

DISRUPÇÃO REGULATÓRIA E TECNOLÓGICA DOS CORANTES ALIMENTARES, DA ERITROSINA AOS PIGMENTOS NATURAIS DE NOVA GERAÇÃO

Juan Ignacio González Pacheco¹, Mariela Maldonado^{1,2}, Alejandro Dantiacq Piccolella³, Ariel Marquez¹, Daniel Galvez¹, Leonel Lisanti¹

¹Laboratório de Tratamento de Alimentos e Esgoto (LATE), Departamento de Engenharia Química, UTN FRM, Mendoza, Argentina (jngonzalez534@gmail.com)

²Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Técnica (CONICET), Argentina

³Grupo de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologias da Informação e Comunicação (GRIDTICs), Departamento de Engenharia Eletrônica, UTN FRM, Mendoza, Argentina

Resumo: Os corantes alimentares vivem uma transição disruptiva impulsionada por novas evidências toxicológicas, pressões regulatórias e demandas de consumidores por produtos “clean label”. Em 2025, a Food and Drug Administration (FDA) dos Estados Unidos revogou a autorização do FD&C Red No.3 (eritrosina) para uso em alimentos e fármacos ingeridos, aplicando a Cláusula Delaney, e anunciou um plano de retirada progressiva de outros corantes sintéticos de base petrolífera, incluindo Red 40, Yellow 5, Yellow 6, Blue 1, Blue 2 e Green 3. O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão integradora sobre essa mudança estrutural, discutindo os principais drivers regulatórios e o estado da arte das alternativas naturais, com foco em suas implicações tecnológicas para a engenharia de alimentos. Foi realizada uma revisão documental sistemática em bases científicas e documentos oficiais de FDA, EFSA e outros organismos, complementada pelo material compilado sobre corantes naturais utilizado como base. A revisão mostra que carotenoides, antocianinas, betalainas, clorofilas, curcuminoides e ficobiliproteínas constituem o núcleo dos pigmentos naturais com potencial para substituir corantes sintéticos, embora apresentem desafios significativos de estabilidade frente a pH, temperatura, oxigênio, luz e íons metálicos. Tecnologias como micro e nanoencapsulação, emulsões multicamadas, complexos de ciclodextrinas e fermentação de precisão surgem como ferramentas críticas para garantir desempenho cromático e segurança, permitindo que corantes naturais assumam funções simultâneas de pigmentação, antioxidante e, em alguns casos, biopreservante. Conclui-se que a substituição de corantes sintéticos por pigmentos naturais não é mais apenas uma opção mercadológica, mas um processo de reconfiguração regulatória e tecnológica que exigirá estratégias coordenadas de P&D, adequação regulatória e educação de consumidores. Para a indústria de alimentos da América Latina, essa transição oferece riscos de perda de competitividade caso não haja alinhamento regulatório com EUA/UE, mas também abre oportunidades para posicionar tecnologias de corantes naturais como eixo de inovação em produtos com maior valor agregado.

Palavras-chave: corantes alimentares naturais; eritrosina; regulamentação FDA; encapsulação; fermentação de precisão

INTRODUÇÃO

A cor é um dos atributos sensoriais mais determinantes na aceitação de alimentos, funcionando como um sinal rápido de qualidade, frescor e segurança percebida pelo consumidor (Renita et al., 2023; Sigurdson; Tang; Giusti, 2017). Desde o século XIX, com a descoberta da mauveína por William Henry Perkin, corantes sintéticos passaram a dominar a indústria alimentícia devido à

sua elevada intensidade cromática, baixo custo e grande estabilidade processual, substituindo gradualmente pigmentos naturais tradicionais como açafrão, urucum e carmim (Coultate; Blackburn, 2018). A regulamentação dos corantes alimentares consolidou-se ao longo do século XX por meio de sistemas de lista positiva e certificação por lote, como o esquema de corantes FD&C nos Estados Unidos e o sistema de números E na União Europeia.



Nas últimas duas décadas, entretanto, acumularam-se evidências de que alguns corantes sintéticos podem apresentar efeitos adversos, incluindo carcinogenicidade em modelos animais, efeitos neurocomportamentais em crianças, reações alérgicas e potenciais disrupções endócrinas (Damotharan et al., 2024). Em resposta, diversas jurisdições endureceram sua regulamentação: a EFSA reavaliou sucessivamente os principais corantes azoicos e o dióxido de titânio, levando à proibição deste último na UE, enquanto a FDA decidiu revogar completamente a autorização do FD&C Red No. 3 em 2025 e promover a retirada progressiva de outros sintéticos de base petrolífera (Aquilina et al., 2015; Bampidis et al., 2019; EFSA, 2011; EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies (NDA), 2010; “FDA called upon to ban erythrosine (FD&C Red-3) as a food colorant in the United States”, 2023; Singh; Chadha, 2025; U.S. Food and Drug Administration, 2025).

Paralelamente, consumidores passaram a exigir rótulos mais limpos, com ingredientes de origem natural e reconhecíveis, pressionando a indústria a reformular produtos com a substituição de corantes artificiais por pigmentos naturais derivados de frutas, hortaliças, algas e microrganismos. Essa substituição, porém, não é trivial: os pigmentos naturais apresentam comportamentos de estabilidade complexos, que dependem fortemente da matriz alimentar, das condições de processamento e armazenamento e da interação com outros componentes do sistema (Wijesekara; Xu, 2024).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo discutir a disrupção regulatória e tecnológica dos corantes alimentares, partindo do caso emblemático da eritrosina e avançando até os pigmentos naturais de nova geração e as tecnologias habilitadoras que permitem sua aplicação industrial. Busca-se, assim, oferecer uma visão crítica e prospectiva que possa orientar estratégias de pesquisa, desenvolvimento e regulação, particularmente relevantes para a realidade latino-americana e para a engenharia de alimentos (De Souza et al., 2025).

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi concebido como uma revisão integradora de literatura científica e documentos regulatórios. Inicialmente, realizou-se uma busca sistemática em bases de dados (Web of Science, Scopus, PubMed, SciELO) utilizando palavras-chave relacionadas a corantes alimentares sintéticos, corantes naturais, toxicologia, regulamentação FDA/EFSA e encapsulação de pigmentos. Foram incluídas revisões, artigos originais, pareceres técnicos de agências reguladoras e relatórios

institucionais publicados preferencialmente a partir do ano 2000, com foco em alimentos e bebidas.

Em paralelo, foram consultados documentos oficiais da FDA e da EFSA referentes à revogação da eritrosina, ao plano de faseamento de corantes FD&C e às aprovações recentes de corantes naturais, bem como relatórios de acompanhamento de compromissos da indústria para eliminar corantes petrolíferos. O material compilado sobre corantes naturais, previamente organizado em formato de e-book técnico, foi utilizado como base para sistematizar informações sobre famílias de pigmentos, fontes botânicas e microbiológicas, aplicações industriais e desafios de estabilidade.

Os dados foram organizados em quatro eixos: (i) panorama regulatório e toxicológico dos corantes sintéticos, com ênfase na eritrosina; (ii) famílias de pigmentos naturais e suas propriedades químicas e funcionais; (iii) tecnologias de estabilização e entrega (encapsulação, emulsões, complexos de ciclodextrinas, fermentação de precisão); e (iv) cenários prospectivos para 2026–2030 em termos de regulação, mercado e inovação tecnológica. A discussão foi estruturada comparando evidências técnicas e regulatórias e destacando pontos de convergência e lacunas de conhecimento relevantes para a engenharia de alimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Disrupção regulatória dos corantes sintéticos

A análise dos documentos regulatórios mostra que a decisão da FDA de revogar o FD&C Red No. 3 em 2025 marca um ponto de inflexão na política de corantes alimentares. A eritrosina, utilizada há décadas em frutas em conserva, confeitos e medicamentos ingeridos, foi alvo de revisões devido à evidência de tumores foliculares de tireoide em ratos e ao elevado teor de iodo na molécula, considerado relevante para desregulação da função tireoidiana em exposições crônicas. A aplicação da Cláusula Delaney, que proíbe aditivos com evidência de carcinogenicidade em qualquer espécie, levou à revogação, com prazos de dois a três anos para adequação da indústria (Asch, 1990).

Além da eritrosina, a FDA passou a acompanhar compromissos voluntários da indústria para remover outros corantes sintéticos petrolíferos, estabelecendo um cronograma de faseamento de Red 40, Yellow 5, Yellow 6, Blue 1, Blue 2 e Green 3, alinhado com preocupações sobre possíveis efeitos neurocomportamentais e alergênicos, especialmente em crianças (Axon et al., 2012; Chen et al., 2022; EFSA Panel on Dietetic Products Nutrition and Allergies (NDA), 2010; Gupta et al., 2019; Hofseth et al., 2024; Kwon et al., 2022; Tanaka, 2006). Na União Europeia, a imposição do rótulo de

advertência de Southampton para seis corantes azoicos e a proibição do dióxido de titânio reforçam a tendência de substituição de sintéticos por naturais.

2. Portfólio emergente de corantes naturais aprovados

Concomitantemente às restrições, a FDA aprovou quatro novos corantes de origem natural: extrato de flor de *Clitoria ternatea* (butterfly pea) (Demirci; Jafari, 2025), *Galdieria* extract blue (De Souza et al., 2025), gardenia (genipin) blue e fosfato de cálcio. O extrato de butterfly pea fornece tonalidades que variam de azul a verde e violeta em função do pH, graças aos ternatins (antocianinas poliaciladas), posicionando-se como alternativa relevante a Blue 1 em bebidas ácidas (Demirci; Jafari, 2025). O *Galdieria* extract blue, derivado de alga termoacidófila, oferece uma ficobiliproteína azul com maior estabilidade térmica que o extrato tradicional de *Spirulina*, importante para processos de pasteurização. Gardenia blue, obtido pela reação de genipina com aminas de alimentos, viabiliza tons azuis em matrizes de bebidas e confeitarias, enquanto o fosfato de cálcio surge como opacificante branco alternativo ao dióxido de titânio.

Essas aprovações ampliam significativamente a paleta natural disponível para substituir corantes sintéticos, embora ainda exista uma lacuna crítica na obtenção de um corante vermelho natural, termicamente estável e economicamente competitivo para substituir Red 40 em matrizes de pH neutro.

3. Pigmentos naturais: propriedades e desafios de estabilidade

A revisão das famílias de pigmentos evidencia que carotenoides (β -caroteno, licopeno, capsantina, bixina), antocianinas, betalainas, clorofilas/derivados, curcuminoides e ficobiliproteínas constituem o núcleo de alternativas naturais (Afroz Toma et al., 2023; Demirci; Jafari, 2025). Carotenoides são promissores para amarelos e laranjas, com função antioxidante e, em alguns casos, pró-vitamina A, mas sofrem forte degradação oxidativa e fotodegradação, exigindo proteção por encapsulação lipídica e antioxidantes. Antocianinas oferecem espectro amplo de vermelho a azul, porém são altamente sensíveis ao pH e à luz, exigindo engenharia fina de pH e, muitas vezes, microencapsulação ou emulsões multicamadas. Betalainas e ficobiliproteínas fornecem vermelhos e azuis intensos, mas são termolábeis, limitando seu uso em processos de alta temperatura (Figura 1).

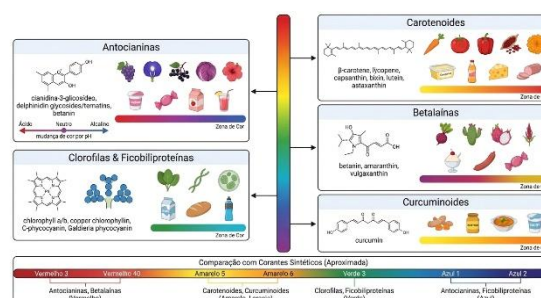


Figura 1. Diversidade química e espectro cromático das principais famílias de pigmentos naturais em comparação aproximada com corantes sintéticos em fase de retirada.

A figura organiza cinco painéis em torno de um espectro central de cores, destacando famílias de pigmentos naturais e suas zonas cromáticas típicas. O painel de antocianinas apresenta a estrutura do cianidina-3-glicosídeo e exemplos de fontes como uva, flor de *Clitoria ternatea*, repolho roxo e hibisco, ilustrando a mudança de cor em função do pH (vermelho em meio ácido, tons intermediários em pH neutro e azul/violeta em meio alcalino). O painel de carotenoides mostra moléculas como β -caroteno, licopeno, capsantina, bixina, luteína e astaxantina, associadas a cenoura, tomate, páprica, urucum, margarinas e bebidas, ocupando predominantemente a faixa de amarelo a laranja. Betalainas são representadas pelas estruturas de betanina e amarantina, com fontes como beterraba, palma forrageira (*Opuntia*), pitaya e amaranto, gerando tonalidades de vermelho a magenta em sobremesas lácteas e embutidos (Otálora; Wilches-Torres; Gómez Castaño, 2022). O painel de clorofilas e ficobiliproteínas inclui chlorophyll a/b, copper chlorophyllin, C-phycocyanin e *Galdieria* phycocyanin, ligados a vegetais verdes, pães enriquecidos e bebidas esportivas, cobrindo a faixa de verde a ciano (Alappat; Alappat, 2020; Da Silva et al., 2019; Etxabide; Kilmartin; Maté, 2021; Fu et al., 2021; Goyudianto et al., 2021; Khoo et al., 2017; Ma et al., 2022; Martelli et al., 2014; Nabi et al., 2023; Oladzadabbasabadi et al., 2022; Pereira et al., 2020; Perez et al., 2022). Curcuminoides, representados pela estrutura da curcumina, são associados à raiz de cúrcuma, mostarda, sopas e produtos lácteos, ocupando o intervalo de amarelo-alaranjado. Na parte inferior, uma barra comparativa relaciona, de forma aproximada, Red 3 e Red 40 ao domínio cromático coberto por antocianinas e betalainas (vermelhos), Yellow 5 e Yellow 6 à faixa de carotenoides e curcuminoides (amarelo/laranja) e Green 3, Blue 1 e Blue 2 às zonas de clorofilas e ficobiliproteínas (verde e azul), evidenciando como pigmentos naturais podem substituir os principais corantes sintéticos em processo de faseamento regulatório.

4. Tecnologias habilitadoras: encapsulação e fermentação de precisão

Os resultados mostram que tecnologias de encapsulação são centrais para viabilizar corantes naturais em escala industrial. Spray-drying com matrizes polissacarídicas, nanoemulsões lipídicas, partículas lipídicas estruturadas (SLN/NLC), emulsões W/O/W multicamadas e complexos de inclusão com ciclodextrinas são destacadas como ferramentas capazes de proteger pigmentos da ação de oxigênio, luz, pH e temperatura, além de melhorar sua dispersão e, em alguns casos, a biodisponibilidade (Aanniz et al., 2024; Eyiz; Tontul; Türker, 2026; Gomes et al., 2021; Hussain et al., 2023; Igreja et al., 2021; Pradeep; Nayak, 2019; Sanchez; Baeza; Chirife, 2015; Teixeira et al., 2022; Vázquez-González et al., 2025; Yeasmen et al., 2026).

A fermentação de precisão surge como fronteira tecnológica para a produção de pigmentos “bio-identicos” por microrganismos engenheirados (leveduras, bactérias, algas microbianas), permitindo reduzir a dependência de safras agrícolas e controlar melhor a consistência de fornecimento. No entanto, a regulamentação de pigmentos produzidos por fermentação (especialmente em sistemas GM) e sua aceitação como “naturais” permanecem desafios em aberto (Figura 2) (Afroz Toma et al., 2023; Poorniammal et al., 2021).

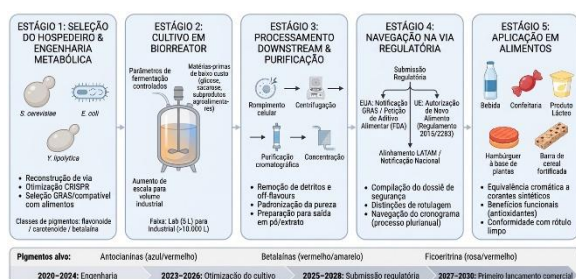


Figura 2. Pipeline de fermentação de precisão para produção de pigmentos naturais destinados à substituição de corantes sintéticos em alimentos.

A figura esquematiza o fluxo em cinco estágios, desde a seleção e engenharia metabólica do organismo hospedeiro até a aplicação dos pigmentos produzidos em alimentos. No Estágio 1, são selecionados chassis microbianos compatíveis com alimentos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli*, *Yarrowia lipolytica*) e realizadas reconstrução de vias biossintéticas, otimização via CRISPR e escolha de linhagens GRAS para produção de flavonoides, carotenoides e betalainas. No Estágio 2, o cultivo em biorreator é escalonado da faixa laboratorial (~5 L) para volumes industriais (>10.000 L), utilizando matérias-primas de baixo custo como glicose, sacarose e subprodutos agroalimentares. O Estágio 3 aborda o processamento downstream e

purificação, incluindo rompimento celular, centrifugação, cromatografia e concentração, com remoção de detritos e off-flavours e padronização da pureza para obtenção de extratos ou pós pigmentados. No Estágio 4, representa-se a navegação nas vias regulatórias, com submissões GRAS ou petições de aditivo alimentar à FDA nos EUA, autorizações de Novo Alimento na UE (Regulamento 2015/2283) e alinhamento com marcos regulatórios nacionais em países da América Latina. O Estágio 5 ilustra a incorporação dos pigmentos em bebidas, confeitaria, produtos lácteos, hambúrgueres à base de plantas e barras de cereais, enfatizando a equivalência cromática em relação a corantes sintéticos, benefícios funcionais (antioxidantes) e conformidade com rótulo limpo. A faixa temporal inferior indica janelas de desenvolvimento previstas: engenharia (2020–2024), otimização de cultivo (2023–2026), submissão regulatória (2025–2028) e primeiros lançamentos comerciais (2027–2030) para antocianinas, betalainas e ficoeritrina como pigmentos alvo.

CONCLUSÃO

A transição de corantes sintéticos para pigmentos naturais configura um processo de disrupção regulatória e tecnológica com impactos profundos na formulação de alimentos. As decisões recentes da FDA e da EFSA mostram que parte importante do portfólio sintético tende a ser restringida ou banida, ao mesmo tempo em que novas alternativas naturais são aprovadas e tecnologias avançadas de encapsulação e fermentação são desenvolvidas. Para a engenharia de alimentos, isso implica repensar processos, matrizes e estratégias de estabilidade para que os corantes naturais alcancem desempenho cromático, funcional e econômico comparável aos sintéticos.

Para a indústria latino-americana, inclusive a argentina, a adoção proativa de corantes naturais e de tecnologias de estabilização pode funcionar tanto como mecanismo de alinhamento regulatório com EUA/UE quanto como oportunidade para desenvolver produtos de maior valor agregado, centrados em atributos de naturalidade, saúde e sustentabilidade. Estudos futuros devem aprofundar a caracterização de estabilidade em matrizes reais, a segurança toxicológica de pigmentos fermentativos e a percepção dos consumidores perante rótulos que diferenciam “natural”, “fermentado” e “idêntico ao natural”.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza e ao CONICET pelo apoio institucional, bem como aos projetos de pesquisa em andamento na área de tecnologia de alimentos e engenharia de processos



que forneceram base experimental e bibliográfica para esta revisão.

REFERÊNCIAS

AANNIZ, Tarik *et al.* Innovative Encapsulation Strategies for Food, Industrial, and Pharmaceutical Applications. **Chemistry & biodiversity**, v. 21, n. 5, 1 maio 2024.

AFROZ TOMA, Maria *et al.* Fungal Pigments: Carotenoids, Riboflavin, and Polyketides with Diverse Applications. **Journal of Fungi** 2023, Vol. 9, Page 454, v. 9, n. 4, p. 454, 7 abr. 2023.

ALAPPAT, Bindhu; ALAPPAT, Jayaraj. Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. **Molecules**, v. 25, n. 23, 1 dez. 2020.

AQUILINA, Gabriele *et al.* Update of the Scientific Opinion on the safety and efficacy of erythrosine in feed for cats, dogs, reptiles and ornamental fish. **EFSA Journal**, v. 13, n. 9, p. 4233, 1 set. 2015.

ASCH, Peter. Food safety regulation: is the Delaney clause the problem or symptom? **Policy Sciences**, v. 23, n. 2, p. 97–110, maio 1990.

AXON, Andrew *et al.* Tartrazine and sunset yellow are xenoestrogens in a new screening assay to identify modulators of human oestrogen receptor transcriptional activity. **Toxicology**, v. 298, n. 1–3, p. 40–51, 16 ago. 2012.

BAMPIDIS, Vasileios *et al.* Safety of erythrosine for ornamental fish. **EFSA Journal**, v. 17, n. 5, p. e05699, 1 maio 2019.

CHEN, Lili *et al.* IFN- γ + cytotoxic CD4+ T lymphocytes are involved in the pathogenesis of colitis induced by IL-23 and the food colorant Red 40. **Cellular & Molecular Immunology** 2022 19:7, v. 19, n. 7, p. 777–790, 25 abr. 2022.

COULTATE, Tom; BLACKBURN, Richard S. Food colorants: their past, present and future. **Coloration Technology**, v. 134, n. 3, p. 165–186, 1 jun. 2018.

DA SILVA, Davi Vieira Teixeira *et al.* Betanin, a Natural Food Additive: Stability, Bioavailability, Antioxidant and Preservative Ability Assessments. **Molecules**, v. 24, n. 3, 28 jan. 2019.

DAMOTHARAN, Kesavan *et al.* Biochemical processes mediating neurotoxicity induced by synthetic food dyes: A review of current evidence. **Chemosphere**, v. 364, p. 143295, 1 set. 2024.

DE SOUZA, Lorrane Ribeiro *et al.* Natural plant pigments: genes and transcription factors regulating

synthesis and degradation, extraction, microencapsulation, food applications, and sensory impacts. **Food Science and Biotechnology** 2025 35:4, v. 35, n. 4, p. 731–761, 19 ago. 2025.

DEMIRCI, Mehmet; JAFARI, Seid Mahdi. Stabilization strategies for anthocyanins: recent advances. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 29 dez. 2025.

EFSA. Scientific Opinion on the re-evaluation of Erythrosine (E 127) as a food additive. **EFSA Journal**, v. 9, n. 1, 1 jan. 2011.

EFSA PANEL ON DIETETIC PRODUCTS NUTRITION AND ALLERGIES (NDA). Scientific Opinion on the appropriateness of the food azo-colours Tartrazine (E 102), Sunset Yellow FCF (E 110), Carmoisine (E 122), Amaranth (E 123), Ponceau 4R (E 124), Allura Red AC (E 129), Brilliant Black BN (E 151), Brown FK (E 154), Brown HT (E 155). **EFSA Journal**, v. 8, n. 10, p. 1778, out. 2010.

ETXABIDE, Alaitz; KILMARTIN, Paul A.; MATÉ, Juan I. Color stability and pH-indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging development. **Food Control**, v. 121, 2021.

EYIZ, Vildan; TONTUL, İsmail; TÜRKER, Selman. Powdered hibiscus anthocyanin-nanofibril complexes as natural colorants: Stability and application in yoghurt and soft candy. **Coloration Technology**, 2026.

FDA called upon to ban erythrosine (FD&C Red-3) as a food colorant in the United States. **Focus on Pigments**, v. 2023, n. 8, p. 7, 1 ago. 2023.

FU, Xueying *et al.* Spectral characteristic, storage stability and antioxidant properties of anthocyanin extracts from flowers of butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.). **Molecules**, v. 26, n. 22, 2021.

GOMES, Joana *et al.* Thermal and light stability of anthocyanins from strawberry by-products non-encapsulated and encapsulated with inulin. **Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria**, v. 20, n. 1, 2021.

GOYUDIANTO, Bryan Ashley *et al.* The Stability of Phycocyanin, Phycoerythrin, and Astaxanthin from Algae Towards Temperature, pH, Light, and Oxygen as a Commercial Natural Food Colorant. **Indonesian Journal of Life Sciences | ISSN: 2656-0682 (online)**, v. 3, n. 2, 2021.



GUPTA, Radhika *et al.* Toxic effects of food colorants erythrosine and tartrazine on zebrafish embryo development. **Current Research in Nutrition and Food Science**, v. 7, n. 3, p. 876–885, 1 dez. 2019.

HOFSETH, Lorne J. *et al.* Allura Red AC is a xenobiotic. Is it also a carcinogen? **Carcinogenesis**, v. 45, n. 10, p. 711–720, 10 out. 2024.

HUSSAIN, Shehzad *et al.* Natural pigments (anthocyanins and chlorophyll) and antioxidants profiling of European red and green gooseberry (*Ribes uva-crispa* L.) extracted using green techniques (UAE-citric acid-mediated extraction). **Current Research in Food Science**, v. 7, p. 100629, 1 jan. 2023.

IGREJA, Willen Silva *et al.* Biotechnological Production of Carotenoids Using Low Cost-Substrates Is Influenced by Cultivation Parameters: A Review. **International Journal of Molecular Sciences** 2021, Vol. 22, Page 8819, v. 22, n. 16, p. 8819, 17 ago. 2021.

KHOO, Hock Eng *et al.* Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. **Food and Nutrition Research**, v. 61, n. 1, 2017.

KWON, Yun Han *et al.* Chronic exposure to synthetic food colorant Allura Red AC promotes susceptibility to experimental colitis via intestinal serotonin in mice. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, p. 7617-, 20 dez. 2022.

MA, Junrui *et al.* **Phycobiliproteins, the pigment-protein complex form of natural food colorants and bioactive ingredients. Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 2022.

MARTELLI, Giulia *et al.* Thermal stability improvement of blue colorant C-Phycocyanin from *Spirulina platensis* for food industry applications. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 1, p. 154–159, 1 jan. 2014.

NABI, Brera Ghulam *et al.* **Natural pigments: Anthocyanins, carotenoids, chlorophylls, and betalains as colorants in food products. Food Bioscience**, 2023.

OLADZADABBASABADI, Nazila *et al.* Natural anthocyanins: Sources, extraction, characterization, and suitability for smart packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, p. 100872, 1 set. 2022.

OTÁLORA, Maria Carolina; WILCHES-TORRES, Andrea; GÓMEZ CASTAÑO, Jovanny A. Evaluation of Guava Pulp Microencapsulated in Mucilage of Aloe Vera and *Opuntia ficus-indica* as a Natural Dye for Yogurt: Functional Characterization and Color Stability. **Foods**, v. 11, n. 15, 2022.

PEREIRA, Tatiana *et al.* Stability, kinetics, and application study of phycobiliprotein pigments extracted from red algae *Gracilaria gracilis*. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 10, 2020.

PEREZ, María B. *et al.* Physicochemical properties, degradation kinetics, and antioxidant capacity of aqueous anthocyanin-based extracts from purple carrots compared to synthetic and natural food colorants. **Food Chemistry**, v. 387, 2022.

POORNIAMMAL, Rajendran *et al.* Safety Evaluation of Fungal Pigments for Food Applications. **Journal of Fungi** 2021, Vol. 7, Page 692, v. 7, n. 9, p. 692, 26 ago. 2021.

PRADEEP, H. N.; NAYAK, Chetan A. Enhanced stability of C-phycocyanin colorant by extrusion encapsulation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 10, 2019.

RENITA, A. Annam *et al.* Progress and Prospective of the Industrial Development and Applications of Eco-Friendly Colorants: An Insight into Environmental Impact and Sustainability Issues. **Foods** 2023, Vol. 12, Page 1521, v. 12, n. 7, p. 1521, 3 abr. 2023.

SANCHEZ, Virginia; BAEZA, Rosa; CHIRIFE, Jorge. Comparison of monomeric anthocyanins and colour stability of fresh, concentrate and freeze-dried encapsulated cherry juice stored at 38°C. **Journal of Berry Research**, v. 5, n. 4, 2015.

SIGURDSON, Gregory T.; TANG, Peipei; GIUSTI, M. Mónica. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. **Annual Review of Food Science and Technology**, v. 8, p. 261–280, 28 fev. 2017.

SINGH, Mandeep; CHADHA, Pooja. Erythrosine-Induced Neurotoxicity: Evaluating Enzymatic Dysfunction, Oxidative Damage, DNA Damage, and Histopathological Alterations in Wistar Rats. **Journal of Applied Toxicology**, v. 45, n. 4, p. 576–586, 1 abr. 2025.

TANAKA, Toyohito. Reproductive and neurobehavioural toxicity study of tartrazine administered to mice in the diet. **Food and Chemical Toxicology**, v. 44, n. 2, p. 179–187, 1 fev. 2006.



TEIXEIRA, Valéria Maria Costa *et al.* Chemometric approaches to evaluate the substitution of synthetic food dyes by natural compounds: The case of nanoencapsulated curcumin, spirulina, and hibiscus extracts. **LWT**, v. 154, 2022.

U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION.
FDA to Revoke Authorization for the Use of Red No. 3 in Food and Ingested Drugs | FDA. [S.l.: S.n.]. Disponível em:
<<https://www.fda.gov/food/hfp-constituent-updates/fda-revoke-authorization-use-red-no-3-food-and-ingested-drugs>>. Acesso em: 18 mar. 2025.

VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, Marcos *et al.*
Simultaneous stabilization of blueberry anthocyanin colorant through microencapsulation and ferulic acid copigmentation. **Food Research International**, v. 217, p. 116753, 1 out. 2025.

WIJESEKARA, Tharuka; XU, Baojun. A critical review on the stability of natural food pigments and stabilization techniques. **Food Research International**, v. 179, p. 114011, 1 mar. 2024.

YEASMEN, Nushrat *et al.* Valorization of red beet peel through green extraction and carrier-driven microencapsulation for improved betalain stability. **Food Chemistry**, v. 498, p. 147230, 1 jan. 2026.