ao pesquisar sobre o tema; logo, é um tema de interesse de vários grupos e não só de um grupo específico.

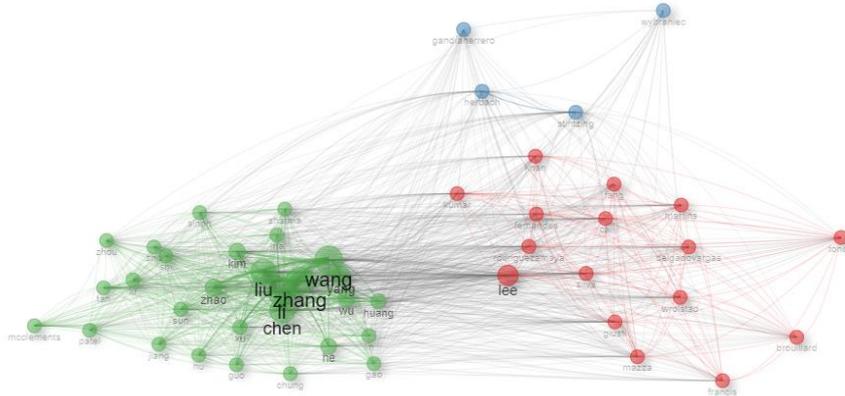
Figura 9: Rede de co-citação por documentos.



Fonte: A autora (2023).

Por fim, a análise de co-citação por autores, apresentada na Figura 10, é semelhante à análise anterior, mas em vez de identificar a co-citação de documentos, ela analisa a co-citação de autores. Isso é útil para identificar autores que trabalham em áreas temáticas semelhantes ou que colaboram frequentemente em trabalhos científicos.

Figura 10: Relação de co-citações por autores.



Fonte: A autora (2023).

## 5 REVISÃO DA LITERATURA

### 5.1 DEFINIÇÃO DE CORANTES

Corantes e pigmentos são compostos químicos que produzem o efeito de cor através da absorção da luz na região visível (BECHTOLD et al., 2009). A cor é produzida devida ao cromóforo, estrutura presente na molécula destes compostos; esta estrutura capta a energia e produz a excitação de um elétron de um orbital externo para um orbital superior; a energia não absorvida é refletida e/ou refratada para ser capturada pelo olho, e os impulsos neurais gerados são transmitidos ao cérebro, onde podem ser interpretados como uma cor (DELGADO-VARGAS, et al., 2000; PRAJAPATI, 2022).

A principal diferença entre corantes e pigmentos é que os primeiros são solúveis e os pigmentos são insolúveis e ficam suspensos em um meio. Essa diferença está relacionada ao tamanho das partículas, sendo os corantes muito menores que os pigmentos (CHRISTIE, 2015). Além disso, os corantes têm a capacidade de se ligar quimicamente ao substrato, enquanto os pigmentos exigem que o aglutinante (ou transportador) atue como uma espécie de cola que é pintada no substrato e envolve o pigmento para mantê-lo no lugar (BECHTOLD et al., 2009). Outra diferença importante é a resistência à luz, na qual os pigmentos são mais duradouros do que os corantes, que são mais suscetíveis ao desbotamento causado pela exposição à luz ultravioleta (NEDAMANI, 2022).

Para a Food and Drug Administration (FDA), órgão regulatório dos Estados Unidos, um aditivo de cor é qualquer corante, pigmento ou outra substância que pode conferir cor a um alimento, medicamento ou cosmético ou ao corpo humano. A Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar (EFSA), define que os corantes são aditivos alimentares adicionados aos alimentos principalmente pelas seguintes razões: i) para compensar as perdas de cor após a exposição à luz, ar, umidade e variações de temperatura; ii) para realçar as cores que ocorrem naturalmente; iii) para adicionar cor a alimentos que, de outra forma, seriam incolores ou coloridos de maneira diferente. No Brasil, a definição da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) considera como corante a substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimento (e bebida) (ANVISA, 1977).

## 5.2 HISTÓRIA DOS CORANTES

Desde tempos pré-históricos, a humanidade tem utilizado cores através do uso de tintas naturais em pinturas e tingimentos em tecidos (BECHTOLD et al., 2009). Por muitos séculos, essas tintas foram inteiramente feitas com recursos naturais e a sua resistência pode ser observada em pinturas rupestres preservadas até hoje (CHRISTIE, 2015).

Enquanto os corantes sintéticos ainda iniciavam o seu desenvolvimento, os corantes naturais continuaram a ser usados, principalmente na indústria têxtil, maior interessada neste tipo de produto. De acordo com Christie (2015), a fundação da indústria de corantes sintéticos é atribuída a Sir William Henry Perkin, que descobriu um corante roxo em 1856 enquanto pesquisava uma rota sintética para a quinina, uma droga antimalárica. O corante, que ele chamou de Anilina Roxa e mais tarde foi conhecido como mauveína, mostrou-se popular na indústria da moda devido à sua cor única e baixo custo. Perkin patenteou o produto e construiu uma fábrica para produzir o corante em grande escala, levando à origem da indústria química orgânica (ARDILA-LEAL et al., 2021).

Depois da descoberta do corante mauveína, a pesquisa em química de corantes aumentou significativamente na Europa. Os cientistas usaram principalmente anilina como matéria-prima e seguiram uma abordagem empírica para criar outros corantes sintéticos com potencial comercial. Logo, surgiram diversos corantes novos com uma grande variedade de cores da moda, incluindo vermelhos, azuis, verdes, violetas, amarelos, marrons e pretos, que eram superiores em propriedades e mais econômicos que a mauveína (ABEL, 2012; CHRISTIE, 2015).

Como resultado, em cerca de 50 anos após a descoberta inicial de Perkin, aproximadamente 90% dos corantes têxteis eram sintéticos em vez de naturais, e os corantes azo haviam surgido como o tipo químico dominante (BECHTOLD, 2009).

## 5.3 APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA

### 5.3.1 Indústria em geral

Os corantes, sejam naturais ou sintéticos, são amplamente utilizados na indústria em diversas áreas, tais como têxtil, alimentícia, cosmética, farmacêutica, de papel e celulose, entre outras. A aplicação de corantes na indústria é de extrema importância, pois permite a criação de produtos com uma ampla gama de cores e tonalidades (CORTEZ et al., 2016; JURÍĆ et al., 2018).

Os corantes sintéticos, em particular, são altamente valorizados pela sua capacidade de produzir cores vibrantes e duradouras, além de apresentarem maior estabilidade em relação aos corantes naturais. Além disso, a produção de corantes sintéticos em larga escala é relativamente fácil e barata, o que os torna economicamente viáveis para a indústria (OLUWANIYI et al., 2009).

No entanto, o uso excessivo de corantes sintéticos tem sido associado a riscos à saúde, como alergias e até mesmo câncer. Por isso, a indústria vem buscando alternativas mais seguras, como corantes naturais, por serem considerados mais seguros e sustentáveis, além de atenderem à demanda crescente do mercado por produtos naturais e orgânicos (LEONG et al., 2017; JURIC et al., 2018;).

### **5.3.2 Indústria de alimentos**

A indústria de alimentos visa satisfazer as expectativas dos consumidores, fornecendo alimentos cada vez mais seguros, saudáveis e atraentes. Para atingir estes objetivos, aditivos de sabor e cor são frequentemente utilizados (GRUMEZESCU et al., 2018).

A cor é um importante atributo sensorial dos alimentos que muitas vezes desempenha um papel importante no sucesso de mercado de um produto. É frequentemente usada pelo consumidor como um indicador de qualidade de sabor, segurança, valor nutricional e muito mais (MOHD-NASIR, 2018). Os aditivos de cor podem ser usados para vários propósitos, incluindo padronizar ou intensificar cores de ingredientes crus, fornecer identidades de cor para alimentos incolores e contabilizar perdas durante o processamento ou armazenamento (SIGURDSON et al., 2017).

Os corantes são considerados aditivos alimentares, uma vez que são adicionados visando conferir, intensificar e/ou restaurar a cor de um alimento, sem a finalidade de nutrição. No Brasil, a lista, a quantidade e a atualização de aditivos permitidos são de competência da ANVISA que segue acordos tanto com o Mercado Comum do Sul (MERCOSUL) como também com legislações internacionais reconhecidas como o Codex Alimentarius/JECFA, a União Europeia e o Food and Drug Administration (FDA) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1997).

Atualmente há uma movimentação por parte das indústrias, substituindo os corantes sintéticos por naturais. Essa mudança é motivada principalmente pela demanda do consumidor por produtos mais naturais e por crescentes estudos científicos que vêm associando os corantes sintéticos a prejuízos na saúde, tais como associação com hiperatividade infantil, reações alérgicas em pessoas sensíveis e até potenciais efeitos carcinogênicos (PAUL et al., 2022; MARTINS et al., 2016).

Apesar dos corantes sintéticos passarem por avaliações de segurança rigorosas e terem regulamentação restrita, a indústria alimentícia procura constantemente opções para atender às exigências do mercado em constante transformação e regulamentações mais rigorosas (SIGURDSON et al., 2017).

Entre os corantes sintéticos mais utilizados na indústria de alimentos, estão a tartrazina (amarelo), o vermelho allura, o azul brilhante e o amarelo crepúsculo. Já entre corantes naturais, destacam-se os carotenoides, as antocianinas e as betalaínas (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009). Como um dos principais corantes sintéticos, a tartrazina é um derivado nitroso amplamente utilizado na indústria. É conhecida por causar reações alérgicas como asma e urticária, além de ter sido foco de estudos sobre mutagênese e carcinogênese devido à sua transformação em ácido amino sulfanílico aromático após ser metabolizado pela microflora gastrointestinal (KHIRALLA et al., 20150; MOUTINHO et al., 2007).

Por outro lado, os corantes naturais são promotores da saúde, sendo associados a uma série de benefícios para a saúde devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (SAINI et al., 2022; BARREIRO et al., 2018; HE et al., 2010). Estudos sugerem que as antocianinas podem ajudar a reduzir o risco de doenças cardiovasculares (KHOO et al., 2017). E ainda as betalaínas e carotenoides fortalecem o sistema imunológico, auxiliando na proteção contra infecções e doenças (DELGADO-VARGAS et al., 2000).

#### 5.4 CLASSIFICAÇÕES DE CORANTES

Diferenças nas estruturas químicas, fontes e finalidade de uso tornam complexo o processo de classificação dos corantes, podendo ser classificados de acordo com vários critérios, tais como origem, estrutura química do cromóforo, solubilidade, poder de cobertura, entre outras. (NOVAIS et al., 2022)

Para este trabalho, as classificações mais relevantes são de acordo com sua origem (sintética ou natural) e especificamente para os naturais, a classificação de acordo com características da sua estrutura. Estas classificações serão detalhadas a seguir, bem como será apresentada a classificação dos corantes na legislação brasileira vigente.

## 5.4.1 Origem

### 5.4.1.1 Corantes sintéticos

Corantes sintéticos são produzidos em laboratório a partir de compostos químicos, de modo a obter um produto com as propriedades de cor desejadas. Exemplos incluem o tartrazina (amarelo), o vermelho 40 (vermelho) e o azul brilhante FCF (azul) (MARONPOT et al., 2020).

### 5.4.1.2 Corantes naturais

Devem ser obtidos diretamente da natureza, sem a intervenção de processos químicos sintéticos significativos. Podem ser derivados de fontes vegetais, animais, minerais ou microbianas e o cromóforo não deve ser modificado quimicamente durante a extração ou fabricação (MARONPOT, 2020).

Exemplos derivados de vegetais (Figura 11) incluem a curcumina (amarelo da cúrcuma), a clorofila (verde das folhas), a antocianina (vermelho das amoras); ou então de origem animal, tais como a púrpura de Tiro (obtida de um molusco) e o carmin (obtido da cochonilha). Os corantes de origem animal são menos comuns atualmente devido a preocupações éticas e de segurança alimentar (BENUCCI et al., 2022).

Figura 11: Alimentos diversos fonte de corantes naturais.

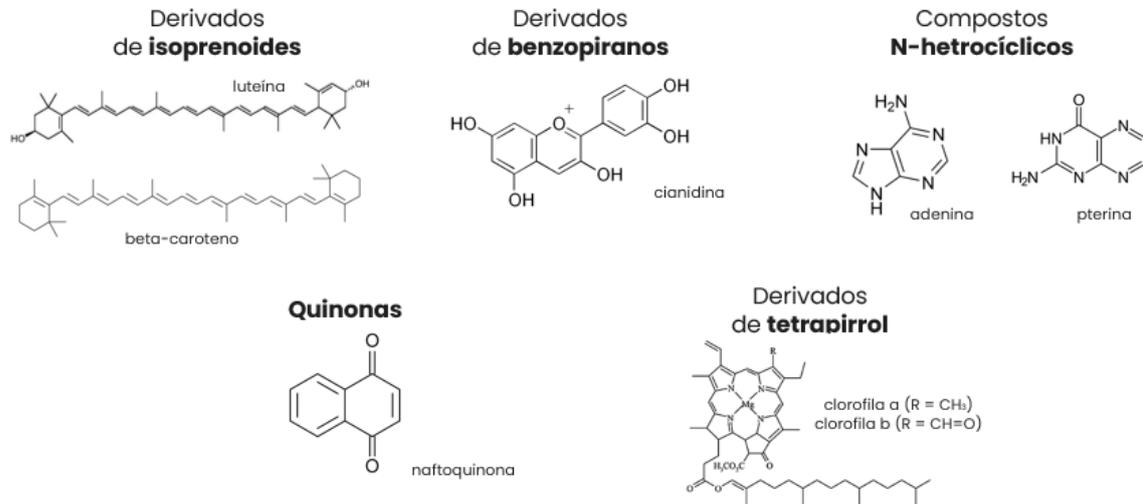


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

## 5.4.2 Estrutura

Segundo Delgado-Vargas et al. (2000), os corantes naturais podem ser classificados por suas características estruturais (Figura 12) como: i) Derivados do tetrapirrol: clorofilas e cores heme; ii) Derivados isoprenóides: carotenoides e iridóides; iii) Compostos N-heterocíclicos diferentes dos tetrapirróis: purinas, flavinas, fenazinas, fenoxazinas e betalaínas; iv) Derivados benzopiranos (compostos heterocíclicos oxigenados): antocianinas e outros pigmentos flavonoides; e v) Quinonas: benzoquinona, naftoquinona, antraquinona.

Figura 12: Estruturas químicas das principais classes de pigmentos.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

### 5.4.3 Corantes aplicados em alimentos no Brasil

De acordo com o Ministério da Saúde (1977), considera-se corante a substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimentos (e bebidas). Os corantes permitidos para serem utilizados são divididos em quatro categorias:

- corante natural orgânico: extraído de fontes vegetais ou animais e isolado através do uso de processos tecnológicos adequados;
- corante orgânico artificial; sintetizado organicamente através do uso de processos tecnológicos adequados e não encontrado naturalmente em produtos;
- corante sintético orgânico idêntico ao natural; cuja estrutura química é semelhante àquela do princípio isolado do colorante natural orgânico;
- pigmento inorgânico: extraído de substâncias minerais e passa por processos de elaboração e purificação apropriados para serem utilizados em alimentos.

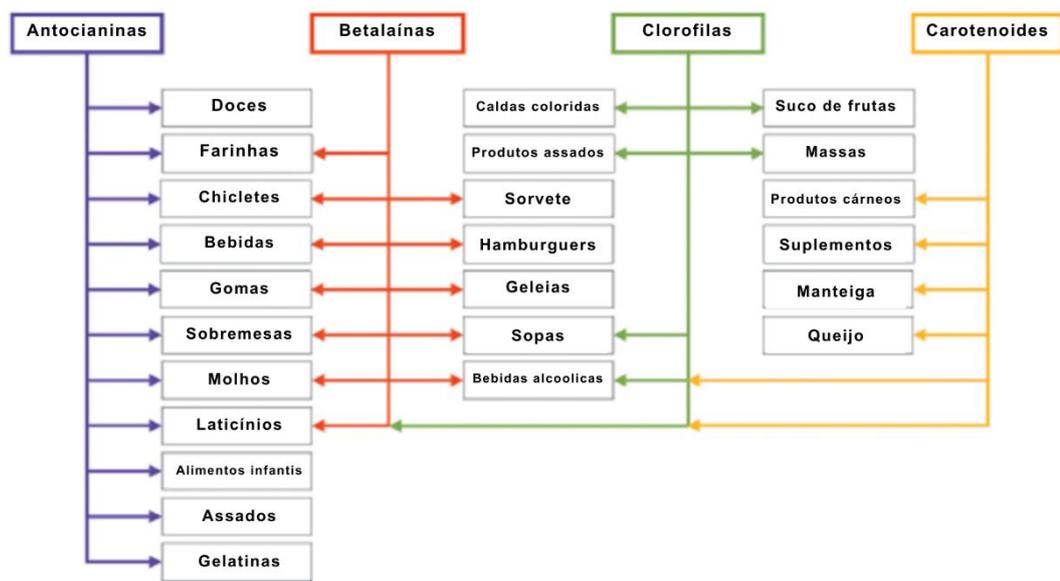
## 5.5 CORANTES NATURAIS

Os corantes naturais podem ser encontrados em plantas, frutas, vegetais, folhas, minerais e até em componentes estruturais de animais, além de fungos e bactérias (RODRÍGUEZ-MENA et al., 2023). No entanto, as plantas são a principal fonte de corantes

naturais. Frutas e vegetais ricos em pigmentos corantes já são frequentemente consumidos na alimentação humana (NABI et al., 2023).

Apesar de existirem corantes naturais obtidos a partir de fontes alternativas, para Grumezescu et al. (2018), aqueles obtidos de fonte vegetal são os mais utilizados como aditivos alimentares, tendo aplicações para os mais diversos produtos (Figura 13).

Figura 13: Principais classes de alimentos onde são incorporados pigmentos naturais.



Fonte: Juric, 2018 (Adaptado).

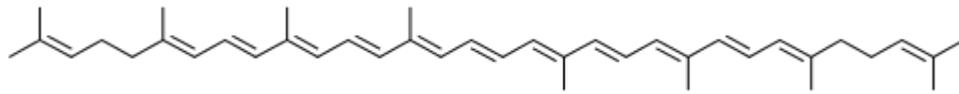
A seguir, serão detalhadas as principais classes de corantes naturais vegetais utilizados em alimentos: os carotenoides, as antocianinas e as betalainas.

### 5.5.1 Carotenoides

Os carotenoides constituem uma vasta variedade de mais de mil pigmentos lipossolúveis naturais presentes em organismos como plantas, algas, fungos e bactérias (HENCKEN, 1992). Podem ser classificados em duas categorias distintas de acordo com sua estrutura química: xantofilas e carotenos. Os carotenos consistem unicamente em átomos de hidrogênio e carbono, ao passo que as xantofilas apresentam também átomos de oxigênio. Ambas as categorias possuem afinidade por substâncias lipídicas. (STEPHENSON et al., 2021)

Exemplos de carotenos incluem: beta-caroteno (encontrado na cenoura e na abóbora); licopeno (Figura 14) (presente em tomates, goiabas vermelhas e melancias) e alfa-caroteno (encontrado em vegetais verdes, como espinafre e brócolis) (MAIANI, 2009).

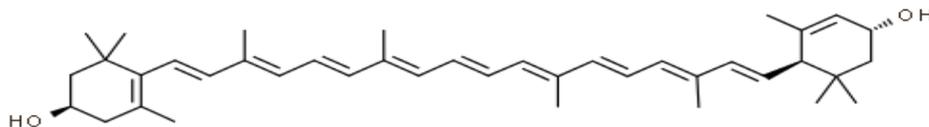
Figura 14: Estrutura química do licopeno.



Fonte: Chemspider (2023).

Exemplos de xantofilas incluem luteína (Figura 15) (abundante em gemas de ovos); zeaxantina (presente em alimentos como milho e pimentão amarelo); capsantina (encontrada em pimentões vermelhos e pimentas) e criptoxantina (encontrada em frutas cítricas, como laranjas e tangerinas). (MAIANI, 2009)

Figura 15: Estrutura química da luteína.



Fonte: Chemspider (2023).

Os carotenoides são muito atraentes e conhecidos por desempenharem um papel importante na nutrição e saúde humana, com potenciais antioxidantes são fonte de provitamina A (responsável pela saúde dos olhos) e, ainda, apresentam propriedades anticancerígenas (GONZÁLEZ-PEÑA et al., 2023). Eles são frequentemente empregados em produtos de panificação, como pães, bolos e biscoitos, bem como em produtos lácteos e bebidas (TANAKA et al., 2008).

Entretanto, o processamento de alimentos tem um impacto relevante na qualidade nutricional e na estabilidade dos carotenoides. O conteúdo e o padrão de carotenoides são modificados durante o armazenamento pós-colheita de materiais vegetais, bem como durante o processamento - em casa ou na indústria - e o armazenamento de produtos alimentícios (SOUSA et al., 2022; BOON, 2008).

De acordo com Amorim et al. (2022), o processamento térmico pode diminuir os teores carotenoides, mas também pode ser benéfico ao promover a quebra das matrizes alimentares liberando e solubilizando esses nutrientes, resultando em maior biodisponibilidade. Operações de processamento que reduzem o tamanho das partículas ou incorporam uma fase oleosa nas formulações alimentares também aumentam a bioacessibilidade dos carotenoides (BOON, 2008).

Por outro lado, a oxidação é a principal causa da degradação de carotenoides. A luz ultravioleta é especialmente prejudicial, quebrando as ligações conjugadas dos carotenoides. O calor acelera as reações químicas, afetando sua estabilidade durante o processamento e armazenamento de alimentos (SOUSA et al., 2022). A presença de oxigênio resulta na formação de compostos indesejáveis, comprometendo a qualidade dos alimentos. Metais catalíticos, como cobre e ferro, aceleram a degradação ao agirem como catalisadores para a formação de radicais livres que oxidam os carotenoides (AMORIM et al., 2022; SRIDHAR et al., 2021).

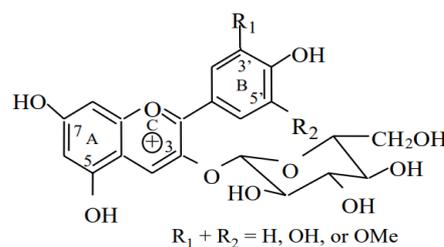
### 5.5.2 Antocianinas

As antocianinas (do grego anthos = flor e kianos = azul) constituem o maior e provavelmente o mais importante grupo de pigmentos naturais solúveis em água (GUO et al., 2022). Já foram identificadas mais de 600 antocianinas na natureza, sendo responsáveis pela cor azul, púrpura e vermelha viva de muitas frutas, vegetais e flores (CASTAÑEDA-OVANDO et al., 2009).

As antocianidinas são as estruturas básicas das antocianinas. Consistem em um anel aromático ligado a um anel heterocíclico que contém oxigênio, que também está ligado por uma ligação carbono-carbono a um terceiro anel aromático. Quando as antocianidinas estão presentes em sua forma glicosídica (associadas a uma parte de açúcar), são denominadas antocianinas (GUO et al., 2022; HE, 2010).

Embora existam centenas de antocianinas, de acordo com Wrolstad et al. (2005), seis compostos são mais comumente encontrados na natureza, são estes: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina. O que diferencia uma antocianina da outra é a estrutura química da molécula. Uma estrutura generalizada para pigmentos de antocianina é mostrada na Figura 16.

Figura 16: Estrutura generalizada para antocianinas.



Fonte: Wrolstad et al. (2005).

As antocianinas isoladas são altamente instáveis e muito suscetíveis à degradação (CHUNG et al., 2017). Sua estabilidade é afetada por vários fatores, temperatura de

armazenamento, estrutura química, concentração, luz, oxigênio, solventes, presença de enzimas, flavonoides, proteínas e íons metálicos. Além disso, o pH é outro fator importante que diferencia a aparência das cores das antocianinas. Em condições ácidas, produz uma cor vermelha e a cor azul é obtida em condições neutras (CASTAÑEDA-OVANDO, 2009).

As antocianinas têm sido utilizadas como corantes em vários alimentos e bebidas, tais como geleias, embutidos, iogurtes e sucos. Estes compostos aumentam a capacidade antioxidante dos produtos e apresentam atividade antimicrobiana; por exemplo, antocianinas de mirtilos silvestres apresentaram atividade antibacteriana contra *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella enteritidis* e *Vibrio parahaemolyticus* (KOOP, 2022).

No que diz respeito à utilização como aditivo natural em produtos alimentares, assim como os carotenoides, as antocianinas possuem propriedades antioxidantes, desempenhando um papel vital na prevenção de doenças neurais e cardiovasculares, câncer e diabetes, entre outras (CHUNG et al., 2017; HE, 2010).

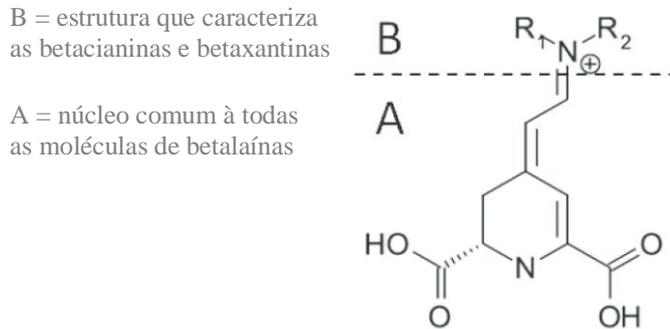
### 5.5.3 Betalaínas

As betalaínas são compostos corantes naturais encontrados em certos vegetais, especialmente em algumas variedades de beterraba e cactos do gênero *Opuntia* (KUMORKIEWICZ-JAMRO et al., 2021). São responsáveis por conferir tonalidades vermelhas, roxas e amarelas a essas plantas. Na indústria alimentícia, as betalaínas são utilizadas como corantes em diversos produtos como sucos, sorvetes, biscoitos, lácteos e bebidas alcoólicas (CALVA-ESTRADA et al., 2022).

Quimicamente, as betalaínas são compostos nitrogenados solúveis em água. São derivadas de dois tipos principais de moléculas: betacianinas e betaxantinas. As betacianinas são pigmentos vermelhos e roxos, enquanto as betaxantinas são pigmentos amarelos (SLIMEN et al., 2017). Ambos os grupos possuem uma estrutura básica semelhante, mostrada na

Figura 17. Dependendo do tipo específico de betalaina, substituintes diferentes podem estar presentes nos anéis, o que confere diferentes cores e propriedades químicas (HERBACH et al., 2006).

Figura 17: Estrutura geral das betalaínas.



Fonte: Herbach et al. (2006).

A estabilidade da betalaína é afetada por vários fatores externos e específicos, tais como: temperatura, presença de oxigênio, valores de pH e de atividade de água ( $a_w$ ). Para garantir a retenção ideal de pigmento e cor em alimentos betalaínicos, as condições específicas de tempo e temperatura durante a fabricação de alimentos devem ser cuidadosamente controladas. Além disso, fatores externos durante o armazenamento, como temperatura, luz e exposição ao oxigênio, precisam ser considerados ((KUMORKIEWICZ-JAMRO et al., 2021; HERBACH et al., 2006).

Além de sua função como corantes, as betalaínas também oferecem benefícios nutricionais significativos, apresentando propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (DELGADO-VARGAS et al., 2000). Estudos têm demonstrado que as betalaínas podem ajudar a combater o estresse oxidativo, reduzindo a formação de radicais livres e aumentando as defesas antioxidantes do corpo. Isso pode ter um efeito benéfico na prevenção de doenças crônicas, como doenças cardiovasculares, câncer e doenças neurodegenerativas (SLIMEN et al., 2017).

Outro benefício nutricional das betalaínas é o seu potencial efeito protetor sobre o sistema digestivo (SADOWSKA-BARTOSZ et al., 2021). Estudos indicam que esses compostos podem ajudar a melhorar a saúde do trato gastrointestinal, promovendo a saúde das células intestinais e a redução de inflamações no intestino (SLIMEN et al., 2017).

### 5.5.4 Vantagens e desvantagens

Atualmente, estão sendo conduzidos diversos estudos sobre as vantagens e desvantagens do uso de corantes naturais e sintéticos em produtos alimentícios, como descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens dos corantes naturais e sintéticos.

Corantes naturais		Corantes sintéticos	
Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Biodegradáveis	Baixa estabilidade	Alta estabilidade	A maioria não é biodegradável
Não apresentam riscos para a saúde	Alto custo de produção para um menor rendimento	Relativamente baratos de serem produzidos	Efeitos adversos à saúde (reações alérgicas)
Fontes renováveis	Matéria-prima sujeita a disponibilidade	Maior possibilidade de cores e cores vibrantes	Produzidos artificialmente
Variedade de cores	Cores são menos intensas		Toxicidade
Menor toxicidade			Impacto ambiental
Facilidade de remoção no tratamento de efluentes			
Atendimento às demandas dos consumidores			
Benefícios nutricionais			

Fonte: Adaptado de MOLINA et al., 2022

Embora os sintéticos sejam mais estáveis, baratos e acessíveis, eles estão relacionados com problemas de saúde (SHAKOOR et al., 2021). Por isso, há um crescente interesse no estudo e desenvolvimento de corantes naturais, que além de não oferecerem os riscos dos corantes sintéticos, ainda oferecem benefícios ao consumidor, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (MOLINA et al., 2022).

Quando se trata do tratamento de efluentes, os corantes sintéticos apresentam desafios significativos. Os resíduos resultantes da produção desses corantes são altamente poluentes e podem conter substâncias tóxicas (HUSSAIN et al., 2019). Já os corantes naturais apresentam-se como compostos sustentáveis, contendo compostos orgânicos biodegradáveis e nutrientes,

que podem ser tratados de forma mais eficiente por processos convencionais e mais simples (ARDILA-LEAL et al., 2021).

Por outro lado, os corantes naturais enfrentam desafios de estabilidade, pois são sensíveis a fatores como luz, pH e temperatura (JURÍĆ et al., 2018). Ainda, em comparação com os artificiais, os naturais apresentam um custo de produção elevado e podem depender da sazonalidade agrícola. Além disso, o uso de corantes naturais como aditivos alimentares ainda é limitado devido a restrições regulatórias e avaliações rigorosas de segurança, o que impacta o avanço da pesquisa nessa área (GRUMEZESCU et al., 2018).

No geral, embora os corantes naturais sejam considerados mais seguros em comparação aos corantes artificiais, é importante estar ciente de que alguns riscos de toxicidade podem estar associados a eles (ARDILA-LEAL et al., 2021). Portanto, é crucial consumi-los com moderação e seguir as orientações das autoridades regulatórias em relação ao uso adequado dos corantes naturais na indústria de alimentos (MOLINA et al., 2022).

## 5.6 TÉCNICAS PARA AUMENTAR A ESTABILIDADE

Como visto, os corantes naturais são amplamente reconhecidos como excelentes opções para uso em alimentos, devido à sua origem sustentável e potencial para oferecer uma ampla gama de cores vibrantes. No entanto, é importante destacar que esses corantes apresentam uma característica particular que merece atenção: a baixa estabilidade química.

A estabilidade dos corantes é uma propriedade essencial para garantir a durabilidade e a qualidade dos produtos alimentícios. Portanto, torna-se imprescindível a aplicação de técnicas e estratégias adequadas para aumentar a estabilidade dos corantes naturais, de forma a preservar suas propriedades coloridas e prolongar sua vida útil.

### 5.6.1 Encapsulação

A encapsulação (nano e microencapsulação) é uma técnica de processamento de corantes naturais amplamente estudada nos últimos anos, que permite aumentar a estabilidade dos materiais de revestimento ao limitar sua interação com o ar e outros constituintes dos alimentos (RIBEIRO et al, 2021; STEINER et al., 2018).

Ainda, de acordo com Singh et al. (2023) e González-Peña et al. (2023), a encapsulação também minimiza os efeitos das altas temperaturas nos corantes, a redução da atividade de água (que reduz o crescimento microbiano e os custos de armazenamento e transporte), além de permitir o uso desses compostos em alimentos nos quais seriam incompatíveis devido ao pH ou

condições de solubilidade. Diferentes princípios são utilizados para encapsulação de compostos corantes, tais como: *spray drying*, co-cristalização e emulsificação (RIBEIRO et al., 2021; SANTOS et al., 2021).

O *spray drying* consiste na atomização de uma solução, suspensão ou emulsão em um material da parede e do núcleo sob uma corrente de ar quente, resultando em secagem instantânea e pulverização da mistura, na qual o material da parede cobre o composto de interesse (RIBEIRO et al., 2021; JIMÉNEZ-GONZÁLEZ et al., 2021).

Durante esse processo, os corantes são encapsulados em partículas protetoras, o que os resguarda contra fatores externos, como luz, oxigênio e umidade, que podem causar sua degradação (SILVA et al., 2014). Além disso, a encapsulação reduz a interação dos corantes com outros componentes da formulação, evitando alterações indesejadas na cor e atividade antioxidante. O *spray drying* também aumenta a solubilidade dos corantes, facilitando sua dispersão em diferentes meios. A forma seca e estável dos corantes obtida por esse método simplifica sua dosagem, aplicação e armazenamento, prolongando a vida útil dos produtos que os contêm (CASTRO-ROSAS et al., 2017).

A co-cristalização é outra técnica de encapsulação utilizada para aumentar a estabilidade dos corantes em alimentos. Envolve a cristalização do açúcar juntamente com o material de interesse, produzindo cristais imperfeitos que aprisionam o material do núcleo (FANG et al., 2010).

Segundo Federzoni et al. (2019), a formação de cristais imperfeitos permite aprisionar os corantes naturais dentro da estrutura cristalina do açúcar, resultando em uma matriz que protege os corantes. Isso oferece estabilidade e proteção contra luz, oxigênio e umidade, que podem degradar os corantes. A encapsulação dos corantes dentro dos cristais de açúcar reduz a interação direta com o ambiente externo, minimizando a exposição a elementos que podem deteriorá-los (FANG et al., 2010). Além disso, a matriz de açúcar atua como uma barreira física, protegendo os corantes contra reações químicas indesejadas, como oxidação ou degradação enzimática (KARANGUTKAR et al., 2019).

Além da aplicação de *spray drying* e co-cristalização, a emulsificação é outra técnica bastante aplicada com o objetivo de aumentar a estabilidade química dos corantes dentro da metodologia de encapsulação (RIBEIRO et al., 2021). De acordo com Silva et al. (2014), a técnica de emulsificação consiste na dispersão do material do núcleo em um solvente orgânico contendo o material da parede, seguida da emulsão do material em óleo ou água, juntamente com um estabilizador. O solvente é evaporado com agitação, formando assim micropartículas globulares. Essas micropartículas globulares atuam como uma barreira protetora ao redor dos

corantes naturais, impedindo a interação direta dos corantes com fatores externos que podem causar a degradação (CASTRO-ROSAS et al., 2017). Além disso, Na et al. (2014) afirma que a encapsulação por emulsificação melhora solubilidade dos corantes, tornando-os mais dispersíveis na matriz do alimento e ainda os protege contra reações químicas indesejadas, como oxidação ou interações com outros componentes do alimento.

### **5.6.2 Co-pigmentação**

A co-pigmentação envolve a combinação de corantes naturais com compostos adicionais, conhecidos como co-pigmentos (HARSITO et al., 2021). Esses co-pigmentos interagem com os corantes naturais, formando complexos estáveis que podem melhorar a estabilidade e intensidade da cor. A co-pigmentação acontece através de interações físicas, como ligações de hidrogênio ou interações iônicas, ou por meio de reações químicas específicas (DENG et al., 2022).

Ao utilizar a co-pigmentação, é possível obter uma maior estabilidade dos corantes naturais, especialmente em relação à sua resistência à luz, pH e oxidação. Além disso, essa técnica pode promover melhorias na solubilidade e na tonalidade dos corantes, proporcionando cores mais vibrantes e duradouras aos alimentos (HUANG et al., 2021; NOVAIS et al., 2022).

Vale ressaltar que a escolha dos co-pigmentos adequados depende do corante natural em questão e das características desejadas para o produto. Diferentes corantes podem requerer co-pigmentos específicos para obter os melhores resultados em termos de estabilidade e qualidade da cor (HARSITO et al., 2021).

### **5.6.3 Complexação**

A complexação envolve a formação de complexos estáveis entre o corante natural e outros compostos, como ciclodextrinas, proteínas ou polissacarídeos (TAPAL et al., 2012). Esses complexos podem melhorar a estabilidade química dos corantes, protegendo-os contra a degradação causada por fatores ambientais adversos (TAN et al., 2018).

A utilização de compostos como polissacarídeos, pode melhorar a solubilidade do corante, permitindo sua dispersão uniforme nos produtos alimentícios e evitando a formação de sedimentos ou aglomerados indesejáveis (ROCHA, et al., 2023). Já o uso de proteínas, pode proteger os corantes naturais contra a oxidação, uma vez que esses compostos complexam-se com o corante, criando um ambiente onde o contato direto com o oxigênio é minimizado (TAPAL et al., 2012).

E ainda, a complexação com ciclodextrinas, por exemplo, pode conferir maior estabilidade aos corantes, protegendo-os contra as variações de pH e temperatura encontradas durante o processamento e armazenamento de alimentos (TAPAL et al., 2012; TAN et al., 2018).

#### **5.6.4 Acilação química**

A acilação é a esterificação de grupos hidroxila por doadores de acil alifáticos ou doadores de acil aromáticos e constitui uma modificação universalmente observada de metabólitos secundários de plantas, contribuindo para vários produtos com propriedades físicas e biológicas mutáveis (CUNNINGHAM et al., 2008; LUO et al., 2022).

É uma técnica utilizada para aumentar a estabilidade química de compostos corantes naturais, principalmente as antocianinas (JOKIOJA et al., 2021). A adição do grupo acil ajuda a proteger a estrutura molecular da antocianina, reduzindo sua suscetibilidade à degradação causada pela luz e ainda aumenta a estabilidade em uma faixa mais ampla de pH (CUNNINGHAM et al., 2008).

Além disso, de acordo com Luo et al. (2022), a acilação também pode aumentar a estabilidade térmica das antocianinas, permitindo que elas resistam a altas temperaturas durante processos industriais, como pasteurização ou esterilização e ainda, segundo Jokioja et al. (2021), pode alterar as propriedades solúveis, tornando as antocianinas mais solúveis em solventes orgânicos, o que pode ser vantajoso em aplicações alimentares específicas.

#### **5.6.5 Estabilização do pH**

Cada corante natural possui um pH ideal em que sua cor é mais estável (DELGADO-VARGAS et al., 2000). Identificar esse pH é fundamental para garantir a melhor estabilidade do corante, sendo necessário realizar testes experimentais para determinar qual faixa de pH proporciona a maior estabilidade do corante (NEDAMANI et al., 2022).

Além de ajustar o pH para a faixa ideal, é possível utilizar estabilizadores de pH que ajudam a manter o valor ajustado durante o processamento e armazenamento dos alimentos (RODRIGUEZ-AMAYA, 2016). Esses estabilizadores de pH podem ser aditivos alimentares específicos, como ácido cítrico, ácido ascórbico ou fosfatos, que são capazes de manter o pH estável e prevenir variações indesejadas (NEDAMANI et al., 2022; DELGADO-VARGAS et al., 2000).

### 5.6.6 Outras técnicas a serem consideradas

Além das estratégias mencionadas anteriormente, como encapsulação, co-pigmentação, complexação, acilação química e ajuste de pH, outros fatores também desempenham um papel crucial na preservação dos corantes naturais aplicados aos alimentos.

Um desses fatores é o modo de processamento dos alimentos. Durante o processamento, as condições de temperatura, pressão, tempo e presença de oxigênio podem afetar a estabilidade dos corantes naturais (HARSITO et al., 2021). Portanto, é importante adotar técnicas de processamento adequadas, de acordo com cada produto e composto corante natural contido nele. Muitas vezes é necessária a utilização de baixas temperaturas, tempos de aquecimento reduzidos e atmosferas controladas para minimizar a degradação dos corantes (DELGADO-VARGAS et al., 2000; JURIC' et al., 2018)

Além disso, a escolha das embalagens também desempenha um papel crucial na estabilidade dos corantes naturais (ASSIS et al., 2021). Embalagens que oferecem barreira efetiva à luz, umidade e oxigênio podem proteger os corantes da degradação causada por fatores ambientais. Embalagens opacas, resistentes à luz ultravioleta e com propriedades de barreira adequadas podem ajudar a preservar a cor dos alimentos por um período mais longo (DAS et al., 2019; ASSIS et al., 2021).

Outro aspecto relevante alinhado às embalagens é o armazenamento adequado dos produtos alimentícios (SONAR et al., 2019; DAS et al., 2019). A exposição à luz direta, temperaturas elevadas e umidade durante o armazenamento (e transporte) pode levar à degradação dos corantes. Portanto, é essencial armazenar os produtos em locais frescos, secos e escuros, a fim de minimizar a degradação dos corantes naturais (JURIC' et al., 2018).

## 5.7 MERCADO E PERSPECTIVAS FUTURAS

Nos últimos anos, houve um notável aumento no mercado de corantes naturais devido à crescente demanda dos consumidores por alimentos mais saudáveis e sustentáveis (SIGURDSON et al., 2017). A indústria de alimentos tem reconhecido o potencial dos corantes naturais para atrair consumidores conscientes, que buscam ingredientes mais naturais em sua alimentação (SCHWEIGGERT et al., 2018). Relatórios indicam que a indústria de corantes naturais apresentou um crescimento anual médio de 5%, nos últimos anos, contra 2% dos sintéticos (FACT.MR 2023; MORDOR INTELLIGENCE 2023), o que reflete claramente a mudança de preferências dos consumidores e sua disposição em investir em produtos que promovam uma alimentação mais saudável.

Uma das principais vantagens dos corantes naturais de acordo com Sigurdson et al. (2017) é a sua origem a partir de fontes naturais, como frutas, vegetais e plantas. Essa característica confere aos corantes naturais um apelo mais natural e autêntico, o que é altamente valorizado pelos consumidores atualmente (RODRIGUEZ-AMAYA, 2016). Outro benefício importante dos corantes naturais é a presença de propriedades antioxidantes (SLIMEN et al., 2017). Diversos estudos têm demonstrado que os compostos presentes em corantes naturais possuem atividades antioxidantes, contribuindo para a proteção do organismo contra os danos causados pelos radicais livres (TEREUCAN et al., 2021).

Além disso, alguns corantes naturais podem apresentar propriedades benéficas para a saúde, como efeitos anti-inflamatórios e potencial anticancerígeno (GONZÁLEZ-PEÑA et al., 2023). Esses aspectos são especialmente relevantes em um contexto em que os consumidores buscam cada vez mais alimentos funcionais, que promovam benefícios adicionais além da nutrição básica (BARREIRO et al., 2018; HE et al., 2010).

No entanto, apesar das vantagens dos corantes naturais, ainda existem desafios a serem superados. A estabilidade desses compostos é um ponto crítico, uma vez que eles podem ser sensíveis a fatores como luz, temperatura e pH (BENUCCI et al., 2022). A indústria de alimentos precisa investir em pesquisas e estudos para desenvolver técnicas que aumentem a estabilidade dos corantes naturais, garantindo sua preservação ao longo do tempo e em diferentes condições de processamento e armazenamento (DELGADO-VARGAS et al., 2000; KOOP et al., 2022). Outro desafio é a concorrência industrial, que muitas vezes favorece a utilização de corantes artificiais devido aos seus baixos custos e maior estabilidade, exercendo influência sobre as políticas e regulamentações governamentais, tornando difícil para os corantes naturais competirem em igualdade de condições (CALVA-ESTRADA et al., 2022).

Conforme Calva-Estrada (2022), é necessário um investimento contínuo em pesquisa e desenvolvimento para atender à crescente demanda por corantes naturais e superar os desafios associados a eles. A indústria de alimentos precisa buscar soluções inovadoras, como tecnologias de encapsulamento e complexação, que possam proteger os corantes naturais e garantir sua estabilidade (RIBEIRO et al., 2021; ROCHA, et al., 2023). Além disso, é fundamental a realização de estudos de toxicidade e segurança para garantir que esses corantes sejam utilizados de forma adequada e dentro dos limites estabelecidos.

## 6 CONCLUSÃO

De acordo com a pesquisa, houve um crescimento significativo nas publicações científicas sobre corantes naturais nas últimas décadas. O tema ganha relevância devido à necessidade de substituir corantes sintéticos prejudiciais à saúde e à demanda do consumidor por produtos mais seguros e sustentáveis. Os corantes naturais têm diversas aplicações na indústria de alimentos, exigindo o estudo dos fatores que influenciam sua estabilidade. Os principais fatores de influência identificados foram luz, pH, presença de oxigênio, interação com outros componentes, processamento e armazenamento dos produtos alimentícios. As antocianinas, carotenoides e betalaínas são os principais compostos corantes naturais investigados, mas há espaço para explorar outras fontes de pigmentos naturais. A encapsulação é a principal estratégia de estabilização utilizada, mas ainda há lacunas a serem preenchidas por estudos futuros. É necessário aprofundar a compreensão das interações entre corantes naturais e outros componentes dos alimentos, buscar novas fontes de pigmentos naturais e explorar outras técnicas de estabilização para a indústria de alimentos. Em vista do crescente interesse e da demanda do mercado por corantes naturais estáveis, sustentáveis e seguros, é fundamental que pesquisadores, indústria e órgãos reguladores continuem investindo em estudos que ampliem o conhecimento sobre a estabilidade química dos corantes naturais. Somente por meio dessas pesquisas será possível desenvolver tecnologias e estratégias que atendam às necessidades e expectativas dos consumidores, contribuindo para a produção de alimentos mais seguros, atrativos e em conformidade com os princípios da sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS

- ABEL, A. **The history of dyes and pigments: From natural dyes to high performance pigments.** In Theories and Applications; Woodhead Publishing Series in Textiles; DCC (Europe) Ltd.: London, UK, 2012.
- AMORIM, I. S.; ALMEIDA, M. C. S.; CHAVES, R. P. F.; CHISTÉ, R. C. Technological applications and color stability of carotenoids extracted from selected Amazonian fruits. **Food Science and Technology**, v. 42, 2022. DOI: 10.1590/fst.01922
- AN, Y.; YAN, X.; LI, B. Microencapsulation of capsanthin by self-emulsifying nanoemulsions and stability evaluation. **European Food Research and Technology**, v. 239, p. 1077–1085, 2014. DOI: 10.1007/s00217-014-2328-3
- ARDILA-LEAL, L.D.; POUTOU-PIÑALES, R.A.; PEDROZA-RODRÍGUEZ, A.M.; QUEVEDO-HIDALGO, B.E. A Brief History of Colour, the Environmental Impact of Synthetic Dyes and Removal by Using Laccases. **Molecules**, v. 26, p. 3813, 2021. DOI: 10.3390/molecules26133813.
- ASSIS, R. Q.; PAGNO, C. H.; STOLL, L.; RIOS, P. D'A.; RIOS, A. O.; OLIVERA, F. C. Active food packaging of cellulose acetate: Storage stability, protective effect on oxidation of riboflavin and release in food simulants. **Food Chemistry**, v.349, 2021, p. 129140. ISSN 0308-8146. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129140
- BARREIRO, C.; BARREDO, J.L.; Carotenoids Production: A Healthy and Profitable Industry. **Methods in Molecular Biology**. 2018;1852:45-55. DOI: 10.1007/978-1-4939-8742-9\_2
- BECHTOLD, T.; MUSSAK, R. **Handbook of Natural Colorants**. 1st ed. Wiley, 2009.
- BENUCCI I.; LOMBARDELLI, C.; MAZZOCCHI, C.; ESTI, M. Natural colorants from vegetable food waste: Recovery, regulatory aspects, and stability - A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, 2022, 21(3):2715-2737. doi: 10.1111/1541-4337.12951
- BOON, C. S. et al. Factors Influencing the Chemical Stability of Carotenoids in Foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 50, n. 6, p. 515-532, 2008. DOI: 10.1080/10408390802565889
- CALVA-ESTRADA, S.J., JIMENEZ-FERNANDEZ, M., & LUGO-CERVANTES, E. Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. **Food Chemistry: Molecular Sciences**, v. 4, 2022, 100089. DOI: 10.1016/j.fochms.2022.100089

CASTRO-ROSAS, J.; FERREIRA-GROSSO, C. R.; GOMES-ALDAPA, C. A., RANGEL-VARGAS, E.; RODRÍGUEZ-MARÍN, M. L.; GUZMAN-ORTIZ, F. A. Recent advances in microencapsulation of natural sources of antimicrobial compounds used in food - a review. **Food Research International**, v. 102, p. 575-587, 2017. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.09.054

CHRISTIE, R. M. **Colour Chemistry**. 2nd ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2015.

CHUNG, C.; ROJANASASITHARA, T.; MUTILANGI, W.; MCCLEMENTS, D. J. Stability improvement of natural food colors: Impact of amino acid and peptide addition on anthocyanin stability in model beverages. **Food Chemistry**, v. 218, p. 277-284, 2017. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.09.087

CORTEZ, R.; LUNA-VITAL, D. A.; MARGULIS, D.; GONZALEZ DE MEJIA, E. Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Applications. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 00, 2016. DOI: 10.1111/1541-4337.12244.

COULTATE, T.; BLACKBURN, R. S. Food colorants: their past, present and future. **Coloration Technology**, v. 134, n. 3, 2018. DOI: 10.1111/cote.12334

CUNNINGHAM, O. D.; EDWARDS, R. Modifying the acylation of flavonols in *Petunia hybrida*. **Phytochemistry** v. 69, p. 2016–2021, 2008. DOI: 10.1016/j.phytochem.2008.04.014

DAS, M.; SAEID, A.; HOSSAIN, M. F. et al. Influence of extraction parameters and stability of betacyanins extracted from red amaranth during storage. **Food Science and Technology**, v. 56, p. 643–653, 2019. DOI: 10.1007/s13197-018-3519-x.

DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability, Critical Reviews. **Food Science and Nutrition**, 40:3, 173-289, 2000. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10408690091189257>

DENG, K.; OUYANG, J.; HU, N.; DONG, Q.; CHEN, C.; WANG, H. Improved Stability of Blue Colour of Anthocyanins from *Lycium ruthenicum* Murr. Based on Copigmentation. **Molecules**, v. 27, 6089, 2022. DOI: 10.3390/molecules27186089

Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de out. 1997.

DOWNHAM, A.; COLLINS, P. Colouring our foods in the last and next millennium. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 35, n. 1, p. 5-22, 2000. doi: 10.1046/j.1365-2621.2000.00366.x

FACT MR. **Natural Food Color Market**. Disponível em: <https://www.factmr.com/report/3064/natural-food-color-market>. Acesso em: mai. 2023.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Encapsulation of polyphenols - a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 21, p. 510–523, 2010. DOI: 10.1016/j.tifs.2010.08.003

FEDERZONI, V.; ALVIM, I. D.; FADINI, A. L.; SILVA, L. B. da; QUEIROZ, M. B. Co-crystallization of paprika oleoresin and storage stability study. **Food Science and Technology**, v. 39, Suppl. 1, p. 182-189, 2019. DOI:1590/fst.41617

FOCSAN, L.; POLYAKOV, N. E.; KISPERT, L. D. Supramolecular Carotenoid Complexes of Enhanced Solubility and Stability — The Way of Bioavailability Improvement. **Molecules**, v. 24, n. 21, p. 3947, 2019. DOI: 10.3390/molecules24213947

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. **Color additives: History**. Disponível em: <<https://www.fda.gov/industry/color-additives/color-additives-history>> Acesso em: mai; 2023.

GONZÁLEZ-PEÑA, M.A.; ORTEGA-REGULES, A.E.; ANAYA DE PARRODI, C.; LOZADA-RAMÍREZ, J.D. Chemistry, Occurrence, Properties, Applications, and Encapsulation of Carotenoids — A Review. **Plants**, 2023, 12, 313. DOI: 10.3390/plants12020313

GRUMEZESCU, A. M.; HOLBAN, A. M.. Handbook of Food Bioengineering, Volume 7: Natural and Artificial Flavoring Agents and Food Dyes. **Academic Press**, 2018.

GUO, Y., ZHANG, H., SHAO, S., SUN, S., YANG, D., & LV, S. Anthocyanin: A review of plant sources, extraction, stability, content determination and modifications. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 57 (12), 2022. DOI: 10.1111/ijfs.16132

HARSITO, C.; PRABOWO, A. R.; PRASETYO, S. D.; ARIFIN, Z. Enhancement stability and color fastness of natural dye: A review. **Open Engineering**, v. 11, n. 1, p. 548-555, 2021. DOI: 10.1515/eng-2021-0055

HE, J.; GIUSTI, M. M. Anthocyanins: Natural Colorants with Health-Promoting Properties. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 1, p. 163–87, 2010. DOI: 10.1146/annurev.food.080708.100754.

HENCKEN, H. Chemical and Physiological Behavior of Feed Carotenoids and Their Effects on Pigmentation. **Poultry Science**, v. 71, n. 4, p. 711-717, 1992. DOI: 10.3382/ps.0710711

HERBACH, K.M., STINTZING, F.C., & CARLE, R. Betalain Stability and Degradation: Structural and Chromatic Aspects. **Journal of Food Science**, 71(4), R41–R50, 2006. DOI:10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x

CASTAÑEDA-OVANDO, A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M.; RODRÍGUEZ, J.; GALÁN-VIDAL, C. Chemical studies of anthocyanins: a review. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 859-871, dez. 2009. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.001

HUANG, Y.; ZHOU, S.; ZHAO, G.; YE, F. Destabilisation and stabilisation of anthocyanins in purple-fleshed sweet potatoes: A review. **Trends in Food Science & Technology**. 116, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.09.013

HUSSAIN, S.; KHAN, N.; GUL, S.; KHAN, S.; KHAN, H. Contamination of Water Resources by Food Dyes and Its Removal Technologies. In M. Eyvaz & E. Yüksel (Eds.), **Water Chemistry** (pp. 7). (2019) Rijeka: IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.90331.

JIMÉNEZ-GONZÁLEZ, O.; GUERRERO-BELTRÁN, J. Extraction, Microencapsulation, Color Properties, and Experimental Design of Natural Pigments Obtained by Spray Drying. *Food Engineering Reviews*, v. 13, p. 1-43, 2021. DOI: 10.1007/s12393-021-09288-7

JOKIOJA, J. J.; YANG, B.; LINDERBORG, K. M. Acylated anthocyanins: A review on their bioavailability and effects on postprandial carbohydrate metabolism and inflammation. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, p. 5570-561, 2021. DOI: 10.1111/1541-4337.12836

JURIĆ, S.; JURIĆ, M.; KRÓL-KILIŃSKA, Ż.; VLAHOVIČEK-KAHLINA, K.; VINCEKOVIĆ, M.; DRAGOVIĆ-UZELAC, V.; DONSI, F. Sources stability encapsulation and application of natural pigments in foods. **Food Reviews International**, v. 34, n. 1, p. 35-64, 2018.

KARANGUTKAR, A.; ANANTHANARAYAN, L. Co-crystallization of Basella rubra extract with sucrose: Characterization of co-crystals and evaluating the storage stability of betacyanin pigments. **Journal of Food Engineering**. 271, 2019. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2019.109776

KHIRALLA, G., SALEM, S.A., & EL-MALKY, W.A. Effect of Natural and Synthetic Food Coloring Agents on the Balance of Some Hormones in Rats. **International Journal of Food Science and Nutrition Engineering**, 5(2), 88-95, 2015

KHOO, H. E., AZLAN, A., TANG, S. T., & LIM, S. M. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food & Nutrition Research**, 61(1), 1361779. 2017. doi: 10.1080/16546628.2017.136177

KOOP, B. L. et al. Flavonoids, anthocyanins, betalains, curcumin, and carotenoids: Sources, classification and enhanced stabilization by encapsulation and adsorption. **Food Research International**, v. 153, p. 110929, 2022. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110929

KUMORKIEWICZ-JAMRO, A.; ŚWIERGOSZ, T.; SUTOR-ŚWIEŻY, K.; SPÓRNA-KUCAB, A.; WYBRANIEC, S. Multi-colored shades of betalains: recent advances in betacyanin chemistry. **Natural Product Reports**, v. 38, 2021. DOI: 10.1039/D1NP00018G

LAN, T.; QIAN, S.; SONG, T.; ZHANG, H.; LIU, J. The chromogenic mechanism of natural pigments and the methods and techniques to improve their stability: A systematic review. **Food Chemistry**, 407, 134875, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134875

LEONG, H. Y., SHOW, P. L., LIM, M. H., OOI, C. W., & LING, T. C. Natural Red Pigments from Plants and Their Health Benefits – A Review. **Food Reviews International**, 2017. DOI: 10.1080/87559129.2017.1326935

LUO, X.; WWANG, R.; WANG, J.; Li, Y.; LUO, H.; CCHEN, S.; ZENG, X.; HAN, Z. Acylation of Anthocyanins and Their Applications in the Food Industry: Mechanisms and Recent Research Advances. **Foods** 2022, 11, 2166. DOI: 10.3390/foods11142166

MAIANI, G. et al. Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 53, p. S194-S218, 2009. DOI: 10.1002/mnfr.200800053.

MARONPOT, R. R.; HAYASHI, S.-M.; BASTAKI, M. Synthetic and natural food colorant. **Food & Food Ingredients Journal of Japan**, v. 225, n. 2, 2020.

MARTINS, N., RORIZ, C. L., MORALES, P., BARROS, L., & FERREIRA, I. C. F. R. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agroindustries to ensure consumer expectations and regulatory practices. **Trends in Food Science & Technology**, 52, 1-15, 2016. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.03.009.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Conselho Nacional de Normas e Padrões para Alimentação Humana. **Resolução nº 44, de 19 de outubro de 1977**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 3 nov. 1977. Seção 1, p. 15581.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância Sanitária. **Portaria nº 540, de 27 de outubro de 1997**. Dispõe sobre aditivos alimentares- definições, classificação e emprego.

MIRANDA, P. H. S. et al. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 335–345, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.04.047.

MOHD-NASIR, H.; ABD-TALIB, N.; MOHD-SETAPAR, S. H.; WONG, L. P.; IDHAM, Z.; CASILLAS, A. C.; AHMAD, A. Natural colorants from plants for wellness industry. **International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research**, v. 9, n. 3, p. 836-843, 2018. DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.9(3).836-43

MOLINA, A. K.; CORRÊA, R. C. G.; PRIETO, M. A.; PEREIRA, C.; BARROS, L. Bioactive Natural Pigments' Extraction, Isolation, and Stability in Food Applications. **Molecules**, 28(3), 1200, 2023. DOI: 10.3390/molecules28031200.

MORDOR INTELLIGENCE. **Food Colorants Market**. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/food-colorants-market>. Acesso em: mai 2023.

MOUTINHO, I.L., BERTGES, L.C., ASSIS, R.V. Prolonged use of the food dye tartrazine (FD&C yellow no 5) and its effects on the gastric mucosa of Wistar rats. **Brazilian Journal of Biology**, 67(1):141-5, 2007. DOI: 10.1590/s1519-69842007000100019

- NABI, G. B. et al. Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102403, 2023. DOI: 10.1016/j.fbio.2023.102403.
- NEDAMANI, A. R.. Stability Enhancement of Natural Food Colorants- A Review. **Research and Innovation in Food Science and Technology**, v. 10, n. 4, p. 369-388, 2022. DOI: 10.22101/JRIFST.2022.277772.1235.
- NEVES, M. I. L.; SILVA, E. K.; MEIRELES, M. A. A. Natural blue food colorants: Consumer acceptance, current alternatives, trends, challenges, and future strategies. **Trends in Food Science & Technology**, v. 112, p. 163-173, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.03.023
- NOVAIS, C.; MOLINA, A. K.; ABREU, R. M. V.; SANTO-BUELGA, C.; FERREIRA, I. C. F. R.; PEREIRA, C.; BARROS, L. Natural Food Colorants and Preservatives: A Review, a Demand, and a Challenge. **Journal of Agricultural and Food Chemistry** 2022 70 (9), 2789-2805. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c07533
- NOVOVSKÁ, L.; ROSS, M. E.; STANLEY, M. S.; PRADELLES, R.; WASIOLEK, V.; SASSI, J.-F. Microalgal Carotenoids: A Review of Production, Current Markets, Regulations, and Future Direction. **Marine Drugs**, v. 17, p. 640, 2019. DOI: 10.3390/md17110640
- OLUWANIYI, O. O., DOSUMU, O. O., AWOLOLA, G. V., & ABDULRAHEEM, A. F. Nutritional Analysis and Stability Studies of Some Natural and Synthetic Food Colourants. **American Journal of Food Technology**, 4(5), 218-225, 2009. DOI: 10.3923/ajft.2009.218.225.
- PAUL, T., BANDYOPADHYAY, T.K., MONDAL, A. et al. A comprehensive review on recent trends in production, purification, and applications of prodigiosin. **Biomass Conversion and Biorefinery**. 12, 1409–1431 (2022). DOI: 10.1007/s13399-020-00928-2
- PLUYE, P.; HONG, Q. N. Combining the power of stories and the power of numbers: Mixed methods research and mixed studies reviews. **Annual Review of Public Health**, v. 35, p. 29–45, 2014.
- PRAJAPATI, R. A.; JADEJA, G. C. Natural food colorants: Extraction and stability study. **Materials Today: Proceedings**, v. 57, p. 2381–2395, 2022. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.12.151.
- RENITA, A. A.; GAJARIA, T. K.; SATHISH, S.; KUMAR, J. A.; LAKSHMI, D. S.; KUJAWA, J.; KUJAWSKI, W. Progress and Prospective of the Industrial Development and Applications of Eco-Friendly Colorants: An Insight into Environmental Impact and Sustainability Issues. **Foods**, v. 12, p. 1521, 2023. DOI: 10.3390/foods12071521
- RIBEIRO, J.; VELOSO, C. M. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 112, 2021. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.106374.

- ROCHA F.; REZENDE J.; DIAS M.; PINTO V.; STRINGHETA P.C.; PIRES A.C.; VIDIGAL M.C.T. Complexation of anthocyanins, betalains and carotenoids with biopolymers: An approach to complexation techniques and evaluation of binding parameters, **Food Research International**, v. 163, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112277
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Natural food pigments and colorants. **Current Opinion in Food Science**, v. 7, p. 20-26, 2016. DOI: 10.1016/j.cofs.2015.08.004.
- RODRÍGUEZ-MENA, A., OCHOA-MARTÍNEZ, L. A., GONZÁLEZ-HERRERA, S. M., RUTIAGA-QUIÑONES, O. M., GONZÁLEZ-LAREDO, R. F., & OLMEDILLA-ALONSO, B. Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. **Food Chemistry**, 398, 133908, 2023. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133908
- SADOWSKA-BARTOSZ I.; BARTOSZ G. Biological Properties and Applications of Betalains. **Molecules**, 2021, 26(9):2520. DOI: 10.3390/molecules26092520
- SAINI, R.K., PRASAD, P., LOKESH, V., SHANG, X., SHIN, J., KEUM, Y.S., LEE, J.H. Carotenoids: Dietary Sources, Extraction, Encapsulation, Bioavailability, and Health Benefits-A Review of Recent Advancements. **Antioxidants**. 2022 Apr 18;11(4):795. DOI: 10.3390/antiox11040795
- SANTOS, P. D. F.; RUBIO, F. T. V.; SILVA, M. P.; PINHO, L. S.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. **Food Research International**, 147, 2021. DOI: 10.1016/j.foodres.2021.110571.
- SCHWEIGGERT, R. M. Perspective on the Ongoing Replacement of Artificial and Animal-Based Dyes with Alternative Natural Pigments in Foods and Beverages. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 12, p. 3074-3081, 2018. DOI: 10.1021/acs.jafc.7b05930
- SHAKOOR, S.; ISMAIL, A. SABRAN, M. R.; MOHTARRUDIN, N.; KAKA, U.; NADEEM, M. In-vivo study of synthetic and natural food colors effect on biochemical and immunity parameters. **Food Science and Technology**, v. 42, 2021. DOI: 10.1590/fst.41420.
- SHI, J. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. **Critical Reviews in Biotechnology**, 20:4, 293-334, 2000. DOI: 10.1080/07388550091144212
- SIGURDSON, G.; TANG, P.; GIUSTI, M. Natural colorants: food colorants from natural sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, p. 261-280, 2017. DOI: 10.1146/annurev-food-030216-025923
- SILVA, P. T.; FRIES, L. L. M., MENEZES, C. R.; HOLKEM, A. T., SCHWAN, C. L.; WIGMANN, E. F., et al. Microencapsulation: Concepts, mechanisms, methods and some applications in food technology. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, p. 1304–1311, 2014. DOI: 10.1590/0103-8478cr20130971

SINGH, S.; AERI, V.; SHARMA, V. Encapsulated natural pigments: Techniques and applications. **Journal of Food Process Engineering**, 2023. DOI: 10.1111/jfpe.14311.

SLIMEN, I. B.; NAJAR, T.; ABDERRABBA, M. Chemical and Antioxidant Properties of Betalains. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 65(4), 675–689, 2017. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04208

SONAR, C. R. et al. Natural color pigments: oxidative stability and degradation kinetics during storage in thermally pasteurized vegetable purees. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 2, p. 676-685, 2019. DOI: 10.1002/jsfa.9868.

SONAR, C. R.; RASCO, B.; TANG, J.; SABLANI, S. S. Natural color pigments: oxidative stability and degradation kinetics during storage in thermally pasteurized vegetable purees. **Journal of the Science and Food Agriculture**, v. 99, n. 13, 2019. DOI: 10.1002/jsfa.9868

SOUSA, C. S.; DAOOD, H. G.; DUAH, S. A.; VINOGRADOV, S.; PALOTÁS, G.; NEMÉNYI, A.; HELYES, L.; PÉK, Z. Stability of carotenoids, carotenoid esters, tocopherols and capsaicinoids in new chili pepper hybrids during natural and thermal drying. **LWT Food Science and Technology**, v. 163, p. 113520, 2022. DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113520.

SRIDHAR, K.; INBARAJ, B.S.; CHEN, B.H. Recent Advances on Nanoparticle Based Strategies for Improving Carotenoid Stability and Biological Activity. **Antioxidants**, v. 10, n. 5, p. 713, 2021. DOI: 10.3390/antiox10050713.

STEINER, B. M.; MCCLEMENTS, D. J.; DAVIDOV-PARDO, G. Encapsulation systems for lutein: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 82, p. 71-81, 2018. DOI: 10.1016/j.tifs.2018.10.003

STEPHENSON, R. C.; ROSS, R. P.; STANTON, C. Carotenoids in Milk and the Potential for Dairy Based Functional Foods. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1263, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods10061263>

TAN, C.; SELIG, M. J.; ABBASPOURRAD, A. Anthocyanin stabilization by chitosan-chondroitin sulfate polyelectrolyte complexation integrating catechin co-pigmentation. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 124-131, 2018. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.10.034.

TANAKA, Y.; SASAKI, N.; OHMIYA, A. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. **The Plant Journal**, v. 54, p. 733-749, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-313X.2008.03447.x.

TAPAL, A.; TIKU, P. K. Complexation of curcumin with soy protein isolate and its implications on solubility and stability of curcumin. **Food Chemistry**, v. 130, n. 4, p. 960-965, 2012. DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.08.025

TEREUCAN, G. et al. Stability of antioxidant compounds and activities of a natural dye from coloured-flesh potatoes in dairy foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 148, p. 111252, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111252

THE EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. **Food Colours**.

<<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/food-colours>> Acesso em: mai; 2023.

WROLSTAD, R. E.; DURSTA, R. W.; LEE, J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, p. 423-428, 2005. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.03.019.