Congresso Internacional da Agroindústria 10 e 11 de junho CIAGRO 2021 Inovação, Gestão e Sustentabilidade na Agroindústria

MINI-REVISÃO SOBRE OS CAROTENOIDES: CONCEITOS, FONTES E ATIVIDADES BIOLÓGICAS

MINI-REVISIÓN SOBRE CAROTENOIDES: CONCEPTOS, FUENTES Y ACTIVIDADES BIOLÓGICAS

MINI-REVIEW ON CAROTENOIDS: CONCEPTS, SOURCES AND BIOLOGICAL ACTIVITIES

Julyanne Victória dos Santos Ferreira[1]; Jéssica Costa da Silva[2]; Nilson Fernando Barbosa da Silva[3], Ana Lúcia Figueiredo Porto[4]; Vagne Melo Oliveira[5]

DOI: https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0154

RESUMO
Os carotenoides são pigmentos tetraterpênicos presentes na natureza em organismos fotossintetizantes e não fotossintetizantes, sendo eles: animais, algas, microrganismos (fungos e bactérias) e vegetais. Nos alimentos, os carotenoides apresentam-se como corantes naturais, com coloração variando do amarelo ao vermelho, além de proporcionar benefícios à saúde com potencial para a ação antioxidante, anti-inflamatória, antitumoral, entre outras, contribuindo, assim, para a prevenção de doenças degenerativas e cardiovasculares. Esta mini-revisão objetivou investigar o aproveitamento dos carotenoides de origem animal e vegetal, como também de suas aplicações biológicas. Para o desenvolvimento desta mini-revisão, foi realizado um levantamento bibliográfico, utilizando plataformas eletrônicas científicas, tais como: ScienceDirect, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Springer e PubMed (no período de 2005 a 2021), utilizando-se como descritores as seguintes palavras e frases: “carotenoides”, “carotenoides animais e vegetais”, “aplicação dos carotenoides”, “fontes de carotenoides”. Após a catalogação dos dados, foi identificado a grande visibilidade dos carotenoides no mercado comercial de produtos naturais. Os carotenoides têm sido considerados excelentes fontes naturais de compostos biológicos que podem ser adquiridos por meio da alimentação. Também, podem ser produzidos por síntese química, compostos estes que dominam o mercado global, porém aqueles obtidos a partir de fontes naturais vêm se destacando devido aos benefícios associados à saúde, estimulando a realização de investimentos para viabilizar a sua obtenção a partir de fontes residuais, tais como as provenientes da agroindústria. Agro-resíduos, como a carapaça de camarão e pele de espécies de peixes vermelhos, considerados de baixo custo, pode ser uma alternativa viável para extração de compostos bioativos, como os carotenoides, contribuindo com a melhora nos impactos econômicos e ambientais.
Palavras-Chave: Carotenoides, Hidrocarbonetos, Pigmentos, Resíduos.

RESUMEN
Los carotenoides son pigmentos tetraterpénicos presentes en la naturaleza en organismos fotosintéticos y no fotosintéticos, que son: animales, algas, microorganismos (hongos y bacterias) y vegetales. En los alimentos, los carotenoides se presentan como colorantes naturales, con color que va del amarillo al rojo,

[1]Graduanda em Ciência Biológicas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, julyanne.marculino@gmail.com
[2]Doutoranda em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, jess.cost15@gmail.com
[3]Graduando em Engenharia de Pesca, Universidade Federal Rural de Pernambuco, nilsons.fernando@gmail.com
[4] Professora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, analuporto@yahoo.com.br
[5]Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, vagne_melo@hotmail.com

además de brindar beneficios para la salud con potencial de acción antioxidante, antiinflamatoria, antitumoral, entre otros, contribuyendo así a la prevención de enfermedades degenerativas y degenerativas. enfermedades cardiovasculares. Esta mini revisión tuvo como objetivo investigar el uso de carotenoides animales y vegetales, así como sus aplicaciones biológicas. Para el desarrollo de esta mini-revisión se realizó un relevamiento bibliográfico, utilizando plataformas científicas electrónicas, tales como: ScienceDirect, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Springer y PubMed (en el período de 2005 a 2021), utilizando como descriptores las siguientes palabras y frases: "carotenoides", "carotenoides animales y vegetales", "aplicación de carotenoides", "fuentes de carotenoides". Luego de catalogar los datos, se identificó la alta visibilidad de los carotenoides en el mercado comercial de productos naturales. Los carotenoides se han considerado excelentes fuentes naturales de compuestos biológicos que se pueden adquirir a través de los alimentos. Asimismo, pueden ser producidos por síntesis química, compuestos que dominan el mercado global, sin embargo los obtenidos de fuentes naturales se han destacado por los beneficios asociados a la salud, estimulando inversiones para posibilitar su obtención de fuentes residuales., Tales como los de la agroindustria. Los agro-residuos, como el caparazón de camarón y la piel de especies de peces rojos, considerados de bajo costo, pueden ser una alternativa viable para la extracción de compuestos bioactivos, como los carotenoides, contribuyendo a la mejora de los impactos económicos y ambientales.
Palabras Clave: Carotenoides, Hidrocarburos, Pigmentos, Desechos.

ABSTRACT
Carotenoids are tetraterpenic pigments present in nature in photosynthetic and non-photosynthetic organisms, which are: animals, algae, microorganisms (fungi and bacteria) and vegetables. In foods, carotenoids are presented as natural dyes, with color ranging from yellow to red, in addition to providing health benefits with the potential for antioxidant, anti-inflammatory, anti-tumor action, among others, thus contributing to the prevention of degenerative and cardiovascular diseases. This mini-review aimed to investigate the use of animal and vegetable carotenoid, as well as their biological applications. For the development of this mini-review, a bibliographical survey was carried out, using electronic scientific platforms, such as: ScienceDirect, Scielo, Elsevier, Google Scholar, Springer and PubMed (in the period 2005-2021), using as descriptors the following words and phrases: “carotenoids”, “animal and vegetable carotenoids”, “application of carotenoids”, “sources of carotenoids”. After cataloging the data, the high visibility of carotenoids in the commercial market for natural products was identified. Carotenoids have been considered excellent natural sources of biological compounds that can be acquired through food. Also, they can be produced by chemical synthesis, compounds that dominate the global market, however those obtained from natural sources have stood out due to the benefits associated with health, stimulating investments to make it possible to obtain them from residual sources. Such as those from agribusiness. Agro-residues, such as the shrimp shell and skin of red fish species, considered to be low cost, can be a viable alternative for the extraction of bioactive compounds, such as carotenoids, contributing to the improvement in economic and environmental impacts.
Keywords: Carotenoids, Hydrocarbons, Pigments, Waste.

1. INTRODUÇÃO

A agroindústria é uma fonte vasta de matéria-prima residual com real aplicação biotecnológica, tais como: enzimas, lipídios, proteínas (colágeno) e pigmentos (carotenoides), sendo obtidos através de métodos de extração por solventes orgânicos, extração de fluído supercrítico, extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas, extração mecânica e extração de líquido pressurizado (MARTINS; FERREIRRA, 2017). A matéria-prima agro residual tem sido potencializada para atender novos nichos de mercado (alimentos mais saudáveis). A utilização dos agros resíduos é uma alternativa promissora para valorizar

recursos renováveis de baixo custo e fornecer impactos econômicos e ambientais positivos (GÓMEZ; CARAVACA, 2020).

A busca por uma alimentação saudável e de qualidade tem sido um grande desafio para quem pretende chegar à terceira idade sem comorbidades. Para atender essa demanda de consumidores, uma alternativa para auxiliar a longevidade saudável, é a utilização de compostos biológicos naturais, como os carotenoides. Os carotenoides são pigmentos tetraterpênicos que podem ser utilizados em inúmeros processos industriais, sendo as suas principais fontes: fermentação microbiana, extração vegetal, extração a partir de animais, ou ainda, por síntese química (RAM *et al.*, 2020). Os animais não podem sintetizar carotenoides de novo e, portanto, aqueles encontrados nos animais são diretamente acumulados a partir dos alimentos ou parcialmente modificados por meio de reações metabólicas, apresentando uma grande diversidade estrutural e com papéis biológicos importantes, como precursores da vitamina A, fotoprotetores, antioxidantes, intensificadores da imunidade e contribuintes para a reprodução (MAOKA, 2020), o que tem contribuído para sua valorização dentro do mercado de compostos bioativos.

O mercado global de carotenoides foi estimado em US$ 1,5 bilhões em 2017, podendo atingir a marca de US $ 2,0 bilhões ainda em 2020 (MC WILLIAMS, 2018). Nele, os carotenoides produzidos por síntese química representam até 90% do montante comercializado, sendo restante proveniente de fontes naturais (SAINI; KEUM, 2019). A busca por fontes naturais está pautada, principalmente, na sua capacidade biológica de atuar como promotores da saúde, precursores de vitamina A, capacidades antioxidante e anti-inflamatória (BILAL *et al.*, 2017; CENTELLA *et al.*, 2017). Dessa forma, esta mini-revisão objetivou revisar sobre os carotenoides, enfocando nos conceitos, fontes (origem animal e vegetal) e nas suas aplicações biotecnológicas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os corantes naturais surgiram como uma alternativa aos seus homólogos sintéticos devido a um problema de saúde existente destes mais tarde. Além disso, os corantes naturais para alimentos são uma opção renovável, proporcionando benefícios à saúde e atributos tecnológicos e sensoriais interessantes para os sistemas alimentares que os contêm. Diversas fontes de corantes naturais foram exploradas com o objetivo de fornecer a ampla gama de cores exigida pelos consumidores (LUZARDO-OCAMPO *et al*., 2017).

A cor dos alimentos geralmente está associada ao sabor, segurança e valor nutricional do produto. Corantes alimentícios sintéticos têm sido usados devido à sua alta estabilidade e

baixo custo. Entretando, a percepção e demanda do consumidor têm impulsionado a substituição de corantes sintéticos por alternativas de origem natural. As aplicações de pigmentos naturais podem ser limitadas por menor estabilidade, força tintorial mais fraca, interações com ingredientes alimentícios e incapacidade de combinar os tons desejados. Portanto, nenhum corante derivado naturalmente pode servir como uma alternativa universal para um corante sintético específico em todas as aplicações (SIGURDSON; TANG; GIUSTI, 2017).

Os carotenoides têm apresentado excelentes vantagens em aplicações biotecnológicas, principalmente, quando adquiridos a partir de resíduos e subprodutos, o que se torna um grande desafio para as indústrias, além de oferecer excelentes oportunidades em diversas áreas de aplicação (MARTINS *et al.*, 2016), farmacêutico, nutracêutico e alimentício (BERMAN *et al*., 2015). Em geral, os corantes artificiais apresentam menor custo e melhor estabilidade do que os naturais. No entanto, estudos relatam sua associação com alguns distúrbios de saúde. Além disso, os consumidores têm dado maior atenção aos produtos alimentícios com efeitos benéficos à saúde, o que abre uma nova perspectiva para o uso de corantes naturais (ALBUQUERQUE *et al*., 2021). Os carotenóides isomerizam e oxidam, tendo sido os pigmentos mais estudados em termos de efeitos à saúde, envolvendo estudos epidemiológicos, de intervenção celular animal e humana (RODRIGUEZ-AMAYA, 2019).

O mercado de carotenoides é segmentado em astaxantina, betacaroteno, luteína, licopeno, cantaxantina e zeaxantina, além dos outros tipos (capsantina, urucum, alfacaroteno e apocarotenal), tendo como principal a astaxantina (SILVA *et al*., 2020). Na indústria de alimentos, os pigmentos mais utilizados estão na escala do amarelo ao vermelho para substituir, parcialmente ou integralmente, os corantes artificiais que vem sendo utilizados em bebidas e produtos alimentícios processados, devido a sua alta estabilidade e solubilidade (LI *et al.*, 2016). Além disso, os carotenoides têm desempenhado um excelente papel na dieta humana, principalmente pelas suas ações antitumorais, antioxidantes e mutagênicas (SAINI *et al.*, 2018).

3. METODOLOGIA

Esta mini-revisão foi desenvolvida a partir de levantamento bibliográfico, fazendo uso de plataformas científicas, tais como: ScienceDirect (http://www.sciencedirect.com/), Scielo (http://www.scielo.com/), Elsevier (https://www.elsevier.com/pt-br), Google Scholar (https://scholar.google.com.br/), Springer (http://www.springer.com/) e PubMed (https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/), utilizando-se descritores em inglês, a saber: “Carotenoids”, “animal and vegetable carotenoids”, “application of carotenoids”, “sources of carotenoids”, no

período de 2016 a 2021, sem haver nenhuma restrição quanto ao tipo de pesquisa (artigo original, artigo de revisão, dissertação e/ou teses) e/ou análise quantitativa e/ou qualitativa, tendo os conceitos, definições e exemplos utilizados de acordo com o interesse dos autores, tendo sido formulado os seguinse tópicos a serem elucidados: 1) conceito, esturtura e composição química dos carotenoides; 2) Carotenoides de origem vegetal; 3) Carotenoides de origem animal; e, por fim, sobre as 4) Atividades biológicas dos carotenoides.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento da demanda de carotenóides no mercado global tem sido cada vez mais consistente. No momento, a produção de carotenoides naturais é mais cara do que a obtenção de suas formas sintéticas, contudo, várias novas abordagens tem sido relatadas usando fontes naturais (RAPOPORT *et al*., 2021), uma vez que os resíduos agroindustriais são um recurso natural inexplorado de compostos bioativos, incluindo carotenóides (NAGARAJAN *et al*., 2020). Dentro desse contexto, a partir da busca científica, foram selecionados 67 trabalhos publicados entre os anos de 2005 à 2021. O quantitativo selecionado foi devido ao alto volume de produção cientifica sobr eo respectivo tema. Os trabalhos selecionados foram conferidos e os conceitos e discussões formuladas a partir destes, como descritos adiante.

4.1. Conceito, estrutura e composição química dos carotenoides

Conceitualmente, os carotenoides são pigmentos naturais classificados como terpenóides, pertencente à classe dos tetraterpenos (DEL-MAR; GÓMEZ-CARAVACA, 2020), formados por isoprenóides (RAM *et al.,* 2020), amplamente distribuídos na natureza, sendo encontrados em vegetais, animais e microrganismos, nas cores amarelo, laranja e vermelho, sendo, portanto, capazes de absorver a luz na faixa de 400 a 500nm (HUANG *et al.*, 2017; REHMAN *et al.,* 2019). Organismos aquáticos também tem sido objeto de fonte de carotenoides, tais como: peixes, camarões, caranguejos e algumas aves como o flamingo podem sintetizar esses pigmentos a partir de uma dieta de organismos produtores e expressá-los em seu fenótipo. Vários autores descrevem a clivagem oxidativa dos carotenóides em compostos aromatizantes que ocorrem por meio de degradações químicas ou fotoquímicas ou por meio de processos biotecnológicos (LIRA et al., 2017; UENOJO *et al*., 2007).

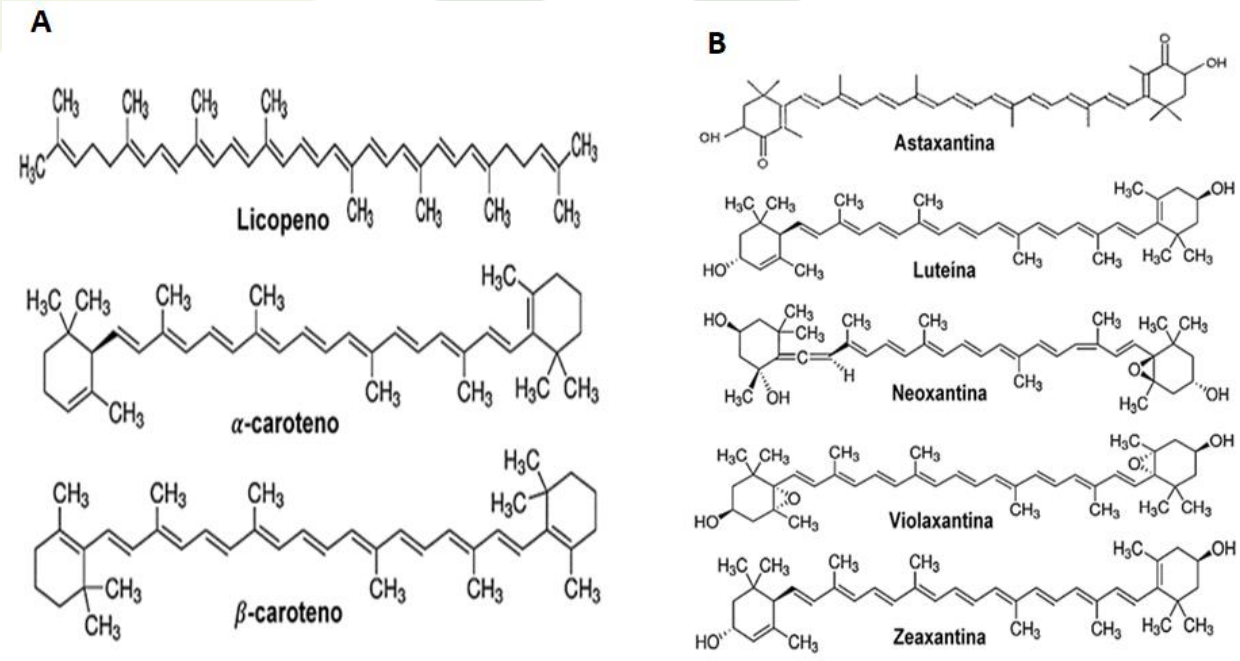
Os carotenoides consistem basicamente em uma estrutura formada por 40 moléculas de carbono ou hidrocarboneto C_{40} (RIVERA-MADRID *et al.,* 2020), apresentando como característica duplas ligações, sendo uma cadeia conjugada e prolongada, possuindo cromatófaros em sua constituição, determinando assim a cor desses pigmentos, além de

fornecer aspecto nítido para sua identificação e quantificação. Embora mais de 750 formas de carotenoides tenham sido encontradas e isoladas de várias fontes naturais, esses pigmentos estão divididos em apenas dois grupos: carotenoides e xantófilas (BEZERRA *et al.*, 2019).

Os principais grupos são formados com base em suas estruturas: (a) carotenos ou hidrocarboneto puro, por exemplo, licopeno, α-caroteno e β-caroteno (Figura 1A); e xantofilas ou carotenoides oxigenados, por exemplo, astaxantina, luteína, neoxantina, violaxantina e zeaxantina (Figura 1B) (NGAMWONGLUMLERT; DEVAHASTIN; CHIEWCHAN, 2017).

Licopeno, β-caroteno, luteína e zeaxantina são os principais carotenoides encontrados em vegetais. O β-caroteno possui o retinol em sua estrutura sendo o retinol uma estrutura composta por um anel cetônico de β-ionona e uma cadeia de isopreno, também conhecido como vitamina A, tem bastante atuação no crescimento e desenvolvimento do sistema imune e da visão. Além disso, estudos indicam uma boa efetividade do retinol na prevenção contra o câncer e a hipovitaminose A (AMBRÓSIO *et al*., 2006).

Figura 1. Estrutura química dos carotenos (A) e dos das xantófilas (B).



Fonte: https://www.sigmaaldrich.com/ com adaptações.

4.2 Carotenoides de origem vegetal

Entre os mais de 750 carotenóides identificados na natureza, apenas luteína, zeaxantina, meso-zeaxantina e seus metabólitos oxidativos são seletivamente acumulados na região da mácula lútea da retina humana. Esses carotenóides da retina são chamados coletivamente de pigmento macular (MP) e são obtidos apenas por meio de fontes dietéticas, como vegetais de

folhas verdes e frutas e vegetais amarelos e laranja (ARUNKUMAR; GORUSUPUDI; BERNSTEIN, 2020).

A maioria dos genes carotenogênicos identificado em plantas (SATHASIVAM *et al.*, 2020), apresentam funções primárias (essenciais) e secundárias (especializadas) (RODRIGUEZ-CONCEPCION *et al.*, 2018), estando presentes nos tecidos verde das plantas, localizado nos cloroplastos, sendo sintetizados em plantas, algas, bactérias e algumas leveduras, desempenhando um papel fundamental durante o processo de fotossíntese, fotoproteção e produção de fitohormônios (ácido abscísico e estrigolactona) em células vegetais, fisiologicamente, os carotenoides fazem parte do foto proteção em plantas, pois atuam como necrófagos de espécies reativas de oxigênio (SATHASIVAM *et al.*, 2020).

Todavia, o interesse científico em carotenoides não ocorre somente por suas numerosas funções fisiológicas nas plantas, mas sim porque eles desempenham um papel importante como fonte natural de substâncias antioxidantes, que são capazes de se ligar a radicais livres em células animais (FIEDOR; BURDA, 2014) dentre outras funções especificas para cada tipo de carotenoide, como por exemplo Luteína e zeaxantina são conhecido por seu efeito de promoção da saúde por doenças oculares, degeneração macular relacionada à idade e catarata pois promovem a prevenção através da absorção de luz azul e o caroteno deve ter um grande potencial na prevenção cânceres de boca, faringe e laringe (ABDEL-AAL *et al*., 2013; GOMES; 2007).

Os carotenoides de origem vegetal quando aplicado através do encapsulamento desempenham funções de aumentar a sua solubilidade e desenvolver resistência contra o estresse durante o processo de digestão (HORUZ; BELIBAĞLI, 2018). No entanto, um fator que delimita a aplicação industrial desses carotenoides sintetizados a partir de organismos de origem vegetal é a sua degradação devido ao estresse ambiental ocasionado pelo calor, baixa solubilidade da água, exposição ao oxigênio e pH desfavorável em ambiente digestivo (CHUYEN *et al.*, 2019).

Dams *et al*. (2021) analisaram um concentrado de suco de frutas, frutas silvestres, frutas e vegetais à base de alimentos inteiros com carotenóides biodisponíveis e observaram que após 8 semanas de suplementação, a concentração plasmática dos carotenóides aumentou significativamente, tendo o α-caroteno aumentou de 59,6 ± 22,4 nmol/L para 85,7 ± 24,2 nmol /L, β-criptoxantina de 106,7 ± 39,8 nmol/L para 151,9 ± 57,9 nmol/L e licopeno de 1,2 ± 0,5 µmol/L a 1,7 ± 0,5 µmol/L. Em seus estudos, Zhou *et al*. (2020) analisaram os carotenoides da casca e da polpa de 41 cultivos de damasco de forma qualitativa e quantitativa por UHPLC-APCI-MS/MS foram 13 carotenoides detectados, os principais componentes dos frutos do

damasco foram β-caroteno e (E/Z)-fitoeno, seguido por β-criptoxantina e luteína comprovando a grande diversidade metabólica de carotenoides em frutos de damasco. Pena *et al*. (2021) ao avaliarem o potencial antioxidante dos carotenoides da Mamey (*Pouteria sapota*) e os compararem aos carotenóides da cenoura (*Daucus carota*) por meio de testes *in vivo* (resistência ao estresse oxidativo em *Caenorhabditis elegans*), os autores encontraram teores de carotenoides em mamey e cenoura de 4,42 ± 0,12 e 5,47 ± 0,04 mg β-caroteno/100g, respectivamente. Comprovou-se ainda em seu estudo que os extratos de carotenoide mamey e cenoura diminuíram o dano oxidativo em *C. elegans* em 20-30% e 30-40%, respectivamente.

Nagarajan *et al.* (2020) extraíram carotenoides a partir de resíduos agroindustriais de bagaço de tomate via complexação hidrocoloidal induzida por água (9,43 mg de frações carotenóides/100 g de bagaço de tomate). Os frutos da pimenta malagueta têm abundantes constituintes bioquímicos e minerais de valor nutricional, sendo abundantes pimentas em compostos bioativos, como carotenóides (luteína, β-caroteno, β-criptoxantina, zeaxantina, violaxantina, capsantina e capsorubina) (VILLA-RIVERA; OCHOA-ALEJO, 2020), corroborando com essa potencialidade, Vulić *et al.* (2019) reportaram a biodisponibilidade e bioatividade de carotenóides isolados de resíduos de pimenta vermelha. Outra fonte importante desses pigmentos. Stranti *et al*. (2012) usaram para descrever a composição de carotenoides de resíduos de tomate um método de eluição de gradiente modificado de HPLC comum a coluna de fase reversa C30 para a separação e análise eficientes de carotenoides e seus isômeros *cis*, eles encontraram 7 tipos de carotenoides em resíduos de tomate, sendo o licopeno totalmente trans predominante, confirmando que os resíduos de tomate são uma excelente fonte de recuperação de carotenoides, para uso comercial.

4.3 Carotenoides de origem animal

O mercado de carotenoides de origem vegetal é mais abrangente do que o de origem animal, por um bom tempo acreditou-se que os animais eram incapazes de sintetizar carotenoides, porém através da codificação de seus genes, os animais mostraram que são capazes de produzir esses pigmentos, podendo ser encontrados em mamíferos, aves, artrópodes (RODRIGUEZ-CONCEPCION *et al.*, 2018) e organismos aquáticos, sobretudo os crustáceos, peixes e moluscos (KAUR; SHAH, 2017). No entanto, a presença de carotenoide sem animais reflete bem sua cadeia alimentar e vida ambientes (MAOKA *et al*., 2020)

A coloração muscular de peixes, crustáceos e moluscos dá-se pelo acúmulo de carotenoides em depósitos de gordura intramuscular ou abaixo do exoesqueleto, embora os carotenoides naturais sejam um ótimo pigmento para a aquicultura, os peixes não são capazes

de sintetizar carotenoides naturalmente, fazendo com que sejam sintetizados através da sua dieta (MENG *et al.,* 2017). Estudo realizado por Liu *et al.* (2019), mostra os efeitos dos carotenoides também possuem grande influência no desempenho de crescimento, respostas imunológicas e doenças associadas a uma espécie bagre-amarelo (*Pelteobagrus fulvidraco*), sob estresse de temperatura.

Além de peixes, crustáceos tem sido alvo para a extração de pigmentos carotenoides, como os obtidos por Pattanaik *et al.* (2019) ao extraíram esse pigmento de *Peneanus monodon*, *Parapenaeopsisstylifera*, *Metapenaeus affinis* e *Nematopalemon tenuipes*. Assim, sinalizando que animais aquáticos são fontes potenciais e renováveis de compostos bioativos amplamente requeridos no mercado biotecnológico (THOMSON *et al.,* 2018).

Em um estudo 47 espécies de insetos pertencentes a Hemiptera, incluindo 16 espécies de Sternorrhyncha (pulgões e uma mosca-branca), 11 espécies de Auchenorrhyncha (cigarrinhas, cigarrinhas e cigarras) e 20 espécies de Heteroptera (percevejos, percevejos assassinos, peregrinos escorpiões aquáticos, insetos aquáticos e nadadores retrógrados), foram investigados do ponto de vista da quimio-sistemática e da ecologia química, sendo encontrados carotenoides pertencentes à via biossintética do toruleno, como β-zeacaroteno, β, ψ-caroteno e toruleno, e carotenoides com um grupo de extremidade γ, como β, γ-caroteno e γ, γ-caroteno foram identificados, além desses β-caroteno, β-criptoxantina e luteína, originários de plantas dietéticas, estavam presentes tanto em percevejos quanto em cigarrinhas. Os insetos assassinos também acumulavam carotenóides de insetos dietéticos. Traços de carotenóides foram detectados nas cigarras. Confirmando mais uma vez que Carotenóides de insetos pertencentes a Hemiptera refletem bem suas histórias de vida ecológica (MAOKA *et al*., 2021)

Em sua pesquisa, Maoka *et al*. (2020) constataram que Xantofilas amarelas, 3'-epiluteína, luteína, zeaxantina e diatoxantina eram os principais carotenoides no Amago selvagem (*Oncorhynchus masou ishikawae* é uma espécie endêmica de salmão) segundo os autores esses carotenoides eram originados de insetos aquáticos, dos quais o Amago selvagem se alimentava. Strati *et al.* (2012) utilizaram o camarão *Penaeus kerathurus* como fonte de carotenoides (zeaxantina, trans-luteína, cantaxantina, criptoxantina, isômeros ópticos e geométricos de astaxantina) e identificaram quantidades consideráveis, sendo luteína totalmente trans e zeaxantina totalmente trans, os principais carotenoides encontrados na gema de ovo de pato e ganso, respectivamente.

4.4 Atividades biológicas dos carotenóides

Pigmentos encontrados na maioria das frutas e vegetais, plantas, algas e bactérias

fotossintéticas, os carotenóides têm sido relatados como compostos com várias atividades biológicas de interesse para a saúde humana (EGGERSDORFER; WYSS, 2018), tais como propriedades antioxidantes, a inibição do crescimento de tumores malignos e a indução de apoptose. Todavia, a suplementação com carotenóides pode afetar o crescimento celular e modular a expressão gênica e as respostas imunológicas. A quimioprevenção do câncer por carotenóides dietéticos envolve vários mecanismos, incluindo efeitos na comunicação intercelular das junções de hiato, sinalização do fator de crescimento, progressão do ciclo celular; além de estimular a proliferação de linfócitos B e T, a atividade de macrófagos e células T citotóxicas, a função de células T efetoras e a produção de citocinas (MILANI *et al.*, 2017).

Os carotenóides de origem vegetal podem atuar como fotoprotetores, antioxidantes, atrativos de cor e precursores de hormônios vegetais em órgãos não fotossintéticos das plantas (MAOKA, 2020). Lima *et al*. (2019) detectaram atividade biológica de carotenoides extraídos através de fluido supercrítico a partir de vários resíduos de frutas e vegetais, incluindo polpa e cascas de batata-doce, tomate, damasco, abóbora e pêssego, bem como polpa e resíduos de pimentão verde, amarelo e vermelho. Os efeitos benéficos de vegetais e frutas ricos em carotenóides na saúde e na redução do risco de certas doenças foram atribuídos aos principais carotenóides, β-caroteno, licopeno, luteína, zeaxantina e curcumina, devido a seus efeitos antioxidantes. Acredita-se que os carotenóides atuem de maneira dependente do tempo e da dose (MILANI *et al.*, 2017).

Os carotenoides extraídos a partir de fontes de origem animal, geralmente, apresentam atividades biológicas benéficas, tanto quanto os obtidos de origem vegetal, incluindo ações antioxidantes, antiinflamatórias, antitumorais, anti-obesidade e anti-diabetes (SILVA *et al*., 2020). Há evidências que sugerem que os carotenóides têm efeitos benéficos em modelos animais de doença hepática gordurosa não alcoólica e na doença hepática alcoólica. Mecanicamente, esses benefícios podem ocorrer por meio de três modos de ação possíveis: 1) melhora do estado antioxidante hepático amplamente atribuído aos carotenóides em geral; 2) a geração de vitamina A a partir de β-caroteno e β-criptoxantina, levando a uma sinalização retinóide hepática melhorada; e 3) a geração de metabólitos apocarotenóides a partir do β-caroteno e licopeno, que podem regular as vias de sinalização hepática (CLUGSTON, 2020).

Ainda, dentre outras atividades relatadas para carotenoides, podem ser ncluídas: ativação da autofagia e inibição da apoptose em célula gástrica infectada *por Helicobacter pylori* (LEE; LIM; KIM, 2020), inibição da disfunção mitocondrial e a expressão de interleucina-8 em células epiteliais gástricas infectadas por *Helicobacter pylori* (KIM; LIM; KIM, 2018), combate a doença do fígado gordo (LIU *et al*., 2018), prevenção e reversão da

resistência a insulina (NI *et al*., 2015), proteção do músculo liso vascular (CHEN *et al*., 2020), agente neuroprotetor contra a isquemia do nervo óptico (LIN *et al*., 2020), homeostase mitocondrial do cálcio (SZTRETYE *et al*., 2020), prevenção da osteoartrite (SUN *et al*., 2019), antioxidante e anti-envelhecimento (EREN *et al*., 2019), proliferação e migração de células cancerosas da mama *in vitro* (McCall *et al*., 2018), pigmentação do leite (MEZQUITA *et al*., 2015), tratamento da dermatite de contato (KIM *et al*., 2015), supressão de enfisema pulmonar (KUBO *et al*., 2019), proteção contra danos à retina (OTSUKA *et al*., 2016), prevenção de lesão pulmonar (CAI *et al*., 2019), além do uso como aditivos em cosméticos (TOMINAGA *et al*., 2012).

5 CONCLUSÕES

O levantamento bibliográfico sinalizou a ampla abrangência de fontes de origem vegetal e animal, e de suas possíveis aplicações desde uso em alimentos, passando por aplicações nutracêuticas, biomédicas, terapêuticas e cosméticas. Com a prospecção científica realizada também foi possível constatar que o mercado vem almejando cada vez mais por fontes alternativas, principalmente as provenientes da reutilização dos resíduos descartados da agroindústria, como forma de reduzir custos e destinar esses materiais para fins mais nobres que o lixo. A tendência global do mercado de carotenoides é buscar cada vez mais por fontes naturais em detrimento das sintéticas. No concernente a esta questão, o grande desafio é a mão de obra qualificada e o custo elevado das técnicas atuais de extração e purificação, e quando necessários, de encapsulamento. Uma possibilidade viável para redução de custos é a utilização da matéria-prima residual, além de ser ecologicamente benigna e sustentáveis, com potencial para aplicações biotecnológicas equivalentes as sintéticas nos segmentos industriais mais variados (adicionados em alimentos e bebidas, como aditivos em cosméticos, para fins terapêuticos devido suas funcionalidades biológicas, entre outros).

6. REFERÊNCIAS

ABDEL-AAL, E.-S. M.; AKHTAR, H.; ZAHEER, K.; ALI, R. Dietary sources of lutein and zeaxanthin carotenoids and their role in eye health**. Nutrients**. v. 5, 1169−1185, 2013.

ALBUQUERQUE, B.R.; OLIVEIRA, M.; BARROS, L.; FERREIRA, I. Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives. **Critical reviews in food science and nutrition**, v.61, n.5, p.805–835, 2021.

AMBRÓSIO C.L.B.; CAMPOS F.A.C.S.; FARO Z.P. Carotenóides como alternativa contra a hipovitaminose A. **Revista de Nutrição**, v.19, n.2, p.233-243, 2006.

ARUNKUMAR, R.; GORUSUPUDI, A.; BERNSTEIN, P.S. The macular carotenoids: A biochemical overview. **Biochimica et biophysica acta. Molecular and cell biology of lipids**, v.1865, n.11, p.158617, 2020.

BERMAN, J.; ZORRILLA-LÓPEZ, U.; FARRÉ, G.; ZHU, C.; SANDMANN, G.; TWYMAN, R. M.; CARPELL, T.; CHRISTOU, P. Nutritionally important carotenoids as consumer products. **Phytochemistry Reviews**, v. 14, n. 5, p. 727–743, 2014. doi:10.1007/s11101-014-9373-1**.**

BEZERRA, P. Q. M.; DE MATOS, M. F. R.; RAMOS, I. G.; MAGALHÃES-GUEDES, K. T.; DRUZIAN, J. I.; COSTA, J. A. V.; NUNES, I. L. Innovative functional nanodispersion: Combination of carotenoid from Spirulina and yellow passion fruit albedo. **Food Chemistry**, v. 285, p. 397-405, 2019.

BILAL, M.; RASHEED, T.; AHMED, I.; IQBAL, H. M.; SADA, E. High value compounds from microalgae with industrial exploitability - A review. **Front Biosci (Schol Ed)**, v. 9, p. 319-342, 2017.

CAI, X.; CHEN, Y.; XIE, X.; YAO, D.; DING, C.; CHEN, M. Astaxanthin prevents against lipopolysaccharide-induced acute lung injury and sepsis via inhibiting activation of MAPK/NF-κB. **American journal of translational research**, v.11, n.3, p.1884–1894, 2019.

CENTELLA, M. H.; ARÉVALO-GALLEGOS, A.; PARRA-SALDIVAR, R.; IQBAL, H. M. Marine derived bioactive compounds for value added applications in bio and non bio sectors. **Journal of cleaner production**, v.168, p.1559-1565, 2017.

CHENG, S. H.; KHOO, H. E.; KONG, K. W.; PRASAD, K. N.; GALANAKIS, C. M. Extraction of carotenoids and applications. **Carotenoids: Properties, Processing and Applications**, p. 259–288, 2020.

CHEN, Y.; LI, S.; GUO, Y.; YU, H.; BAO, Y.; XIN, X.; YANG, H.; NI, X.; WU, N.; JIA, D. Astaxanthin Attenuates Hypertensive Vascular Remodeling by Protecting Vascular Smooth Muscle Cells from Oxidative Stress-Induced Mitochondrial Dysfunction. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v.2020,4629189, 2020.

CHENG, D.; ZHANG, Y.; LIU, H.; ZHANG, H.; TAN, K.; MA, H.; LI, S.; ZHENG, H. An improving method for extracting total carotenoids in an aquatic animal Chlamys nobilis. **Food Chemistry**, v. 280, p. 45–50, 2019.

CLUGSTON, R.D. Carotenoids and fatty liver disease: Current knowledge and research gaps. Biochimica et biophysica acta. **Molecular and cell biology of lipids**, v.1865, n.11, 158597, 2020.

DAMS, S.; HOLASEK, S.; TSIOUNTSIOURA, M.; MALLIGA, D.E.; MEIER-ALLARD, N.; PONCZA, B.; LACKNER, S.; JANSENBERGER, Y.; LAMPRECHT, M. An encapsulated fruit, vegetable and berry juice powder concentrate increases plasma values of specific carotenoids and vitamins. International journal for vitamin and nutrition research. Internationale

Zeitschrift fur Vitamin- und Ernahrungsforschung. **Journal international de vitaminologie et de nutritio**n, v.91, n.1-2, p.77–86, 2021.

DEL MAR CONTRERAS-GÁMEZ, M., & GÓMEZ-CARAVACA, A. M. Underutilized sources of carotenoids. **Carotenoids: Properties, Processing and Applications**, p. 107–147, 2020.

EGGERSDORFER, M.; WYSS, A. Carotenoids in human nutrition and health. **Archives of biochemistry and biophysics**, v.652, p.18–26, 2018.

ELVIRA-TORALES, L. I.; GARCIA-ALONSON, J.; PERIAGO-CASTÓN, M. J. Nutritional Importance of Carotenoids and Their e ect on Liver Health: A Review. **Antioxidants**, v. 8, n. 7, 229, 2019.

EREN, B.; TUNCAY TANRIVERDI, S.; AYDIN KÖSE, F.; ÖZER, Ö. Antioxidant properties evaluation of topical astaxanthin formulations as anti-aging products. **Journal of cosmetic dermatology**, v.18, n.1, p.242–250, 2019.

FIEDOR, J.; BURDA, K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. **Nutrients**, v. 6, p. 466−488, 2014.
GOMES, F. S. Carotenóides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de câncer. **Rev.Nutrição**. v, 20, n.5, p. 1-4, 2007.

HORUZ, T. İ.; BELIBAĞLI, K. B. Nanoencapsulation by electrospinning to improve stability and water solubility of carotenoids extracted from tomato peels. **Food chemistry**, v. 268, p. 86-93, 2018.

HUANG, J. J.; LIN, S.; XU, W.; CHEUNG, P. C. K. Occurrence and biosynthesis of carotenoids in phytoplankton. **Biotechnology advances**, v. 35, n. 5, p. 597-618, 2017.

KIM, H.; AHN, Y.T.; LEE, G.S.; CHO, S.I..; KIM, J.M.; LEE, C.; LIM, B.K.; JU, S.A.; AN, W.G. Effects of astaxanthin on dinitrofluorobenzene-induced contact dermatitis in mice. **Molecular medicine reports**, v.12, n.3, p.3632–3638, 2015.

KHALID, M.; BILAL, M.; IQBAL, H. M.; HUANG, D. Biosynthesis and biomedical perspectives of carotenoids with special reference to human health related applications. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,** 2018.

KUBO, H.; ASAI, K.; KOJIMA, K.; SUGITANI, A.; KYOMOTO, Y.; OKAMOTO, A.; YAMADA, K.; IJIRI, N.; WATANABE, T.; HIRATA, K.; KAWAGUCHI, T. Astaxanthin Suppresses Cigarette Smoke-Induced Emphysema through Nrf2 Activation in Mice. **Marine drugs**, v.17, n.12, 2019.

LEE, H.; LIM, J.W.; KIM, H. Effect of Astaxanthin on Activation of Autophagy and Inhibition of Apoptosis in Helicobacter pylori-Infected Gastric Epithelial Cell Line AGS. **Nutrients**, v.12, n.6, p.1750, 2020.

LI, M.; ZAHI, M.R.; YUAN, Q.; TIAN, F.; LIANG, H. Preparation and stability of astaxanthin solid lipid nanoparticles based on stearic acid. **European Journal of Lipid Science and Technology,** n. 118, p. 592–602, 2016.

LIMA, M.A.; KESTEKOGLOU, I.; CHARALAMPOPOULOS, D.; CHATZIFRAGKOU, A. Supercritical Fluid Extraction of Carotenoids from Vegetable Waste Matrices. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v.24, n.3, 466, 2019.

LIN, W.N.; KAPUPARA, K.; WEN, Y.T.; CHEN, Y.H.; PAN, I.H.; TSAI, R.K. Haematococcus pluvialis-derived astaxanthin is a potential neuroprotective agent against optic nerve ischemia. Marine **drugs**, v.18, n.2, 2020.

LIRA, G.M.; LOPEZ, A.M.Q.; FIRMINO, G.O.; SANTOS, S.D.; BEZERRA, R.S. Total carotenoids and antioxidant activity of fillets and shells (in natura or cooked) of "Vila Franca" shrimp (*Litopenaeus Schmitti*) in different intervals of storage under freezing. **Ciência e Agrotecnologia**, v.41, n.1, p.94-103, 2017.

LIU, F.; QU, Y. K.; WANG, A. M.; YU, Y. B.; YANG, W. P.; LV, F.; NIE, Q. Effects of carotenoids on the growth performance, biochemical parameters, immune responses and disease resistance of yellow catfish *(Pelteobagrus fulvidraco)* under high-temperature stress. **Aquaculture**, n. 503, p. 293-303, 2019.

LIU, H.; LIU, M.; FU, X.; ZHANG, Z.; ZHU, L.; ZHENG, X.; LIU, J. Astaxanthin Prevents Alcoholic Fatty Liver Disease by Modulating Mouse Gut Microbiota. **Nutrients**, v.10, n.9, 1298, 2018.

LUZARDO-OCAMPO, I.; RAMÍREZ-JIMÉNEZ, A.K.; YAÑEZ, J.; MOJICA, L.; LUNA-VITAL, D.A. Technological Applications of Natural Colorants in Food Systems: A Review. **Foods (Basel, Switzerland**), v.10, n.3, 634, 2021.

MAOKA, T. Carotenoids as natural functional pigments. **Journal of natural medicines**, v.74, n.1, p.1–16, 2020.

MAOKA, T.; NAKAMURA, S.; HARA, H. Carotenoids of land-locked and sea-run types of masu salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* inhabiting in the Nagara River, Japan, from the perspective of chemical ecological study. **Biochemical Systematics and Ecology,** v. 93, 104181, 2020.

MAOKA, T.; KAWASE, N.; HIRONAKA, M.; NISHIDA, R. Carotenoids of hemipteran insects, from the perspective of chemo-systematic and chemical ecological studies. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 95,104241, 2021.

MARTINS, N.; RORIZ, C. L.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices. Trends in **Food Science & Technology,** v. 52, p. 1-15, 2016.

MARTINS, N.; FERREIRA, I. C. F. R. Wastes and by-products: Upcoming sources of carotenoids for biotechnological purposes and health-related applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 33–48, 2017.

MCCALL, B.; MCPARTLAND, C.K.; MOORE, R.; FRANK-KAMENETSKII, A.; BOOTH, B.W. Effects of Astaxanthin on the Proliferation and Migration of Breast Cancer Cells In Vitro. **Antioxidants**, v.7, n.10, 2018.

MC WILLIAMS, A. The global market for carotenoids. **BBC Research**: Wellesley, MA, USA, 2018. Market Research Report. Carotenoids Market by Type (Astaxanthin, Beta-Carotene, Canthaxanthin, Lutein, Lycopene, & Zeaxanthin), Source (Synthetic and Natural), Application (Supplements, Food, Feed, and Cosmetics), & by Region - Global Trends & Forecasts to 2021. (2016)
<https://www.marketsandmarkets.com/MarketReports/carotenoidmarket158421566.html/>

MENG, Z.; ZHANG, B.; LIU, B.; LI, H.; FAN, S.; YU, D. HIGH. Carotenoids content can enhance resistance of selected Pinctada fucata families to high temperature stress. **Fish & Shellfish Immunology**, n. 61, p. 211–218, 2017.

MEZQUITA, P.C.; HUERTA, B.E.; RAMÍREZ, J.C.; HINOJOSA, C.P. Milks pigmentation with astaxanthin and determination of colour stability during short period cold storage. **Journal of Food Science and Technology**, v.52, n.3, p.1634–1641, 2015.

MILANI, A.; BASIRNEJAD, M.; SHAHBAZI, S.; BOLHASSANI, A. Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. **British journal of pharmacology**, v.17, n.11, p.1290–1324, 2017.

NAGARAJAN, J.; PUI KAY, H.; KRISHNAMURTHY, N.P.; RAMAKRISHNAN, N.R.; ALDAWOUD, T.; GALANAKIS, C.M.; WEI, O.C. Extraction of Carotenoids from Tomato Pomace via Water-Induced Hydrocolloidal Complexation. **Biomolecules**, v.10, n.7, p.1019, 2020.

NGAMWONGLUMLERT, L.; DEVAHASTIN, S.; CHIEWCHAN, N. Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 57, p. 3243-3259, 2017.

NI, Y.; NAGASHIMADA, M.; ZHUGE, F.; ZHAN, L.; NAGATA, N.; TSUTSUI, A.; NAKANUMA, Y.; KANEKO, S.; OTA, T. Astaxanthin prevents and reverses diet-induced insulin resistance and steatohepatitis in mice: A comparison with vitamin E. **Scientific reports**, v.5,17192, 2015.

OLMEDILLA-ALONSO, B.; PALOU, A.; RIBOT, J.; RODRIGO, M. J.; ZACARIAS, L.; ZHU, C. A global perspective on carotenoids: Metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. **Progress in Lipid Research**, n. 70, p. 62–93, 2018.

OTSUKA, T.; SHIMAZAWA, M.; INOUE, Y.; NAKANO, Y.; OJINO, K.; IZAWA, H.; TSURUMA, K.; ISHIBASHI, T.; HARA, H. Astaxanthin Protects Against Retinal Damage: Evidence from In Vivo and In Vitro Retinal Ischemia and Reperfusion Models. **Current eye research**, v.41, n.11, p.1465–1472, 2016.

PATTANAIK, S. S.; SAWANT, P. B.; XAVIER, K. A. M.; DUBE, K.; SRIVASTAVA, P. P.; DHANABALAN, V.; CHADHA, N. K. Characterization of carotenoprotein from different

shrimp shell waste for possible use as supplementary nutritive feed ingredient in animal diets. **Aquaculture**, p.1-27, 734594, 2019.

PENA, M. A. G.; RAMÍREZ, J. D. L.; REGULES, E. O. Carotenoids from mamey (Pouteria sapota) and carrot (Daucus carota) increase the oxidative stress resistance of Caenorhabditis elegans. **Biochemistry and Biophysics Reports**, v.26, 100969, 2021.

RAM, S.; MITRA, M.; SHAH, F.; TIRKEY, S. R.; MISHA, S. Bacteria as an alternate biofactory for carotenoid production: A review of its applications, opportunities and challenges. **Journal of Functional Foods**, v.67, 103867, 2020.

RAPOPORT, A.; GUZHOVA, I.; BERNETTI, L.; BUZZINI, P.; KIELISZEK, M.; KOT, A.M. Carotenoids and Some Other Pigments from Fungi and Yeasts. **Metabolites**, v.11, n.2, p.92, 2021.

REHMAN, A.; TONG, Q.; JAFARI, S. M.; ASSADPOUR, E.; SHEHZAD, Q.; AADIL, R. M.; IQBAL, M. W.; RASHED, M. M. A.; MUSHTAQ, B. S.; ASHRAF, W. Carotenoid-loaded nanocarriers: A comprehensive review. **Advances in Colloid and Interface Science**, 2019. 102048.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains**. Food research international** (Ottawa, Ont.), v.124, p.200–205, 2019.

RODRIGUEZ-CONCEPCION, M.; AVALOS, J.; BONET, M. L.; BORONAT, A.; GOMEZ-GOMEZ, L.; HORNERO-MENDEZ, D.; LIMON M. C.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J.; ROJAS-GARBANZO, C.; GLEICHENHAGEN, M.; HELLER, A.; ESQUIVEL, P.; SCHULZE-KAYSERS, N.; SCHIEBER, A. Carotenoid profile, antioxidant capacity, and chromoplasts of pink guava (*Psidium guajava* L. Cv. 'Criolla') during fruit ripening. J**ournal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 65, n. 18, p. 3737–3747, 2017.

SATHASIVAM, R.; RADHAKRISHNAN, R.; KIM, J. K.; PARK, S. U. An update on biosynthesis and regulation of carotenoids in plants. **South African Journal of Botany**, v. 7, n. 30, p. 1-13, 2020.

SAINI, R. K.; KEUM, Y. S. Microbial platforms to produce commercially vital carotenoids at industrial scale: An updated review of critical issues. **Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology**, v. 46, n. 5, p. 657–674, 2018.

SIGURDSON, G.T.; TANG, P.; GIUSTI, M.M. Natural Colorants: Food Colorants from Natural Sources. **Annual review of food science and technology**, v.8, p.261–280, 2017.

SILVA, N. F. B.; FERREIRA, J. V. S. F.; COSTA, B. A. M.; PORTO, A. L F.; OLIVEIRA, V. M. Carotenoides e suas bioatividades: Uma mini-revisão focada nas fontes aquáticas. In: I Congresso Internacional da Agroindústria- I CIAGRO 2020. **ANAIS do** I Congresso Internacional da Agroindústria- I CIAGRO, 2020.

STRATI, I. F.; SINANOGLOU, V. J.; KORA, L.; MINIADIS-MEIMAROGLOU, S.; OREOPOULOU, V. Carotenoids from Foods of Plant, Animal and Marine Origin: An Efficient HPLC-DAD Separation Method. **Jornal foods**, v. 1, p. 52-65, 2012.

SZTRETYE, M.; SINGLÁR, Z.; SZABÓ, L.; ANGYAL, Á.; BALOGH, N.; VAKILZADEH, F.; SZENTESI, P.; DIENES, B.; CSERNOCH, L. Improved Tetanic Force and Mitochondrial Calcium Homeostasis by Astaxanthin Treatment in Mouse Skeletal Muscle. **Antioxidants** (Basel, Switzerland), v.9, n.2, 2020.

TOMINAGA, K.; HONGO, N.; KARATO, M.; YAMASHITA, E. Cosmetic benefits of astaxanthin on humans subjects. **Acta biochimica Polonica**, v.59, n.1, p.43–47, 2012.

UENOJO, M.; JÚNIOR, M. R. M.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. **Quimica Nova**, v. 30, p. 616-622, 2007

VILLA-RIVERA, M.G.; OCHOA-ALEJO, N. Chili Pepper Carotenoids: Nutraceutical Properties and Mechanisms of Action. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v.25, n.23, p.5573, 2020.

VULIĆ, J.; ŠEREGELJ, V.; KALUŠEVIĆ, A.; LEVIĆ, S.; NEDOVIĆ, V.; TUMBAS ŠAPONJAC, V.; ČANADANOVIĆ-BRUNET, J.; ĆETKOVIĆ, G. Bioavailability and Bioactivity of Encapsulated Phenolics and Carotenoids Isolated from Red Pepper Waste. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v.24, n.15, p.2837, 2019.

YEŞILAYER, N.; MUTLU, G.; YILDIRIM, A. Effect of nettle (*Urtica* spp.), marigold (*Tagetes erecta*), alfalfa (*Medicago sativa*) extracts and synthetic xanthophyll (*zeaxanthin*) carotenoid supplementations into diets on skin pigmentation and growth parameters of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus*). **Aquaculture**, 734964, 2020.

ZHOU, W.; NIU, Y.; DING, X.; ZHAO, S.; LI, Y.; FAN, G.; ZHANG, S.; LIAOA, K. Analysis of carotenoid content and diversity in apricots (*Prunus armeniaca L.*) grown in China. **FoodChemistry**, v. 330, 127223, 2020.