

Fontes Brasileiras de **CAROTENÓIDES**

DELIA B. RODRIGUEZ-AMAYA • MIEKO KIMURA • JAIME AMAYA-FARFAN



Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos

FONTES BRASILEIRAS DE CAROTENÓIDES

**Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em
Alimentos**

República Federativa do Brasil

Presidente

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Vice-Presidente

JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA

Ministério do Meio Ambiente

Ministro

CARLOS MINC

Secretaria Executiva

Secretária

IZABELLA MÔNICA VIEIRA TEIXEIRA

Secretaria Nacional de Biodiversidade e Florestas

Secretária

MARIA CECÍLIA WEY DE BRITO

Departamento de Conservação da Biodiversidade

Diretor

BRAULIO FERREIRA DE SOUZA DIAS

Gerência de Recursos Genéticos

Gerente

LIDIO CORADIN

Ministério do Meio Ambiente – MMA

Centro de Informação e Documentação Luís Eduardo Magalhães – CID Ambiental

Esplanada dos Ministérios – Bloco B – térreo - CEP - 70068-900

Tel.: 5561 4009 1235 Fax: 5561 4009 1980 - e-mail: Cid@mma.gov.br

Ministério do Meio Ambiente
Secretaria de Biodiversidade e Florestas
Departamento de Conservação da Biodiversidade

FONTES BRASILEIRAS DE CAROTENÓIDES

Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos

ORGANIZADORES

LIDIO CORADIN
VIVIAN BECK POMBO
Ministério do Meio Ambiente

AUTORES

DELIA B. RODRIGUEZ-AMAYA
Departamento de Ciência de Alimentos, Faculdade de Engenharia de
Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, C.P. 6121, 13083-862
Campinas, SP, Brasil

MIEKO KIMURA
Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Instituto de
Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista,
15054-000 São José do Rio Preto, SP, Brasil

JAIME AMAYA-FARFAN
Departamento de Alimentos e Nutrição, Faculdade de Engenharia de
Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, C.P. 6121, 13083-862
Campinas, SP, Brasil

Brasília
2008

Capa
Marcos Pereira

Arte e diagramação
Marcelo Rodrigues Soares de Sousa

Revisão de texto
Marize Mattos Dall-Aglio Hattner

Normalização bibliográfica
Helionídia C. de Oliveira

Apoio
Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD – Projeto BRA/00/021

Catálogo na Fonte
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

R696f Rodrigues-Amaya, Délia B.
Fontes brasileiras de carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos / Délia B. Rodrigues-Amaya, Mieko Kimura e Jaime Amaya-Farfan [autores]; Lidio Coradin e Vivian Beck Pombo, Organizadores. – Brasília: MMA/SBF, 2008. 100 p. : il. Color. ; 25cm

ISBN 978-85-7738-111-1

1. Carotenóides. 2. Alimentos. 3. Biodiversidade. I. Kimura, Mieko. II. Amaya-Farfan, Jaime. III. Coradin, Lidio. IV. Pombo, Vivian Beck. V. Ministério do Meio Ambiente. VI. Secretaria de Biodiversidade e Floresta. VII. Título.

CDU(2.ed.)547.979.8

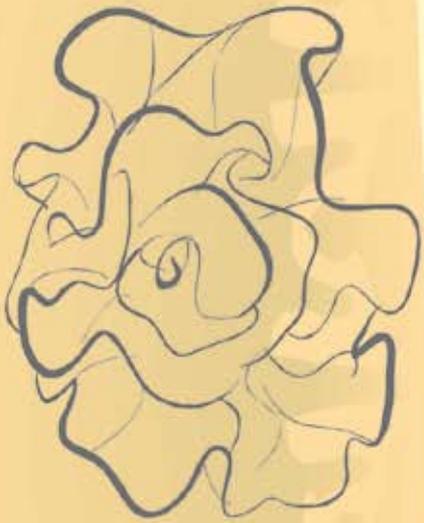
Impresso no Brasil
Printed in Brazil

ÍNDICE

Apresentação.....	9
Prefácio	11
Introdução	15
Importância para a Saúde Humana.....	16
Análise de Carotenóides.....	22
Fatores que Afetam a Composição de Carotenóides	23
Efeitos do Processamento e Estocagem	26
Biodisponibilidade, Bioconversão e Fatores de Conversão	32
Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos	36
Confiabilidade da Análise de Carotenóides.....	37
Amostragem e Preparo das Amostras	37
Metodologia Analítica	39
Variação Composicional	41
Fontes Brasileiras Ricas em Carotenóides.....	42
Biodiversidade.....	44
Tabela 1. Composição de carotenóides e equivalentes de atividade de retinol em alimentos brasileiros.....	49
Referências.....	77



Apresentação



APRESENTAÇÃO

Tendo em vista a ligação direta existente entre biodiversidade, alimentação e nutrição, os países membros da Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) aprovaram, durante a oitava Conferência das Partes (COP-8), realizada em Curitiba em março de 2006, uma iniciativa denominada “Biodiversidade para Alimentação e Nutrição”. De caráter multidisciplinar e interinstitucional, esta tem por objetivo promover o uso sustentável da biodiversidade em programas que contribuam para a segurança alimentar e nutricional da humanidade, por meio do reconhecimento da importância estratégica da biodiversidade e da promoção de seu uso sustentável. Além de ser uma prioridade reconhecida no texto base da CDB, esta iniciativa almeja contribuir diretamente para atingir as “Metas de Desenvolvimento do Milênio” estabelecidas pela Organização das Nações Unidas, no que concerne à erradicação da extrema pobreza e da fome que ainda assolam grande parte da população mundial.

Por suas dimensões continentais e extraordinária biodiversidade, o Brasil assume um papel estratégico no cumprimento das metas dessa iniciativa, visto que seus recursos genéticos representam parte de um patrimônio de inestimável valor para a humanida-

de. Assim, o avanço no conhecimento dos recursos genéticos, e mais especificamente daqueles ligados à alimentação humana, tem enorme importância para o país, que poderá utilizar-se deste no aperfeiçoamento de programas governamentais voltados à segurança alimentar e nutricional de nossa população, tais como o Fome Zero, Segurança Alimentar – PSA, Aquisição de Alimentos da Agricultura Familiar – PAA, Consórcios de Segurança Alimentar e Nutricional e Desenvolvimento Local – CONSAD.

Nesse contexto, iniciativas dedicadas a atender demandas de mercado por novos produtos ocupam, cada vez mais, posição de destaque no cenário nacional e internacional. É fundamental, portanto, que o país intensifique investimentos na busca de um melhor aproveitamento da rica biodiversidade brasileira. Dada essa situação e a necessidade inadiável de promover e ampliar a utilização de novas espécies, o Ministério do Meio Ambiente, por meio de sua Secretaria de Biodiversidade e Florestas, vem desenvolvendo um amplo projeto, denominado de “Plantas para o Futuro”, com vistas à promover um melhor aproveitamento dos recursos genéticos existentes no país. Fontes Brasileiras de Carotenóides amplia o conhecimento sobre espécies de valor econômico



atual ou potencial, contribuindo diretamente para o alcance desses objetivos.

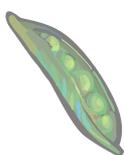
Com ampla distribuição na natureza, os carotenóides estão entre os compostos pigmentares mais importantes na alimentação do ser humano, devido aos seus efeitos benéficos à saúde. Alguns são precursores de vitamina A, sendo utilizados no combate à deficiência desta vitamina. Precursores de vitaminas A ou não, os carotenóides também atuam no fortalecimento do sistema imunológico e mesmo na diminuição do risco de doenças degenerativas. Assim, os dados sobre a composição detalhada de carotenóides em alimentos de origem vegetal consignados neste trabalho constituem um acervo raro no mundo

e serão, sem dúvida, uma relevante referência para pesquisadores brasileiros e estrangeiros que atuam na área de nutrição, além dos especialistas em saúde pública, engenheiros agrônomos, botânicos e estudiosos da área ambiental. Igualmente, darão aos agricultores brasileiros a oportunidade de melhor direcionarem suas atividades produtivas, tendo agora à sua disposição ferramentas básicas mais precisas e próprias do Brasil.

É com satisfação, pois, que o Ministério do Meio Ambiente disponibiliza a presente obra à sociedade brasileira.

MARIA CECÍLIA WEY DE BRITO

SECRETÁRIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS



PREFÁCIO

O Brasil possui uma grande variedade de alimentos ricos em carotenóides, uma boa parte dos quais já foi analisada. O presente trabalho integra e apresenta os dados em uma única tabela resultando no mais extenso banco de dados sobre carotenóides do mundo, superando os dos Estados Unidos e da Europa. A Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos inclui alimentos *in natura*, alimentos processados e alimentos preparados para consumo. O trabalho traz também informações básicas e conhecimentos atuais sobre estes compostos altamente importantes para a qualidade dos alimentos e suas propriedades benéficas à saúde humana.

Os carotenóides são pigmentos naturais responsáveis pela cor amarela, laranja ou vermelha de muitos alimentos, uma propriedade de importância tecnológica uma vez que a cor é o atributo que mais influencia a aceitação dos alimentos. São seus efeitos benéficos à saúde, porém, que despertam o interesse da comunidade científica no mundo inteiro. Alguns são precursores de vitamina A, e alimentos ricos em pró-vitaminas A estão sendo utili-

zados no combate à deficiência desta vitamina. Em anos mais recentes, outras atividades biológicas têm sido atribuídas aos carotenóides, como fortalecimento do sistema imunológico e a diminuição do risco de doenças degenerativas como câncer, doenças cardiovasculares, degeneração macular e catarata.

O banco de dados aqui apresentado pode ser utilizado por agricultores na seleção de variedades ricas em carotenóides, como já aconteceu com os produtores de goiaba que escolheram as cultivares Paluma e Oga-wa pelos altos teores de licopeno. As indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética podem utilizar os dados e conhecimentos apresentados para selecionar as fontes que podem servir como matéria prima e adotar medidas para manter os altos níveis destes compostos que podem ser perdidos durante o processamento e a estocagem, assim oferecendo produtos com maior valor agregado ao mercado interno e mundial. Além disso, este trabalho pode ser de grande valia na promoção de frutas e hortaliças brasileiras no país e no exterior, assim como pode servir como referência para pesquisadores de universidades e institutos



de pesquisa em áreas como nutrição, epidemiologia, ciência e tecnologia de alimentos, medicina, saúde pública e agricultura.

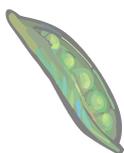
Os autores registram seus agradecimentos ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e FINEP (Financiadora de Estu-

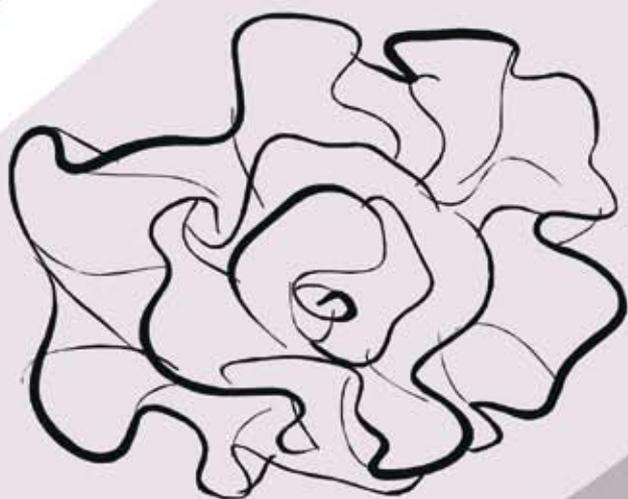
dos e Projetos) pelo apoio financeiro de quase três décadas que fez possível a construção do presente acervo, e ao Ministério do Meio Ambiente pela oportunidade de publicá-lo.

DELIA B. RODRIGUEZ AMAYA

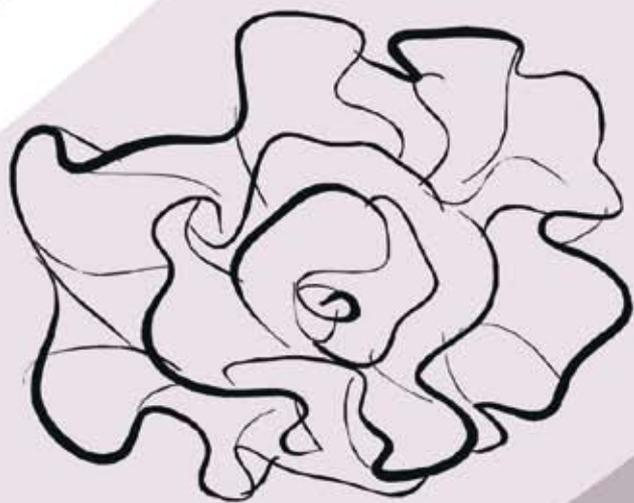
MIEKO KIMURA

JAIME AMAYA-FARFAN





Fontes Brasileiras de Carotenóides



INTRODUÇÃO

Os carotenóides são compostos notáveis por possuírem ampla distribuição na natureza, estruturas químicas diversas e funções variadas. Embora sejam micronutrientes, presentes em níveis muito baixos (microgramas por grama), os carotenóides estão entre os constituintes alimentícios mais importantes. São pigmentos naturais responsáveis pelas cores de amarelo a laranja ou vermelho de muitas frutas, hortaliças, gema de ovo, crustáceos cozidos e alguns peixes. São também substâncias bioativas, com efeitos benéficos à saúde, e alguns deles apresentam atividade pró-vitáminica A.

Os carotenóides dos alimentos são tetraterpenóides C_{40} formados pela união cauda-cabeça de oito unidades isoprenóides C_5 , exceto na posição central, onde a junção ocorre no sentido cauda-cauda, invertendo assim a ordem e resultando numa molécula simétrica. Os grupos metila centrais estão separados por seis carbonos, ao passo que os demais, por cinco. A característica de maior destaque nestas moléculas é um sistema extenso de duplas ligações conjugadas, responsável por suas propriedades e funções

tão especiais. Este sistema é o cromóforo que confere aos carotenóides as suas atraentes cores.

O esqueleto básico desta família de moléculas pode ser modificado de muitas maneiras, as quais incluem ciclização, hidrogenação, desidrogenação, introdução de grupos contendo oxigênio, rearranjos, encurtamento de cadeias ou combinações dessas modificações, resultando numa imensa variedade de estruturas. Mais de 650 diferentes carotenóides naturais já foram isolados e caracterizados, sem considerar os isômeros *trans* e *cis* (Kull e Pfander, 1995). Desses, cerca de cem carotenóides têm sido relatados em alimentos.

Carotenóides hidrocarboneto (p.ex.: β -caroteno, licopeno) são denominados simplesmente de carotenos e aqueles com funções químicas oxigenadas são chamados de xantofilas. Os grupos substituintes oxigenados mais comuns são os grupos hidroxila (como da β -criptoxantina), ceto (como da cantaxantina), epóxido (como da violaxantina) e aldeído (como da β -citraurina). Os carotenóides podem ser acíclicos (como o licopeno), monocíclicos (como o γ -caroteno) ou bicíclicos (como o α - e β -caroteno). Na natu-



reza, os carotenóides se apresentam predominantemente na forma toda-*trans* (ou toda-*E*), que é mais estável, embora pequenas quantidades de isômeros *cis* (ou *Z*) também possam ser encontradas.

Os carotenóides são biossintetizados por plantas, algas, fungos, leveduras e bactérias. Devido à capacidade das plantas sintetizarem esses compostos *de novo*, os alimentos de origem vegetal contêm, além dos carotenóides principais, pequenas quantidades de precursores e derivados, proporcionando uma composição complexa e variável. Já os alimentos de origem animal não possuem a mesma riqueza. Os animais são incapazes de biossintetizar carotenóides e, portanto, dependem da alimentação para sua obtenção. O carotenóide pode ser absorvido seletivamente ou não, convertido para vitamina A, depositado nos tecidos como tal, ou levemente modificado para formar carotenóides típicos de animais (p.ex.: astaxantina).

IMPORTÂNCIA PARA A SAÚDE HUMANA

Os carotenóides mais pesquisados por seu envolvimento na saúde humana são o β -caroteno (β , β -

caroteno), α -caroteno (β , ϵ -caroteno), β -criptoxantina (β , β -caroten-3-ol), licopeno (ψ , ψ -caroteno), luteína (β , ϵ -caroteno-3,3'-diol) e zeaxantina (β , β -caroteno-3,3'-diol) (Figura 1). Além de serem os principais carotenóides no sangue humano (Epler *et al.*, 1993), são também, com exceção da zeaxantina, os mais comumente encontrados nos alimentos, sendo o β -caroteno o mais largamente distribuído (Rodriguez-Amaya, 1993). De ampla distribuição alimentar é também a violaxantina (5,6,5',6'-diepoxi-5,6,5',6'-tetraidro- β , β -caroteno-3,3'-diol), molécula de reconhecida labilidade, cujas implicações na saúde ainda resta desvendar.

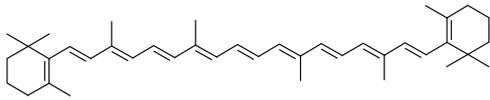
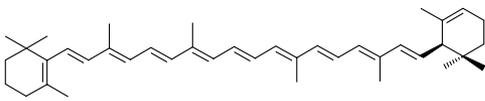
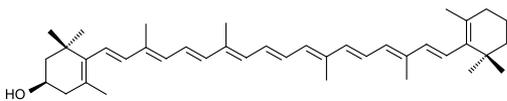
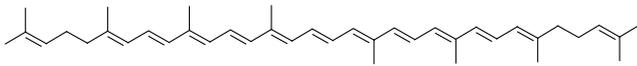
As últimas etapas do caminho biossintético dos carotenóides, destacando a formação dos principais carotenóides dos alimentos, são apresentadas na Figura 2.

O β -caroteno, o α -caroteno e a β -criptoxantina são pró-vitaminas A. Basicamente, a estrutura da vitamina A (retinol) é a metade da molécula do β -caroteno, com uma molécula de água adicionada no final da cadeia poliênica. Conseqüentemente, o β -caroteno é o carotenóide de maior potência vitamínica A e ao qual se atribui 100% de atividade. A exigência mínima para um carotenóide possuir atividade pró-vitamínica A é ter um anel- β não substituído, com uma

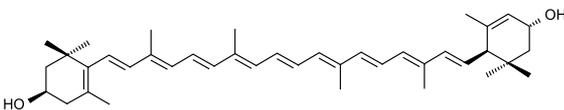
16



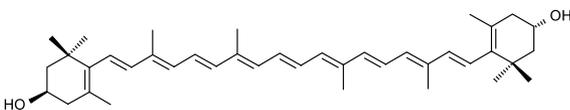
cadeia poliênica de 11 carbonos. Assim, o α -caroteno e a β -criptoxantina têm cerca de 50% da atividade do β -caroteno, ao passo que a luteína, zeaxantina e licopeno não possuem atividade.

 β -caroteno α -caroteno β -criptoxantina

licopeno



luteína



zeaxantina

Figura 1. Estruturas dos carotenóides considerados importantes para a saúde.

Em anos mais recentes, outros efeitos promotores da saúde têm sido atribuídos aos carotenóides: imunomodulação e redução do risco de contrair doenças crônicas degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular relacionada à idade (Gaziano e Hennekens, 1993; Krinsky, 1993; Astorg, 1997; Olson, 1999). Tais atividades fisiológicas não possuem relação com a atividade vitamínica A e têm sido atribuídas às suas propriedades antioxidantes, especificamente, à capacidade de seqüestrar o oxigênio singlete e interagir com os radicais livres (Palozza e Krinsky, 1992).

Entretanto, outros mecanismos de ação dos carotenóides contra as doenças crônicas foram relatados, tais como a modulação do metabolismo de substâncias cancerígenas, inibição da proliferação celular, realce da diferenciação celular, estimulação da comunicação intercelular e filtragem da luz azul (Astorg, 1997; Olson, 1999; Stahl *et al.*, 2002).

Devido à grande ênfase dada à atividade antioxidante como modo de ação contra doenças, a capacidade antioxidante dos alimentos tem sido largamente determinada *in vitro*, por vezes correlacionada às concentrações das substâncias bioativas no alimento, de forma a predizer o seu efeito na



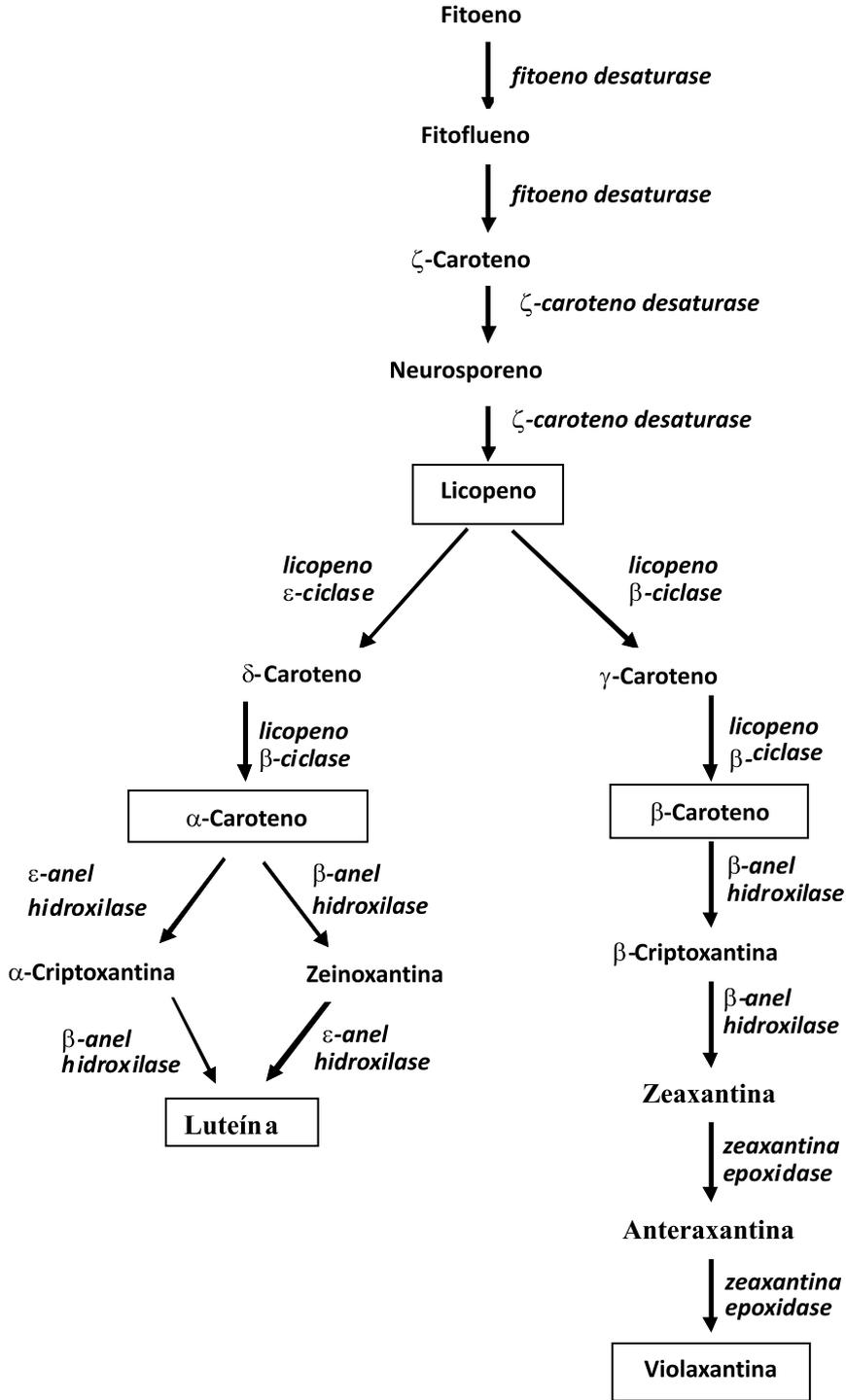
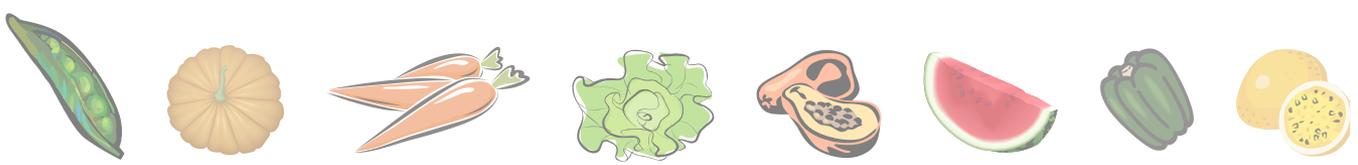


Figura 2. Últimas etapas da biossíntese de carotenóides. Os carotenóides principais em alimentos encontram-se destacados.



saúde humana. Os antioxidantes, entretanto, possuem diversos modos de ação, e os métodos que determinam a atividade antioxidante medem diferentes ações e são efetuados sob diferentes condições. Por exemplo, as capacidades antioxidantes da nectarina, pêsego e ameixa foram avaliadas por Gil *et al.* (2002) e a contribuição dos compostos fenólicos foi considerada maior do que a da vitamina C e a dos carotenóides. No entanto, nos ensaios, foram avaliados o seqüestro de radicais livres e a capacidade redutora de ferro, mas não o seqüestro de oxigênio singlete, e é conhecido que os carotenóides são muito eficientes no controle do oxigênio singlete, enquanto os fenóis atuam principalmente na interrupção das reações em cadeia (Beutner *et al.*, 2001). Assim, a extrapolação de medidas simples da capacidade antioxidante para os efeitos na saúde humana é cada vez mais questionada (Becker *et al.*, 2004). Além disso, devem ser claramente diferenciados o efeito antioxidante no alimento propriamente dito e o efeito de antioxidantes na saúde.

Na década de 80 e início de 90, numerosos estudos retrospectivos (caso-controle) e prospectivos (coorte) realizados em vários países mostravam consistentemente uma forte associação inversa entre o consumo

alimentar de β -caroteno, ou a sua concentração plasmática, e a incidência de câncer, particularmente câncer do pulmão (Ziegler, 1991; Block *et al.*, 1992; van Poppel e Goldbohm, 1995). Esta relação inversa também foi observada com a incidência de doenças cardiovasculares (Gaziano e Hennekens, 1993; Manson *et al.*, 1993; Kohlmeier e Hasting, 1995). Porém, o β -caroteno caiu em descrédito quando os estudos de intervenção começaram a mostrar que, ao invés de diminuir, aumentava a incidência de câncer de pulmão em fumantes e trabalhadores expostos ao amianto (ATBC Study Group, 1994; Omenn *et al.*, 1996). Diante destes resultados, Mayne (1996) concluiu que, embora as recomendações para aumentar o consumo de frutas e verduras ricas em carotenóides continuassem válidas, o uso de suplementos de β -caroteno, com o objetivo de prevenir as doenças cardiovasculares e o câncer pulmonar, particularmente em fumantes, não era mais recomendável.

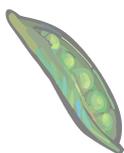
Foi depois reconhecido que, nos estudos de intervenção, o β -caroteno havia sido administrado em doses muito mais altas (20-30mg) do que os níveis ótimos de ingestão diária apurados em estudos epidemiológicos (aproximadamente 4mg), além das dietas conterem outros carotenóides e demais constituintes alimentícios,



podendo todos agir conjuntamente com o β -caroteno (CARIG, 1996). Além disso, os participantes dos estudos de intervenção nos quais foram registrados aumentos da incidência de câncer eram fumantes excessivos ou pessoas longamente expostas ao amianto (cancerígeno conhecido) e o processo de estresse oxidativo e/ou câncer poderia ter alcançado um estágio no qual o carotenóide não seria mais efetivo.

Assim, os carotenóides reconquistaram a sua importância na saúde, mas a ênfase foi deslocada para os carotenóides diferentes do β -caroteno e cresceu o reconhecimento de que o efeito protetor dos alimentos não é devido apenas a uma classe de compostos, e sim ao resultado da ação de um número de substâncias bioativas existentes em cada alimento. Existe também a possibilidade de haver sinergismo entre dois ou mais destes compostos (Young e Lowe, 2001). Entretanto, mesmo na ausência do sinergismo, e considerando que as substâncias promotoras da saúde presentes no alimento possuam diferentes mecanismos de ação, pode-se contar ao menos com os efeitos complementares ou aditivos dos diversos compostos, atuando em diferentes estágios do desenvolvimento da doença.

O aumento na incidência de câncer do pulmão em fumantes e trabalhadores expostos ao amianto, mediado pelo consumo de altas doses suplementares de β -caroteno (ATBC Study Group, 1994; Omenn et al., 1996), levou vários autores a considerar a possibilidade de esse carotenóide manifestar algum efeito pró-oxidante. Segundo Palozza (1998), já existia evidência da atividade pró-oxidante do β -caroteno e de outros carotenóides, tanto *in vitro* como *in vivo*, sendo que a passagem de antioxidante para pró-oxidante depende do potencial redox da molécula e do seu ambiente biológico. O potencial pró-oxidante dependeria de vários fatores, dentre os quais pode-se citar a pressão parcial de oxigênio, a concentração do carotenóide e a interação com outros antioxidantes. Foi observado, porém, que a pressão de oxigênio e a concentração do carotenóide dos experimentos *in vitro* eram muito maiores do que as encontradas nas condições fisiológicas (Krinsky, 2001). Young e Lowe (2001) também não acharam evidência direta que provasse a hipótese de que os carotenóides pudessem se comportar como pró-oxidantes dentro de um sistema biológico. Estes últimos autores acharam mais provável que, considerando o comportamento dos carotenóides *in vitro*, um número de fatores



venha reduzir a sua efetividade como antioxidante *in vivo*, tornando-os ineficazes contra certas espécies reativas de oxigênio.

A capacidade dos carotenóides de seqüestrar o oxigênio singlete tem sido atribuída ao extenso sistema de duplas ligações conjugadas, obtendo-se a máxima proteção daqueles que possuem nove ou mais duplas ligações (Foote *et al.*, 1970). Foi constatado que o licopeno, sendo acíclico, é mais eficiente do que o dicíclico β -caroteno (di Mascio, 1989), embora os dois tenham 11 duplas ligações conjugadas. Os carotenóides seqüestram o oxigênio singlete de duas maneiras: por transferência física da energia de excitação do oxigênio singlete para o carotenóide, resultando na formação de carotenóide tripleto, que é capaz de retornar ao estado não excitado após dissipar o seu excesso de energia como calor, ou por meio de uma reação química entre o oxigênio singlete e o carotenóide, resultando na destruição irreversível desse último.

A ação do licopeno na saúde humana tem recebido grande destaque nos últimos anos (Stahl e Sies, 1996; Gerster, 1997; Clinton, 1998; Sies e Stahl, 1998; Giovannucci, 1999; Rao e Agarwal, 1999; Khachik *et al.*, 2002), sendo a evidência científica mais for-

te em relação ao câncer do pulmão, esôfago e próstata. A ênfase tem sido a sua ação contra câncer da próstata (Hadley *et al.*, 2002; Giovannuci *et al.*, 2002; Wertz *et al.*, 2004; Stacewicz-Sapuntzakis e Bowen, 2005), por meio de diferentes mecanismos que levam à redução da proliferação de células epiteliais normais e cancerosas da próstata, redução do dano no DNA e melhoramento da defesa contra estresse oxidativo.

O licopeno pode ter um papel também na prevenção de doenças cardiovasculares (Arab e Steck, 2000; Rissanen *et al.*, 2002). Um estudo multicêntrico, envolvendo 10 países europeus, concluiu que o licopeno, ou alguma outra substância correlacionada, podia contribuir para o efeito protetor dos vegetais contra o risco de infarto do miocárdio, associação esta que não foi observada com α - e β -caroteno (Kolhmeier *et al.*, 1997). Um estudo prospectivo em mulheres, que durou 7,2 anos, indicava que o licopeno da dieta ou outros fitoquímicos de produtos de tomate conferiram benefícios cardiovasculares (Sesso *et al.*, 2003). Outro estudo prospectivo de 12 anos realizado nos EUA, entretanto, constatou redução do risco de doença arterial coronária em mulheres associada ao alto consumo de alimentos ricos em α - ou β -caroteno, mas não ao con-



sumo de alimentos ricos em licopeno, β -criptoxantina ou luteína/zeaxantina (Osganian *et al.*, 2003).

A luteína e a zeaxantina constituem o pigmento de cor amarela da mácula da retina humana (Bone *et al.*, 1988; Handelman *et al.*, 1988; Landrum e Bone, 2001) e são tidos como os responsáveis pelo efeito protetor oftalmológico dos carotenóides, atuando tanto como antioxidantes quanto como filtros da luz azul de alta energia (Krinsky *et al.*, 2003). Embora nem todos os estudos mostrem tal relação, o consumo destes carotenóides por meio da ingestão de alimentos como espinafre, agrião, milho e ovo, ou os seus níveis séricos, exibiram correlação inversa com o risco de degeneração macular (EDCC, 1993; Seddon *et al.*, 1994; Snodderly, 1995; Moeller *et al.*, 2000), a principal causa de perda da visão no idoso. Foi demonstrado, inclusive, que altas concentrações de luteína e zeaxantina, medidas na região central da retina, conferiam a seus portadores 82% menos probabilidade de desenvolver a degeneração macular (Bone *et al.*, 2001). De acordo com as revisões de Moeller *et al.* (2000) e Alves-Rodriguez e Shao (2004), a falta de luteína tem sido também consistentemente associada ao maior risco

de catarata. A extração de cataratas é uma das cirurgias mais freqüentemente realizadas nos idosos.

Devido a algumas inconsistências nos achados das pesquisas e às diferenças aparentes na eficácia dos diferentes carotenóides, além das possíveis sinergias ou, ao menos, dos efeitos aditivos, a recomendação atual permanece sendo o aumento do consumo de uma variedade de frutas e verduras ricas em carotenóides.

ANÁLISE DE CAROTENÓIDES

A necessidade de dados confiáveis sobre carotenóides em alimentos é largamente reconhecida em diversos campos de estudo. Alguns dos resultados discrepantes em estudos de biodisponibilidade e do efeito dos carotenóides da alimentação no estado nutricional em vitamina A, bem como na correlação entre a incidência de algumas patologias e o consumo de carotenóides nos estudos epidemiológicos, podem ser atribuídos, ao menos em parte, à utilização de dados não confiáveis sobre os conteúdos de carotenóides nos alimentos. A análise exata dos carotenóides tem sido uma das metas perseguidas durante anos. Estes esforços têm culminado no refino dos métodos analíticos, identificação das fontes de erros e os meios adequados



para evitá-los, assim como na implementação de sistemas de garantia da qualidade.

As tendências na análise de carotenóides em alimentos refletem não apenas os avanços nas metodologias analíticas e instrumentação, mas também o aprofundamento dos conhecimentos sobre o papel destes compostos na saúde humana. O teor total de carotenóides, como era usado anos atrás para avaliar as suas propriedades como corante, não é um dado adequado para estudos sobre saúde. Por muito tempo, também, a determinação em alimentos envolvia somente os principais carotenóides pró-vitâmnicos A. Com o crescente volume de evidências a favor da importância dos carotenóides na redução do risco de doenças crônicas, ação esta que independe da atividade pró-vitâmica A, hoje são determinados tanto os carotenóides pró-vitâmnicos, quanto os não pró-vitâmnicos A, por vezes, os isômeros *cis* e *trans* individualmente.

São vários os fatores que fazem desta uma análise inerentemente difícil: a) a existência de um grande número de carotenóides, b) a variabilidade qualitativa e quantitativa da composição dos alimentos, c) a ampla variação nas quantidades dos carotenóides dentro de um mesmo alimento, d) a

distribuição não uniforme dos carotenóides entre amostras e ainda dentro de uma mesma amostra, e) a natureza variável das matrizes alimentícias e f) a susceptibilidade dos carotenóides a isomerização e oxidação durante a análise ou durante a estocagem da amostra antes da análise (Rodriguez-Amaya, 1989, 1999a; Rodriguez-Amaya e Amaya-Farfan, 1992).

As fontes típicas de erros na análise de carotenóides são: amostras analíticas não representativas dos lotes de alimentos sob investigação, extração incompleta, perdas físicas ocorridas nos diversos passos, separação cromatográfica incompleta, identificação equivocada, erros de quantificação ou cálculo, isomerização e degradação oxidativa durante a análise e/ou durante a estocagem da amostra. O principal problema na análise dos carotenóides, porém, surge da sua instabilidade, razão pela qual medidas preventivas da formação de artefatos e perdas por degradação devem ser rotineiramente adotadas no laboratório. Estas incluem seis cuidados básicos: 1) execução completa da análise dentro do mínimo tempo possível, 2) exclusão do oxigênio, 3) proteção da incidência de luz, 4) proteção das temperaturas elevadas, 5) proteção de contato com ácidos, 6) emprego de solventes de alta pureza, livres de impurezas dano-



sas (Davies, 1976; Rodriguez-Amaya, 1989; Britton, 1991; Schiedt e Liaaen-Jensen, 1995).

A técnica analítica atualmente preferida para os carotenóides é a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). Entretanto, mesmo esta técnica está sujeita a várias fontes de erros, tais como: a) incompatibilidade do solvente de injeção com a fase móvel, b) identificação errônea, c) impureza, instabilidade e inexistência de padrões, d) quantificação de picos muito sobrepostos, e) baixa recuperação do analito na coluna cromatográfica, f) falta de exatidão no preparo das soluções padrão e no procedimento de calibração, g) erros de cálculo (Khachik *et al.*, 1988; Craft, 1992, Epler *et al.*, 1992, 1993; Scott, 1992; Hart e Scott, 1995; Kimura e Rodriguez-Amaya, 1999; Rodriguez-Amaya e Kimura, 2004).

As atividades biológicas dos carotenóides encontram-se intimamente associadas às suas estruturas, sendo, portanto, parte fundamental da análise a sua identificação conclusiva. Pelo fato de as propriedades físico-químicas utilizadas na sua medição variarem de um carotenóide para outro, a correta identificação é também um pré-requisito para a sua quantificação com exatidão. Os carotenóides de estrutura conhecida podem ser conclusivamente identificados mediante a análise

conjunta do seu comportamento cromatográfico, espectros de absorção UV-visível e respostas às reações químicas específicas que servem para confirmar a presença, localização e número de grupos funcionais em xanofilas (Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya, 2004). Alternativamente, para laboratórios bem equipados, a identificação conclusiva destes carotenóides pode ser obtida mediante o uso combinado dos tempos de retenção, co-cromatografia com padrões autênticos, espectros de absorção obtidos por um detector de arranjo de fotodiodos e espectros de massas com detector de massa acoplado. O tempo de retenção, mesmo com co-cromatografia, não pode ser utilizado como único critério de identificação. A espectrometria de massas e a espectroscopia de ressonância magnética nuclear são técnicas indispensáveis para a elucidação da estrutura de um carotenóide desconhecido.

FATORES QUE AFETAM A COMPOSIÇÃO DE CAROTENÓIDES

Entende-se agora que os tipos e teores de carotenóides e demais substâncias bioativas da dieta da população podem ser otimizados por meio da agricultura (van den Berg *et al.*, 2000). Esta abordagem deve ser complementada, porém, com técnicas apropriadas



durante o manuseio pós-colheita, processamento e armazenamento, com a finalidade de evitar a perda dos componentes de maior valor (Rodríguez-Amaya, 1997). Para colocar em prática esta estratégia, é necessário conhecer primeiro as variações da composição ao longo da cadeia alimentar, distinguindo a variabilidade analítica da variabilidade natural. A correta utilização dos achados somente poderá se dar a partir de dados analíticos confiáveis.

Os alimentos variam qualitativa e quantitativamente na sua composição em carotenóides. As hortaliças verdes, folhosas ou não, possuem um perfil qualitativo definido, sendo a luteína, o β -caroteno, a violaxantina e a neoxantina os carotenóides principais. A proporção relativa destes carotenóides é razoavelmente constante, mas não as suas concentrações absolutas, as quais variam consideravelmente. A alface, como exceção, contém ainda a lactucaxantina como carotenóide majoritário. As hortaliças verdes podem conter também carotenóides minoritários como o α -caroteno, α - ou β -criptoxantina, zeaxantina, antheraxantina e luteína-5,6-epóxido. Nestes vegetais, os carotenóides encontram-se em cloroplastos e os carotenóides não são esterificados.

As frutas e hortaliças frutos têm composição em carotenóides bem mais complexa e diversificada do que as hortaliças folhosas, com variações consideráveis mesmo nos carotenóides principais. Tipicamente, as frutas contêm poucos carotenóides em altas concentrações, junto com uma série de componentes minoritários presentes em quantidades bem mais baixas ou em traços. Os principais perfis encontrados em frutas e hortaliças fruto são: (a) níveis insignificantes de carotenóides (p.ex.: pêra); (b) baixo conteúdo de carotenóides, geralmente de pigmentos cloroplásticos (p.ex.: uva); (c) quantidades expressivas de licopeno (p.ex.: tomate, melancia, goiaba vermelha, mamão vermelho); (d) predominância de β -caroteno (p.ex.: acerola, buriti, tucumã); (e) β -criptoxantina como carotenóide principal (p.ex.: damasco, pêsego, caqui); (f) quantidades substanciais de epóxidos (p.ex.: manga, carambola); (g) preponderância de carotenóides raros ou específicos da espécie (p.ex.: pimenta vermelha). Algumas frutas apresentam, ainda, algumas combinações destes perfis. No fruto maduro, os carotenóides estão localizados geralmente em cromoplastos e os hidroxicarotenóides estão, na sua maior parte, esterificados com ácidos graxos.



Os carotenos predominam nas poucas raízes carotenogênicas (p.ex.: cenoura, batata doce), enquanto as xantofilas predominam em grãos (p.ex.: milho).

Num mesmo alimento, diferenças qualitativas e, especialmente, quantitativas existem como resultado de fatores como variedade/cultivar, estado de maturação, clima/localização geográfica da produção, estação do ano, parte da planta amostrada, condições de plantio, manuseio pós-colheita, processamento e condições de estocagem (Gross, 1987, 1991; Rodriguez-Amaya, 1993). As diferenças entre cultivares do mesmo produto agrícola estão bem documentadas e podem ser quantitativas, bem como qualitativas. O grau de maturação é outro fator que afeta decididamente a composição em carotenóides. O amadurecimento das frutas é um processo fisiológico acompanhado por uma carotenogênese intensificada, sendo que os carotenóides aumentam em número e quantidade. Para as verduras folhosas, o perfil de maturação não está bem definido. Em geral, um acréscimo nos carotenóides é também observado.

A exposição à radiação solar e a temperaturas elevadas resulta em aumento da biossíntese de carotenóides. Assim, os carotenóides são responsá-

veis pela coloração das frutas tipicamente tropicais, ao passo que as frutas de climas mais frios são majoritariamente coloridas pelas antocianinas. Além disso, frutas da mesma cultivar, quando produzidas em regiões quentes, mostram teores de carotenóides expressivamente mais elevados do que aquelas produzidas em regiões de clima temperado (Rodriguez-Amaya, 1993).

EFEITOS DO PROCESSAMENTO E ESTOCAGEM

Muitos alimentos carotenogênicos são sazonais e é necessário processá-los no pico da safra para minimizar as perdas, fazer com que o produto permaneça disponível o ano inteiro e permitir que o alimento esteja ao alcance de regiões distantes do lugar de produção. É necessário, porém, não dispensar a aplicação de boas práticas no processamento e estocagem, visando reduzir a degradação e, ao mesmo tempo, acentuar a biodisponibilidade.

Em alimentos processados, além dos fatores que afetam a matéria-prima, citados na seção anterior, a composição em carotenóides depende do tipo e das condições do processamento e da estocagem.

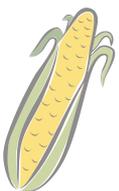


A retenção ou perda percentual dos carotenóides durante o processamento e estocagem de alimentos tem sido relatada em numerosas publicações. Entretanto, os dados publicados mostram algumas inconsistências ou são de difícil interpretação, devido às seguintes razões (Rodriguez-Amaya, 1997): a) as condições de processamento ou estocagem não são, ou são apenas parcialmente descritas; b) alimentos diferentes são processados de forma diferente, inviabilizando a comparação entre os métodos; c) diferentes condições de tempo e temperatura são utilizadas para um mesmo tipo de tratamento; e d) o procedimento seguido para calcular as perdas não é especificado ou falhas são detectadas no cálculo. Ainda, muito cuidado deve ser tomado para que perdas devidas à isomerização e oxidação ocorridas durante a análise não sejam erroneamente atribuídas ao processamento ou preparo do alimento. Felizmente, mesmo com inadequações experimentais e discrepância nos dados, tem sido possível chegar a algumas conclusões (Rodriguez-Amaya, 1997):

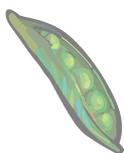
- A biossíntese dos carotenóides pode continuar após a colheita, aumentando o teor de carotenóides em frutas, hortaliças e tubérculos, desde que o material

seja mantido intacto, preservando o sistema enzimático responsável pela carotenogênese.

- Os carotenóides se encontram naturalmente protegidos no tecido vegetal. O corte e a trituração das frutas e hortaliças acarretam a liberação de enzimas que catalisam a oxidação, bem como aumentam a exposição dos carotenóides ao oxigênio.
- A estabilidade dos carotenóides depende da matriz do alimento e pode diferir de alimento para alimento, mesmo em se tratando das mesmas condições de processamento ou estocagem. Por isso, as condições de máxima retenção variam de um alimento para outro.
- A principal causa de perdas ou destruição de carotenóides durante o processamento ou a estocagem é a oxidação, seja ela enzimática ou não. A isomerização dos *trans*-carotenóides para isômeros *cis* altera a sua atividade biológica e a cor, mas não na mesma extensão que a oxidação. Em muitos alimentos, a degradação enzimática dos carotenóides pode ser mais comprometedora do que a decomposição térmica ou oxidação não enzimática.



- Relatos de aumento nos teores de carotenóides atribuídos ao cozimento ou ao processamento térmico são mais provavelmente devidos à análise ou forma de cálculo do que a aumentos reais. A perda de carotenóides na amostra fresca catalizada por enzimas liberadas durante o preparo para análise, a maior extratibilidade do analito na amostra processada, as perdas de água não contabilizadas e a lixiviação de sólidos da matriz para a água de cocção são fatores que podem levar aos supostos aumentos.
- Em preparações domésticas, as perdas de carotenóides aumentam geralmente na seguinte ordem, segundo o tipo de cocção: microondas < ao vapor < fervura < refogado. Fritura por imersão, fervura prolongada, combinação de vários tipos de cocção, assamento e marinados, todos provocam perdas consideráveis de carotenóides.
- Independentemente do método de processamento, a retenção dos carotenóides diminui, em função do tempo e temperatura de processamento, assim como a desintegração dos tecidos. A retenção aumentará se forem reduzidos as temperaturas e os tempos do tratamento térmico e os tempos transcorridos entre o descasque, cortes ou homogeneização e o aquecimento ou consumo. Um processamento rápido em altas temperaturas é uma boa alternativa.
- O branqueamento pode ocasionar alguma perda. Entretanto, devido à inativação de enzimas oxidativas, esta operação preliminar pode prevenir maiores perdas durante o tempo de espera entre o preparo da matéria prima e o processamento térmico, durante processamento lento e durante estocagem de material não processado.
- O congelamento, de modo geral, preserva os carotenóides, porém, o descongelamento lento pode ser prejudicial, se o branqueamento não for adequadamente executado.
- A remoção da pele e a elaboração de sucos resultam em perdas substanciais de carotenóides, que podem ultrapassar aquelas devidas ao tratamento térmico.
- A secagem tradicional ou artesanal ao sol, um método de preservação barato e de simples aplicação em regiões pobres, ocasiona



marcante destruição dos carotenóides. As perdas são menores quando a secagem é realizada na sombra ou quando secadores solares, mesmo aqueles de desenho simples e econômico, são utilizados.

- O emprego de antioxidantes (naturais ou sintéticos) e sulfitação reduz a degradação dos carotenóides.
- A adoção de práticas que excluem o oxigênio (acondicionamento a vácuo ou a quente, utilização de embalagens impermeáveis ao oxigênio ou aplicação de atmosferas inertes), proteção contra a luz e armazenamento dos produtos em baixas temperaturas evitam consideravelmente a degradação dos carotenóides.

A perda ou alteração de carotenóides durante o processamento e estocagem pode ocorrer via remoção física (p.ex.: descascamento) e, pelo fato de serem compostos altamente insaturados, por isomerização geométrica e oxidação enzimática e não-enzimática (Rodríguez-Amaya, 1997, 1999b, 2002). Medidas preventivas devem ser tomadas para garantir máxima retenção dos carotenóides, e embora a atenção seja comumente voltada para o processo

industrial, o preparo doméstico chega a causar, às vezes, perdas maiores do que o manuseio industrial.

A transformação dos carotenóides *trans*, sua forma natural, para isômeros *cis* é um fenômeno cientificamente bem documentado. A transformação é promovida por ácidos, calor e luz. A liberação de ácidos orgânicos provocada pelo corte, fatiamento, ralagem ou trituração, pode ser suficiente para provocar a isomerização *trans-cis*, embora esta transformação ocorra em maior extensão durante o tratamento térmico. Os principais isômeros *cis* do β -caroteno podem ser vistos na Figura 3.

Há tempos se atribui atividade vitamínica mais baixa às pró-vitaminas A na forma *cis*, em relação aos isômeros *trans* (Zechmeister, 1962). Mais recentemente, foi relatado que o *trans*- β -caroteno é preferencialmente absorvido em humanos (Gaziano *et al.*, 1995; Stahl *et al.*, 1995; Ben-Amotz e Levy, 1996) e no furão (Erdman *et al.*, 1998), quando comparado ao 9-*cis*- β -caroteno. Em contraposição, foi constatado que o *cis*-licopeno, que não possui atividade pró-vitamínica A, é mais biodisponível do que o *trans*-licopeno no furão (Boileau *et al.*, 1999).



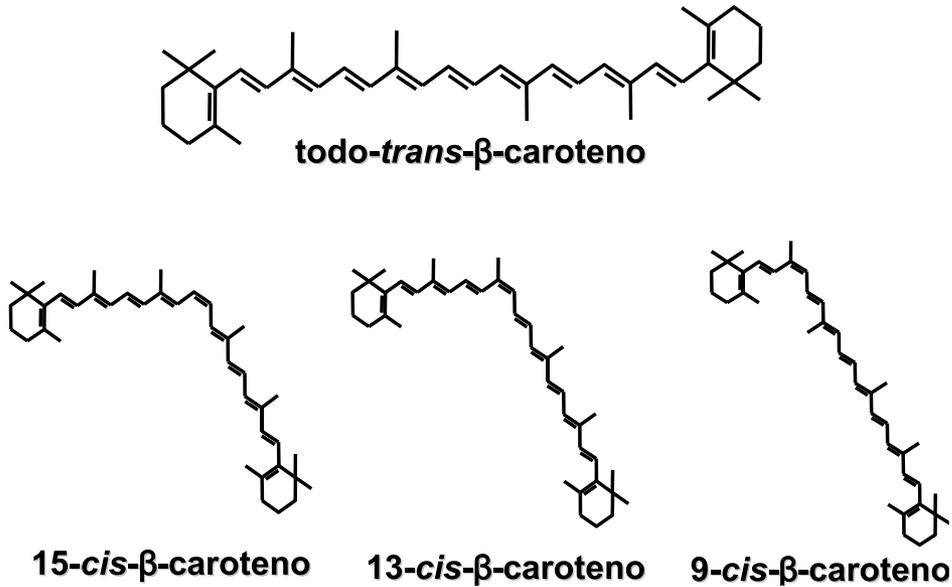


Figura 3. Isômeros geométricos mais comuns do β-caroteno

Os carotenóides são perdidos principalmente pela oxidação enzimática e não enzimática, as quais dependem da disponibilidade do oxigênio e da estrutura do carotenóide. Ela é estimulada pela presença de luz, calor, metais, enzimas e peróxidos e é inibida pelos antioxidantes. Sabe-se que a degradação oxidativa é incrementada com a destruição das estruturas celulares do alimento, aumento da porosidade ou área superficial da matriz, duração ou grau de severidade do processamento, temperatura e duração da estocagem, permeabilidade ao oxigênio e transmissibilidade à luz da embalagem. Tipicamente, a perda por oxidação enzimática ocorre logo após a ruptura das estruturas celulares, após a qual as concentrações dos ca-

rotenóides se estabilizam. A oxidação não enzimática normalmente se caracteriza por uma fase *lag*, seguida de um desaparecimento rápido dos carotenóides, coerente com um mecanismo de radicais livres.

Pelo fato de a oxidação enzimática ocorrer antes do processamento térmico, ou seja, durante o descasamento, fatiamento, trituração ou despolpamento, recomenda-se que os produtos sejam consumidos ou branqueados imediatamente após essas operações.

A comercialização de frutas e verduras minimamente processadas é uma tendência crescente, impulsionada pela demanda de produtos de alta qualidade e conveniência. Pelo fato



de não serem usadas condições drásticas de processamento, o consumidor espera que tais produtos retenham as propriedades do produto fresco e o valor nutritivo quase inalterado. Entretanto, a desintegração dos tecidos pelos cortes possibilita as interações enzima-substrato, tornando estes produtos mais susceptíveis a mudanças fisiológicas do que as matérias-primas intactas. A maior exposição dos componentes do vegetal ao oxigênio também promove a degradação oxidativa.

Contrastando com a riqueza de informações disponíveis sobre a oxidação lipídica, o estudo da oxidação dos carotenóides permanece fragmentário. Geralmente, a oxidação dos carotenóides ocorre acompanhada de isomerização, sendo que tanto os *cis* quanto os *trans* isômeros estão sujeitos à oxidação (Figura 4). Os estágios iniciais da oxidação envolvem epoxidação e clivagem com formação de apocarotenais (Rodriguez e Rodriguez-Amaya, 2007). As fragmentações subsequentes resultam em compostos de baixa massa molecular, semelhantes àqueles produzidos pela oxidação dos ácidos graxos. Agora desprovidos de cor ou atividade biológica conhecida, estes compostos podem dar origem a sabores desejáveis (p.ex.: em vinhos e chás) ou sabores estranhos indesejáveis (p.ex.: em cenoura desidratada).

Por muito tempo, a única preocupação com os carotenóides durante o processamento foi a perda ou degradação. Em anos mais recentes, porém, a atenção se voltou para os efeitos do processamento na biodisponibilidade dos carotenóides.

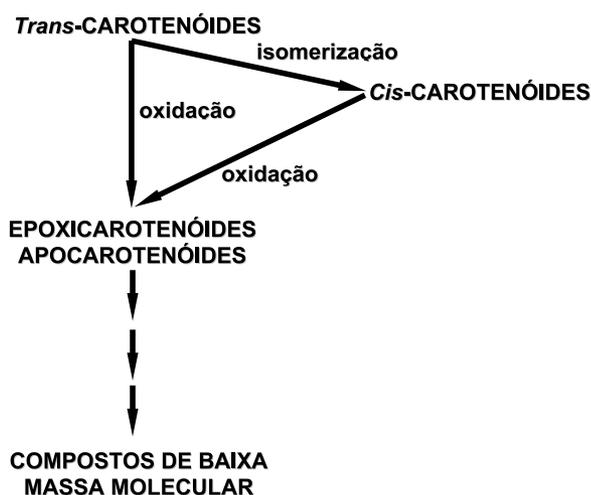


Figura 4. Possível esquema de degradação (Rodriguez-Amaya, 1999a)

Na natureza, os carotenóides estão protegidos pela estrutura celular e a destruição destas barreiras torna-os automaticamente vulneráveis à degradação. Ironicamente, essas mesmas estruturas se convertem em barreiras que limitam a sua biodisponibilidade. O processamento amolece ou rompe as membranas e paredes celulares e desnatura proteínas complexadas com os carotenóides. O rompimento destas



estruturas facilita então a liberação dos carotenóides durante a digestão. Assim, foi mostrado que a biodisponibilidade do β -caroteno em humanos é aumentada pelo corte e processamento da folha de espinafre e processamento de cenoura (Castenmiller *et al.*, 1999; Rock *et al.*, 1998). Foi relatado também que a biodisponibilidade do licopeno foi maior em tomates processados termicamente em comparação com o tomate *in natura* (Gärtner *et al.*, 1997; Stahl e Sies, 1992; van Het Hof *et al.*, 2000). O conhecimento atual, portanto, sugere que as condições de processamento sejam otimizadas, com o objetivo de maximizar a biodisponibilidade sem provocar perdas apreciáveis dos carotenóides.

BIODISPONIBILIDADE, BIOCONVERSÃO E FATORES DE CONVERSÃO

Existem muitas investigações e discussões sobre a biodisponibilidade dos carotenóides, especialmente sobre os pró-vitâmicos A. Por biodisponibilidade, entende-se aquela quantidade de carotenóide que é absorvida pelo intestino e chega a ser disponibilizada aos tecidos-alvo. A conversão da pró-vitamina A absorvida para retinol é denominada de bioconversão. Uma adequada absorção de carotenóides da dieta requer: a) digestão da matriz

alimentar, b) formação de micelas lipídicas no trato gastrointestinal, c) captação dos carotenóides pelas células da mucosa intestinal, d) transporte dos carotenóides e seus produtos metabólicos até a linfa e a circulação portal (Erdman *et al.*, 1993; Castenmiller e West, 1998).

O estudo da biodisponibilidade destes compostos é complexo devido à influência de diversos fatores. Os fatores relacionados ao alimento são a quantidade e natureza do carotenóide, a natureza da matriz e estado físico do carotenóide, o método de preparo ou processamento, a competição/interação com outros carotenóides e a presença de outros componentes na dieta (p.ex.: a gordura aumenta, enquanto a fibra diminui a biodisponibilidade) (Castenmiller e West, 1998; van het Hof *et al.*, 2000; Yeum e Russell, 2002). Já com relação ao indivíduo, os fatores são o estado nutricional (p.ex.: a deficiência de vitamina A aumenta a biodisponibilidade, enquanto a deficiência protéica a diminui), baixa capacidade de absorção dos lipídios, infecções, infestações parasitárias e fatores genéticos. Os resultados de estudos sobre biodisponibilidade têm sido muitas vezes inconsistentes ou inconclusivos devido à larga variação nas respostas individuais e à existência de indivíduos que não respondem à intervenção.



Em 1995, de Pee *et al.* relataram que o consumo de verduras folhosas refogadas não resultava em melhoria do estado em vitamina A de mães lactantes da Indonésia que estavam com níveis marginais ou baixos em retinol. Porém, muitos estudos anteriores ao de de Pee *et al.* mostravam que o estado nutricional em vitamina A de crianças deficientes de diversos países melhorava após a intervenção com alimentos ricos em pró-vitaminas A, como verduras folhosas verde-escuras, buriti, cenoura, azeite vermelho de dendê e mamão. De Pee e West (1996) apontaram deficiências dos estudos anteriores, citando a falta de grupos-controle negativos e positivos, alta taxa de desistência, pequeno número de sujeitos por tratamento com respostas muito variadas e falta de uma referência basal. Entretanto, Nestel e Trumbo (1999) mostraram que em 21 estudos realizados com crianças entre 1968 e 1994, melhoria do estado em vitamina A foi encontrada em 7 de 9 trabalhos que não tinham grupos-controle adequados, 4 de 5 com grupos-controle positivos, 1 de 1 com grupo-controle negativo e 5 de 6 com grupos-controle, tanto positivos quanto negativos. Dos únicos quatro estudos que não mostraram efeito nenhum, dois incluíam crianças que não tinham deficiência de vitamina A. Todos os estudos arrolados mediam retinol plas-

mático, o qual é controlado pelo sistema homeostático. Portanto, apesar das falhas técnicas, o peso da evidência favorece a noção de que o consumo de frutas e verduras, ricos em β -caroteno, melhora o estado nutricional em vitamina A de crianças deficientes.

Posteriormente, outros estudos corroboraram as conclusões de Nestel e Trumbo (1999). Jalal *et al.* (1998), por exemplo, relataram um aumento no retinol sérico em crianças da Indonésia com a incorporação de fontes ricas em β -caroteno nas suas refeições, principalmente de batata doce. Takyi (1999) observou que o consumo de vegetais verde-escuros, juntamente com gordura, aumentava o retinol sérico em crianças de Ghana. Suplementando as refeições com manga desidratada e uma fonte de gordura, registrou-se leve melhoria no estado nutricional em vitamina A de crianças da Gâmbia (Drammeh *et al.*, 2002). Van Jaarsveld *et al.* (2005) também observaram, por meio da técnica modificada da dose-resposta relativa, melhoria no estado nutricional em vitamina A de crianças da África do Sul que consumiram batata doce de polpa alaranjada.

A suplementação com óleo vermelho de palma (dendê) melhorou o estado nutricional em vitamina A de mulheres grávidas da Tanzânia (Lietz *et al.*, 2000) e de lactantes e lacten-

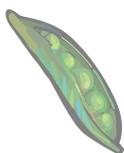


tes da Índia (Radhika *et al.*, 2003) e de Honduras (Canfield e Kaminsky, 2000). Esses últimos autores obtiveram um efeito positivo com o óleo de dendê comparável ao observado com o β -caroteno purificado.

Estudos que utilizaram a diluição isotópica para determinar o estado em vitamina A, uma técnica mais acurada do que a medida do retinol sérico, têm também sido efetuados. Tang *et al.* (1999) confirmaram que vegetais verde-amarelos sustentaram as reservas corpóreas de vitamina A em crianças chinesas. Em crianças filipinas, foi observado que a bioconversão de carotenóides de plantas variou inversamente ao estado nutricional em vitamina A, sendo que o grau de melhoramento com a intervenção foi fortemente influenciado pelas reservas totais da vitamina e não pelos níveis de retinol sérico (Ribaya-Mercado *et al.*, 2000). O consumo diário de purê de espinafre indiano (*Basella alba*) ou de batata doce enlatada teve efeito positivo nas reservas totais da vitamina em homens de Bangladesh (Haskell *et al.*, 2004).

Estudando crianças anêmicas da Indonésia, de Pee *et al.* (1998) calcularam a equivalência relativa em vitamina A de β -caroteno como sendo: 26 μg de β -caroteno de vegetais fo-

lhosos e cenoura correspondem a 12 μg de β -caroteno de frutas ou a 1 μg de vitamina A pré-formada de alimentos ricos em vitamina A. Boileau *et al.* (1998) apresentaram um esquema de ranqueamento da biodisponibilidade, onde o mais alto grau foi atribuído a formulações de carotenóides (naturais ou sintéticos) em gotículas dispersíveis em água, seguidas, em ordem decrescente, de carotenóides (naturais ou sintéticos) em óleo, frutas (p.ex.: mamão, pêssego, melão), tubérculos (p.ex.: batata doce, inhame, abóboras), sucos processados com refeição contendo gordura (p.ex.: suco de tomate com óleo adicionado), vegetais amarelo-alaranjados brandamente cozidos (p.ex.: cenoura, pimentão), suco natural sem gordura (p.ex.: tomate) e verduras folhosas cruas (espinafre). A biodisponibilidade, como se sabe, varia de acordo com o tipo de alimento, dependendo ainda da forma como o alimento é preparado. É interessante registrar que em estudo recente, Haskell *et al.* (2004) utilizaram a técnica de diluição do retinol deuterado para determinar os fatores de equivalência em homens de Bangladesh, encontrando fatores de equivalência em vitamina A (β -caroteno:retinol, peso/peso) de aproximadamente 13:1 para batata doce, 10:1 para espinafre indiano e 6:1 para β -caroteno sintético.



Como consequência dos relatos de biodisponibilidade de pró-vitaminas A menor que a previamente pensada, os fatores de conversão foram aumentados de 6:1 para 12:1 para β -caroteno [12 μg β -caroteno = 1 μg retinol = 1 equivalente de atividade de retinol (RAE)] e, de 12:1 para 24:1, para α -caroteno, γ -caroteno e β -criptoxantina (24 μg de outros carotenóides pró-vitamínicos A = 1 μg de retinol = 1 RAE) (Institute of Medicine, 2001). Entretanto, futuras mudanças nas equivalências são passíveis de ocorrer e, portanto, recomenda-se que, em lugar dos valores resultantes de qualquer conversão, os teores individuais dos carotenóides sejam relatados em tabelas de composição (Trumbo *et al.*, 2001), tal como havia sido sugerido anteriormente por Rodriguez-Amaya (1989). Além disso, considerando a ampla variação em biodisponibilidade dos carotenóides nos diferentes alimentos, chega a ser uma super-simplificação a adoção de um único fator de conversão para β -caroteno e outro para os demais carotenóides pró-vitamínicos A (Rodriguez-Amaya, 1989, 1996). Seria impossível estabelecer um fator para cada alimento; porém, seria viável estabelecer fatores para os diversos grupos de alimentos (p.ex.: frutas, hortaliças folhosas cruas, hortaliças folhosas cozidas, etc). Tendo em conta que os

fatores citados acima foram estimados para populações saudáveis e ainda, que a biodisponibilidade depende do estado nutricional em vitamina A (Nestel e Trumbo, 1999; Ribaya-Mercado *et al.*, 2000), mais uma consideração deveria ser a aplicabilidade destes fatores em países em desenvolvimento.

Recentemente, Thurnham (2007), em um artigo de revisão, examinou detalhada e minuciosamente os estudos de Sheffield, Gran Britania (1949), que levaram à taxa de conversão de 6 μg β -caroteno ou 12 μg dos outros carotenóides pró-vitamínicos A para 1 RE (equivalente de retinol), e os trabalhos recentes que serviram de base para a elevação da conversão de 12 μg de β -caroteno ou 24 μg das outras provitaminas A para 1 RAE, (equivalente de atividade de retinol), apontando as deficiências de cada estudo. Ele concluiu que a alta prevalência de inflamação em países em desenvolvimento é frequentemente ignorada, e que a sua habilidade de reduzir as concentrações plasmáticas de retinol e carotenóides e retardar o equilíbrio em estudos de intervenção poderia ter exagerado a suposta ineficiência de β -caroteno em formar retinol. A adequação de gordura dietária é mais importante que o efeito de parasitas. A maior taxa de bioeficácia tem sido obtida quando pequenas



doses de β -caroteno são administradas em sujeitos marginalmente deficientes ou deficientes em vitamina A.

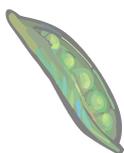
TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE CAROTENÓIDES EM ALIMENTOS

Com seu extenso território, especialmente de áreas tropicais e subtropicais, onde o clima contribui para promover a biossíntese de carotenóides, o Brasil oferece uma variedade extraordinária de fontes de carotenóides. A grande diversidade e os altos teores encontrados nas fontes fazem deste país um dos mais ricos do mundo em recursos de carotenóides, merecendo, portanto, esforços para melhorar a sua utilização. Parte significativa das fontes alimentícias brasileiras já foi estudada, dando origem a inúmeros trabalhos publicados. Para disponibilizar os dados aos pesquisadores da área, bem como torná-los acessíveis a profissionais das áreas da saúde e população em geral, os dados foram avaliados, agrupados e apresentados numa única tabela (Tabela 1), dando ênfase especial aos carotenóides considerados importantes para a saúde. Para apresentar as melhores médias atuais, foi considerada a adequação da amostragem, do preparo de amostra analítica e do método analítico empregado. Assim, foram juntados apenas os resultados

obtidos pela análise individual de pelo menos três lotes diferentes e por meio de metodologia adequada. Nos casos em que houve melhoria nos teores de carotenóides, como no caso de cenoura e produtos de tomate, somente os teores atuais foram incluídos.

Devido às diferentes biodisponibilidades e bioconversibilidades dos isômeros *trans* e *cis* dos carotenóides, a tabela também apresenta, além do total, as concentrações dos isômeros *trans* (*E*), quando esses foram separados, identificados e quantificados individualmente. Para a CCA, a separação envolveu re-cromatografia em coluna de Ca(OH)_2 depois de uma separação inicial em uma coluna de MgO:Hyflosupercel . Na CLAE, colunas analíticas capazes de separar diretamente os isômeros foram utilizadas.

Para facilitar a utilização da Tabela nos programas de combate à deficiência de vitamina A, os valores de RAE (equivalente de atividade de retinol) foram calculados e apresentados. Cabe ressaltar, porém, que o RAE foi estabelecido para populações sadias de países desenvolvidos. Considerando que a biodisponibilidade e a bioconversão aumentam em populações em estado deficiente de vitamina A, como discutido anteriormente, as taxas de conversão devem ser menores para estas populações. Foram incluídas,



além das pró-vitaminas A apresentadas na Tabela, as atividades de outras pró-vitaminas como β - zeacaroteno, 5,8 - e 5,6 - monoepoxi - β - caroteno, α - criptoxantina e γ - caroteno, quando os seus teores foram reportados nas publicações. As contribuições dos isômeros *cis* e *trans* foram calculadas separadamente, atribuindo aos isômeros *cis* 50% da atividade dos isômeros *trans* correspondentes.

Confiabilidade da Análise de Carotenóides

Nos nossos laboratórios, é realizado um trabalho constante de avaliação de métodos e/ou procedimentos, identificação de fontes de erros analíticos e adoção de medidas para garantir a confiabilidade dos resultados (Rodríguez-Amaya, 1989, 1990, 1999a; Rodríguez-Amaya e Amaya-Farfan, 1992; Kimura e Rodríguez-Amaya, 1999). Com base nesta constante avaliação, foram excluídos da tabela, dados que poderiam ser incorretos. Por exemplo, em uma pesquisa sobre os carotenóides de manga, quando o cromatógrafo líquido de alta eficiência (CLAE) não estava disponível em nossos laboratórios, os di-hidroxi-epoxicarotenóides não podiam ser completamente separados por cromatografia em coluna aberta (CCA) e se fez necessária a re-cromatografia desta fração em ca-

mada delgada (CCD), que apresentou baixa recuperação. Assim, os valores de violaxantina obtidos nos trabalhos que empregaram CCD foram excluídos da tabela. Os dados de β -caroteno, porém, são confiáveis e foram mantidos na tabela.

Amostragem e Preparo das Amostras

Considerando que a composição de carotenóides é influenciada por vários fatores e que estes compostos não estão uniformemente distribuídos entre as unidades (frutos, raízes), ou mesmo dentro da unidade de um determinado alimento, a amostragem e o preparo das amostras são operações de importância crítica para se obter amostras homogêneas e representativas que levem a resultados estatisticamente válidos.

Em nossos laboratórios, tanto a amostragem quanto o preparo da amostra dependem do alimento em investigação. A amostragem é feita em centros de distribuição, supermercados e varejões, a fim de obter uma gama representativa dos produtos que chegam até o consumidor. São amostrados produtos perenes em diversas épocas do ano, e produtos sazonais em diferentes tempos durante a estação. Cada amostra laboratorial se



forma tomando ao acaso vários incrementos do lote maior encontrado no lugar a ser amostrado. Dependendo do alimento sob investigação, porções de 200 a 1000 g são coletados do lote para serem conduzidas ao laboratório. No laboratório, as partes não comestíveis são removidas. Para pequenas frutas e hortaliças frutos, várias unidades são retiradas ao acaso da amostra laboratorial e homogeneizadas em processador doméstico de alimentos, sendo que porções em duplicata são pesadas e submetidas à análise. Frutas e hortaliças frutos maiores são quarteadas longitudinalmente e duas seções opostas misturadas e homogeneizadas no processador. Produtos tais como folhas e vagens são cortadas rapidamente em pequenos pedaços, misturados e homogeneizados. Para hortaliças comercializadas em “cabeças” ou “pés”, tais como escarola e alface, a unidade é aberta manualmente e números proporcionais de folhas maduras e novas são destacadas e picadas. Para produtos comerciais processados, que normalmente sofrem homogeneização na fábrica, ao menos duas ou três unidades do mesmo lote de produção são adquiridas ao acaso e misturadas antes de se proceder à pesagem e à análise. Uma vez feita a homogeneização e a pesagem da amostra analítica, procede-se à extração sem demora, pois a liberação de enzimas, como a

lipoxigenase, catalisa significativamente a oxidação dos carotenóides e a liberação de ácidos pode promover a isomerização *trans-cis*.

O trabalho laboratorial é planejado de tal forma que as amostras sejam analisadas logo após a chegada, tendo em vista a dificuldade de evitar as alterações na composição dos carotenóides durante a estocagem, mesmo em baixas temperaturas. Considerando que a concentração do carotenóide é expressa por peso da amostra, mudança de peso devido, principalmente, à perda ou ao ganho de umidade durante a estocagem também afeta o resultado final.

A liofilização tem sido considerada como meio adequado para preservar amostras biológicas que precisam ser estocadas antes da análise dos carotenóides. Entretanto, está comprovado que ocorre degradação de carotenóides durante a liofilização (Park, 1987; Craft et al., 1993; Ramos e Rodriguez-Amaya, 1993) e esse processo aumenta a porosidade da amostra, aumentando a exposição dos carotenóides ao oxigênio ao longo do tempo. Outra complicação que surge é a transformação dos resultados expressos em base seca para base úmida utilizando o teor de umidade da amostra *in natura* e da amostra desi-



dratada. A determinação da umidade é um procedimento simples, mas não muito exato, e o erro da análise deste macrocomponente pode ter um efeito apreciável na concentração dos microcomponentes.

Metodologia Analítica

Devido à variada natureza das matrizes dos alimentos e da variação qualitativa e quantitativa na composição dos carotenóides, não há uma metodologia ou procedimento analítico que possa ser usado indistintamente para todos os alimentos. Portanto, otimização do método ou desenvolvimento e avaliação do método são rotineiramente realizados, antes de se proceder à geração de dados. Nosso método geral consiste de extração com acetona, seguida de partição para éter de petróleo, concentração em evaporador rotatório, secagem sob corrente de nitrogênio, separação cromatográfica, identificação e quantificação. O método é otimizado para cada matriz, especialmente em relação ao preparo da amostra analítica, condições de extração e condições cromatográficas. Os dados mais antigos foram obtidos pela técnica de cromatografia de coluna aberta (CCA) e os mais recentes, por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE).

A saponificação tem sido o procedimento preferido para eliminar os lipídeos não desejados e as clorofilas, além de hidrolisar os ésteres de carotenóis. Esta operação, porém, estende o tempo de análise e pode provocar a formação de artefatos e a degradação dos carotenóides. Embora os carotenóides pró-vitamínicos A (α -caroteno, β -caroteno, γ -caroteno, β -criptoxantina) possam resistir à saponificação (Rodriguez-Amaya *et al.*, 1988; Kimura *et al.*, 1990), perdas consideráveis de luteína, violaxantina e outros di-hidroxi e tri-hidroxi carotenóides são passíveis de ocorrer durante a saponificação e a lavagem subsequente (Khachik *et al.*, 1986; Rodriguez-Amaya *et al.*, 1988; Riso e Porri 1997). A extensão da degradação causada pela saponificação dependerá das condições utilizadas, sendo maior quanto maior for a concentração do álcali e quando a saponificação é realizada à quente (Kimura *et al.*, 1990).

Assim, a saponificação é incluída no procedimento analítico somente quando é indispensável. Ela é dispensável, por exemplo, na análise de verduras folhosas, tomate e cenoura, que apresentam baixo teor de lipídeos e são virtualmente livres de ésteres de carotenol. As clorofilas que são co-extraídas com os carotenóides das folhas podem ser separadas durante



a cromatografia. Mesmo para o milho seco, que possui teor de lipídeos mais elevado, a saponificação é dispensável se for utilizada eluição cromatográfica por gradiente capaz de remover os lipídios da coluna (Rodriguez-Amaya e Kimura, 2004). Para as amostras de alimentos que requerem saponificação, este passo é exaustivamente avaliado e otimizado, e a lavagem que se segue é feita cuidadosamente para evitar a perda de carotenóides na fase aquosa (de Sá e Rodriguez-Amaya, 2004).

Num trabalho anterior com verduras folhosas (Ramos e Rodriguez-Amaya, 1987), realizado antes dos efeitos da saponificação ser detalhadamente avaliada (Kimura *et al.*, 1990), a luteína foi subestimada, provavelmente pelas perdas ocorridas durante a saponificação e/ou a lavagem. Portanto, esses dados e aqueles nos quais a saponificação foi utilizada para amostras de folhas não foram incluídos na Tabela. No entanto, os dados sobre β -caroteno estão de acordo com trabalhos posteriores e foram apresentados nesta Tabela.

Considerando que identificações inconclusivas ou errôneas podem ser encontradas na literatura, Pfander *et al.* (1994) e Schiedt e Liaaen-Jensen (1995) recomendam os seguintes critérios mínimos para a identificação dos

carotenóides: 1) espectro de absorção na região visível, ou UV para aqueles cromóforos de comprimento de onda mais curto; 2) comportamento cromatográfico idêntico em dois sistemas diferentes, preferencialmente, CCD (R_f) e CLAE (t_R), além de co-cromatografia com padrão autêntico; e 3) espectro de massas que permita a confirmação ao menos da massa molecular.

Todos os parâmetros acima citados têm sido empregados em nossos laboratórios. Temos demonstrado repetidas vezes que os carotenóides, cujas estruturas já são conhecidas, podem ser conclusivamente identificados com o uso combinado e sistemático dos tempos de retenção, co-cromatografia com padrões autênticos, espectros de absorção e reações químicas específicas. Na ausência dos espectros de massas, os testes químicos podem ser usados para confirmar o tipo, localização e número de grupos funcionais (Davies, 1976; Eugster, 1995; Rodriguez-Amaya, 1999a; Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya, 2004).

Um dos fatores que se apresenta como grave empecilho à pesquisa analítica de carotenóides é a limitada disponibilidade comercial de padrões nos países em desenvolvimento. Alada a sua instabilidade e seu alto custo, a saída encontrada em nossos labo-



ratórios tem sido separar e purificar *in loco* os padrões, utilizando CCA. O grau de pureza tem sido comparável ou superior ao dos produtos comerciais.

Variação Composicional

Na tabela, diferenças varietais são registradas para acerola, goiaba, manga, mamão, pêsego, pimentão, abóbora, tomate, couve, alface, cenoura e batata doce. Alterações nos teores de carotenóides do mesmo alimento devido a mudanças de cultivar ocorridas no mercado brasileiro também podem ser observadas. Em tomate, a variedade Santa Cruz foi substituída pela variedade Carmen, como a mais comercializada sem, no entanto, haver alteração significativa do conteúdo em carotenóides. Já em goiaba, a mudança da cultivar IAC-4 para as variedades Paluma e Ogawa obedeceu ao objetivo de se oferecer cultivares mais ricas em licopeno. Com relação à cenoura, mesmo não havendo mudança de cultivares, registra-se um aumento consistente no teor de carotenóides, testemunhado pela própria intensidade da cor, aparentemente como resultado de aprimoramentos nas práticas de produção, inclusive optando-se pela colheita no tempo de maturação ótimo.

Salvo quando especificado de outra forma, os valores apresentados na tabela correspondem aos teores encontrados nas hortaliças ou frutas, no seu estado maduro. Os efeitos da maturação podem ser observados em acerola, manga, pitanga e abóbora, com os teores marcadamente maiores em frutos maduros. Para as hortaliças folhosas, os principais carotenóides em repolho, escarola, couve e alface aumentaram entre 3 e 4 vezes com a maturação. Ao contrário, os teores de carotenóides nas folhas mais novas de espinafre, variedade Nova Zelândia, mostraram ser ligeiramente superiores aos das folhas maduras.

Pode ser visto também que acerola, manga e mamão das mesmas cultivares, quando produzidas nos estados do nordeste, apresentaram teores de carotenóides expressivamente mais elevados do que aquelas produzidas no clima temperado do estado de São Paulo. Isso comprova a estimulação da biossíntese de carotenóides com exposição ao sol e alta temperatura. A luz solar, no entanto, pode promover também a fotodegradação. Vegetais folhosos produzidos em estufa ou em canteiros com coberturas de proteção plástica, tais como aqueles produzidos por hidroponia ou para processamento mínimo, apresentam teores mais elevados durante o verão do que no



inverno. Esse quadro contrasta com os teores mais baixos que se registram em campo aberto, no verão, sugerindo que a ação da fotodegradação predomina sobre o efeito da elevada carotenogênese.

A maioria das frutas e hortaliças possui níveis mais elevados de carotenóides na parte externa (pele ou casca) do que na polpa (Gross, 1987, 1991; Rodriguez-Amaya, 1993, 1999b). Esta situação pode ser observada na tabela, para acerola e cajá. Uma exceção é a goiaba de polpa vermelha, na qual o licopeno se concentra na polpa.

A composição em carotenóides também pode ser influenciada pelas práticas agrícolas. Por exemplo, couve produzida por técnicas de cultura orgânica mostra concentrações mais elevadas em todo seu perfil de carotenóides quando comparada com couve, da mesma cultivar, produzida em horta convencional adjacente, onde são utilizados agroquímicos. No entanto, nenhuma diferença significativa foi observada entre alface produzida por técnicas convencionais e alface da mesma cultivar produzida por hidroponia.

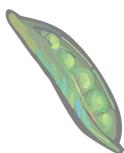
Na tabela podem ser observados valores sensivelmente mais baixos para produtos cozidos domesticamente e processados industrialmente, com

relação às matérias-primas. Oxidação catalisada por enzimas pode ocorrer em verduras minimamente processadas e em frutas congeladas não branqueadas como nas polpas de acerola e pitanga congeladas. Oxidação não enzimática pode ser percebida em alimentos cozidos (brócolis, escarola, vagem, couve, cenoura) e processados (acerola, caju, goiaba, manga, pêssego, pitanga, tomate e cenoura), mesmo havendo perda de água em alguns casos, concentrando os carotenóides.

Fontes Brasileiras Ricas em Carotenóides

Levando em consideração somente os alimentos que contêm mais de 20 µg/g de carotenóides importantes para a saúde, as fontes ricas em carotenóides são discutidas a seguir.

As frutas palmáceas buriti, tucumã, bocaiúva, bacuri e umari (mari) são ricas fontes de β-caroteno, sendo que o buriti é o produto alimentar detentor da maior concentração conhecida de β-caroteno dentro da vasta gama já analisada de alimentos brasileiros. Considerando que os lipídeos na dieta estimulam a absorção intestinal dos carotenóides, os frutos de palmas podem proporcionar a vantagem adicional de possuírem elevada biodisponibilidade destes compostos.



As frutas não palmáceas melão de polpa amarela e a altamente rica em vitamina C acerola, são também boas fontes de β -caroteno. O β -caroteno é, também, o principal carotenóide do caju amarelo e vermelho, da nêspera e do marolo, embora esteja presente em baixos níveis nessas frutas.

A batata doce é uma importante fonte de β -caroteno em muitos países, especialmente na África. No Brasil, entretanto, esse tubérculo não é tão popular e as variedades comercializadas são usualmente brancas, ou seja, de baixo conteúdo em carotenóides. Um estudo mostrou que variedades ricas em β -caroteno, tais como a 'Heart Gold' e 'Acadian' podem ser produzidas (Almeida-Muradian e Penteado, 1992), e uma cultivar de coloração alaranjada já pode ser encontrada no mercado.

A mandioca, que é um alimento muito consumido no Brasil, também contém níveis muito baixos de β -caroteno. A análise de cinco cultivares de mandioca, produzidos no estado de São Paulo, mostrou conteúdos na faixa de 0,1 a 0,6 $\mu\text{g/g}$ de *trans*- β -caroteno (Penteado e Almeida, 1988). A mandioquinha, outro tubérculo, também apresenta baixos níveis de β -caroteno (Tabela 1).

O α -caroteno, algumas vezes, acompanha o β -caroteno, geralmente em concentrações menores. As fontes alimentares desses dois componentes são buriti, abóboras *Cucurbita moschata*, cenoura e o azeite de dendê vermelho. Além de apresentar o maior teor de β -caroteno, o buriti também possui quantidades substanciais de α -caroteno e γ -caroteno, além de zeaxantina. Moranga e abóbora são vegetais de fácil produção e estão disponíveis em abundância o ano todo. Esses produtos podem ainda ser consumidos em diferentes graus de maturação e podem ser preservados intactos durante meses mesmo à temperatura ambiente. A sua longa vida de prateleira, entretanto, resulta numa maior variabilidade da composição em carotenóides. O azeite de dendê tem sido tradicionalmente parte essencial da cozinha baiana e seu uso tem sido disseminado pelo país inteiro devido à popularidade das receitas nordestinas. Azeites das espécies *Elaeis guineensis* 'dura dumpy', 'psifera' e 'tenera' e *Elaeis oleifera* contêm, respectivamente, 296, 18, 164 e 425 $\mu\text{g/g}$ de *trans*- α -caroteno e 576, 202, 363 e 1026 $\mu\text{g/g}$ de *trans*- β -caroteno (Trujillo-Quijano *et al.*, 1990).

β -Criptoxantina é o principal carotenóide de muitas frutas de polpa alaranjada, tais como cajá, nectarina, mamão amarelo, laranja, pêssego e ta-



marilho (tomate arbóreo), embora em níveis abaixo dos 20µg/g. Pêssego e nectarina são praticamente as únicas frutas que contêm quantidades apreciáveis de carotenóides nas regiões frias, onde as antocianinas predominam como pigmentos das frutas.

Ao contrário do observado com os carotenos precursores, constata-se que a luteína (derivado di-hidroxilado do α -caroteno) encontra-se em quantidades expressivamente mais elevadas nos tecidos vegetais do que a zeaxantina, que é derivado di-hidroxilado do β -caroteno. Considerando que os precursores β -caroteno e β -criptoxantina são carotenóides majoritários em muitos alimentos e que a zeaxantina formada está sujeita à epoxidação até anteraxantina e, especialmente, violaxantina (Figura 2), a limitada ocorrência de zeaxantina é compreensível.

Algumas variedades de *Cucurbita maxima* são boas fontes de luteína e β -caroteno. No Brasil, há também uma ampla variedade de verduras folhosas ricas nestes dois carotenóides de reconhecida importância na saúde. As folhas são também fontes de violaxantina. A luteína está presente em altas concentrações nas pétalas comestíveis da flor do nastúrtio ou capuchinha.

Enquanto o tomate e seus produtos constituem a única fonte de licopeno em muitos países, o Brasil pode se vangloriar de possuir ainda o mamão vermelho, a goiaba vermelha e a pitanga, além da conhecida melancia. O mamão é uma importante fonte porque está disponível o ano inteiro e goza de ampla aceitabilidade. A pitanga, por sua vez, é notável por possuir o maior teor de licopeno, além de quantidades substanciais de β -criptoxantina, γ -caroteno e rubixantina.

Embora as implicações da violaxantina na saúde ainda não tenham sido demonstradas, esse carotenóide foi introduzido na tabela por estar largamente distribuído e representar o carotenóide principal de alguns alimentos, como, por exemplo, mangas 'Haden' e 'Tommy Atkins', abricó e pimentão amarelo. Tendo em conta que a violaxantina é um carotenóide que pode ser facilmente perdido durante a análise, ela aparentemente tem sido subestimada em muitos alimentos. Foi provado, apenas em época relativamente recente, que o carotenóide principal da manga é a violaxantina e não o β -caroteno, como havia sido considerado por muito tempo.



Analisando outros alimentos, encontramos outros carotenóides predominantes, tais como o ζ -caroteno em maracujá, δ -caroteno em pupunha e zeaxantina em pequi.

Biodiversidade

Existe uma iniciativa internacional multidisciplinar que reconhece o papel essencial da biodiversidade e promove o seu uso sustentável, como meio de alcançar a segurança alimentar e a segurança nutricional das populações, contribuindo para o cumprimento do *Millenium Development Goals* (CBD 2005, deliberação VII/32, §7). Esta iniciativa contraria a simplificação de dietas, sistemas agroalimentares e ecossistemas, além de evitar a erosão das culturas alimentares. Com o objetivo de promover a utilização dos produtos indígenas, é necessário que a sua composição seja conhecida, especialmente em termos de nutrientes e substâncias bioativas com propriedades promotoras da saúde.

Muitos dos alimentos citados na Tabela não são encontrados nas bases de dados americana nem europeia (Holden *et al.*, 1999; O'Neill *et al.*, 2001), justamente por serem produtos brasileiros indígenas. O Brasil possui ampla diversidade de frutas selvagens ou semicultivadas, tais com bacuri,

bocaiúva, buriti, cajá, abricó, tucumã e umari, todas, altamente carotenogênicas. Algumas folhas nativas ou não cultivadas, particularmente, do gênero *Amaranthus* e *Hibiscus*, têm demonstrado conter quantidades de carotenóides sensivelmente mais elevadas do que as verduras folhosas produzidas comercialmente. O mesmo pode ser observado com relação às cultivares autenticamente brasileiras de abóbora *Cucurbita moschata*, 'Menina Brasileira' e 'Baianinha', que possuem teores mais elevados de carotenóides do que um híbrido importado do Japão.

Em anos recentes, os agricultores têm adotado uma atitude mais consciente sobre o conteúdo de nutrientes dos seus produtos. Acerola e pitanga, por exemplo, que costumeiramente eram frutas de quintal, são produzidas e processadas agora comercialmente. Portanto, considera-se que o momento seja propício para fomentar a aplicação da biodiversidade em benefício da segurança alimentar e nutricional da população.





Tabela de Car



Tabela Brasileira de Composição de Carotenóides em Alimentos

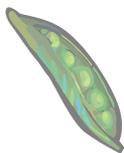


Tabela 1. Composição de carotenóides ($\mu\text{g/g}$) e equivalentes de vitamina A ($\mu\text{gRAE}/100\text{g}$) em alimentos brasileiros.

Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e	
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina			violaxantina
Fruta											
Abricó (<i>Mammea americana</i>)	MA	5		15 14 (E)						190 ^f	1
Acerola (<i>Malpighia glabra</i>)	SP	4	tr	4,0	0,5		nq			35	2
Acerola	PE	18	0,1	26	3,6		nq			232	2
Acerola	CE	4	tr	22	2,1		nq			192	2
Acerola, quintal, parcialmente maduro	SP	5	0,5	5,4	0,5		1,6			49	3
Acerola, quintal, maduro	SP	5	1,1	12	1,1		1,3			109	3
Acerola, quintal, maduro, sem casca	SP	5	0,7	8,8	0,8		1,2			80	3
Acerola 'Olivier', parcialmente maduro	SP	3	0,3	12	0,3		0,7			102	3
Acerola 'Olivier', maduro	SP	3	0,7	38	1,2		1,1			325	3
Acerola 'Olivier', maduro, sem casca	SP	3	0,4	30	1,1		0,7			256	3



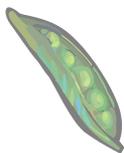
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Acerola 'Waldy Cati 30'	SP	3	0,2	6,2	0,5	1,0	tr	tr	55 ^f	4
Acerola, polpa, congelada, 4 marcas		17	0,3	11	0,7	0,9	0,1		96	3
Acerola, suco, garrafa, 3 marcas		13	0,4	7,5	0,9	0,5	tr		68	3
Bacuri (<i>Scheelea phalerata</i>)	MS	5	17						166 ^f	5
Bocaiúva / macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>)	MS	5	59	4,4	1,7				510	6
Buriti (<i>Mauritia vinifera</i>)	PI	5	82 80 (E)	364 360 (E)			20 (E)		3531 ^f	7
Cajá (<i>Spondias lutea</i>)	PE	4	0,9	1,6	17	0,4			88 ^f	8
Cajá, sem casca	PE	1	2,1	2,6	8,3	2,0			65 ^f	8
Cajá	RN	5	0,3 (E)	1,4 (E)	17 (E)	nq			84	1
Cajá, polpa, congelada, 3 marcas		12	1,1 (E)	2,0 (E)	7 (E)	5,6			53	9
Cajá, suco, garrafa		5	1,1 (E)	1,4 (E)	5,5 (E)	3,5			42	9
Caju, alongado, vermelho	SP	5	0,5	0,9	0,2	0,1			9	10
				0,7 (E)	0,1 (E)					



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Caju, alongado, vermelho	PI	5	0,3	0,8	0,7				10	10
				0,7 (E)	0,6 (E)					
Caju, alongado, amarelo	SP	5	0,3	0,5		0,1			5	10
				0,4 (E)	0,1 (E)					
Caju, alongado, amarelo	PI	5	0,2	0,6	0,6	tr	tr	0,1	8	10
				0,5 (E)	0,5 (E)					
Caju, redondo, vermelho	PI	5	0,1	0,2	0,7	tr	tr	0,1	5	10
				0,2 (E)	0,6 (E)					
Caju, polpa, congelada, frozen, 4 marcas		20	0,3	1,0	0,5	tr			11	11
				0,8 (E)	0,4 (E)					
Caju, suco, garrafa, 2 marcas		6	tr	0,8	0,5				8	12
				0,7 (E)						
Caju, suco, concentrado, 5 marcas		25	0,1	0,6		tr			5	11
				0,5 (E)	0,1 (E)					
Caju, suco, concentrado, adoçado, 1 marca		5	tr	0,1 (E)	0,1 (E)	tr			1	11
Caju, suco, pronto para beber, 1 marca		5	tr	0,1 (E)	tr (E)	tr			1	11



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóides ^c					RAE ^d	Ref ^e		
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína			zeaxantina	violaxantina
Camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>)	SP	6		1,1	0,1		3,8 (E)	0,3	0,6	9 ^f	13
Goiaba (<i>Psidium guajava</i>)	PE	3		12		53				100	14
Goiaba	RJ	7		4,2		53				35	15
Goiaba 'IAC-4', com casca	SP	4		3,7		53				31	14
Goiaba 'IAC-4', sem casca	SP	2		5,0		57				42	14
Goiaba 'Ogawa'	SP	5		2,3		57				19	16
Goiaba 'Paluma'	SP	5		4,3		66				36	16
Goiaba, geléia	RJ	4		1,1		16				9	15
Goiaba, goiabada, 3 marcas		15		5,0		69				42	16
Goiaba, polpa, congelada, 3 marcas		15		3,6		51				30	16
Goiaba, suco, garrafa, 3 marcas		15		2,9		46				24	16
Laranja (<i>Citrus sinensis</i>)											
'Hamlin', suco extraído domesticamente (µg/ml)	SP	3	tr	tr	tr		0,1	0,2		-	17
Laranja, 'Natal', suco, extraído domesticamente (µg/ml)	SP	4	tr	tr	tr		0,1	0,1		-	17



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c							RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina	violaxantina		
Laranja 'Pera Rio', suco extraído domesticamente ($\mu\text{g/ml}$)	SP	5	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4		1	17	
Laranja 'Valência', suco extraído domesticamente ($\mu\text{g/ml}$)	SP	3	0,1	tr	tr	0,1	0,1		1	17	
Laranja, suco, marcas comerciais ($\mu\text{g/ml}$)	SP	14	tr	tr	0,1	0,1	0,1		1	17	
Laranja, suco, concentrado, congelado, diluído a 12 Brix	SP	3	tr	0,1	0,1	0,1	0,3		1	17	
Laranja 'Valência', suco, extraído industrialmente ($\mu\text{g/ml}$)	SP	5	0,9	0,9	2,5	2,5	2,1	1,3	21	18	
Mamão (<i>Carica papaya</i>), amarelo	SP	5	1,2	8,1					44	19	
Mamão 'Formosa'	RJ,SP	17	1,3	6,4	21				54 ^f	15,19, 20	
Mamão 'Formosa'	BA	5	6,1	8,6	26				94 ^f	19	



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Mamão 'Golden'	ES	5		1,2 (E)	8,7	8,1 (E)	19		45	19
Mamão 'Solo'	SP	10		2,8	8,4	21			59 ^f	1,19
Mamão 'Sunrise'	BA	5		1,2 (E)	8,2	24			43	20
Mamão 'Tailandia'	SP	10		2,4	9,8	40			70 ^f	1,19
Mamão, cristalizado	RJ	3		7,5	20	80			146	15
Manga (<i>Mangifera indica</i>)	RJ	13		15					125	15
Manga 'Bourbon'	SP	5		8,1					69 ^f	21
Manga 'Extreme'	SP	5		25					215 ^f	21
Manga 'Golden'	SP	5		18					153 ^f	21
Manga 'Haden'	SP	10		9,6					81 ^f	1,21
Manga 'Keitt', parcialmente madura	SP	3		4,2 (E)	tr	tr (E)	15		35	22
Manga 'Keitt', madura	SP	3		6,7 (E)	0,2	0,2 (E)	11 (E)		57	22
Manga 'Keitt', madura	BA	3		15 (E)	0,4	0,3 (E)	25		126	22
Manga 'Tommy Atkins', parcialmente madura	SP	3		4,0 (E)	0,2	0,1 (E)	18 (E)		34	22



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e	
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina			violaxantina
Manga 'Tommy Atkins', madura	SP	3		5,8 (E)	0,3 (E)	0,4		0,4 (E)	36	50	22
Manga 'Tommy Atkins', madura	MS	10		14					ex	118 ^f	1,21
Manga, suco, garrafa, 3 marcas		8		8,6	0,2					73	22
Maracujá (<i>Passiflora edulis</i>)	SP	10		6,1 (E)	1,4					57	1,24
Maracujá, suco, garrafa, 2 marcas		6	tr	1,7	tr					14	25
Marolo (<i>Annona coriacea</i>), yellow variety	MG	5	0,6	7,0	0,1		0,7		0,1	61 ^f	26
Melancia (<i>Citrullus lanatus</i>) 'Crimson Sweet'	SP	5		4,7 (E)			36 (E)			39	27
Melancia 'Crimson Sweet'	GO	5		2,6 (E)			35 (E)			22	27
Melão (<i>Cucumis melo</i>) 'Amarelo'	BA, CE, RN	5		0,1			tr		tr	1	28
Melão 'Caipira'	SP	5	0,1	22						184	28
Melão 'Cantaloupe'	RN, CE	5	0,1	20						167	28



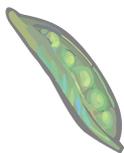
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóides ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Melão 'Charantais'	RN, CE	5	0,9	40					337	28
Melão 'Gália'	CE, RN	5	tr	0,2	tr	tr	tr	tr	2	28
Melão 'Orange Flesh'	BA, CE, RN	5	0,1	18					150	28
Melão 'Pele de Sapo'	BA, CE, RN	5	0,1	tr	tr	tr	tr	tr	1	28
Nectarina (<i>Prunus persica</i> var. <i>nectarina</i>)	SP	5	1,2	4,2	1,1	1,6	0,8		26	29
Nêspera (<i>Eriobotrya japonica</i>)	SP	6	7,8 (E)	4,8 (E)			ex		88 ^f	30
Pajurá (<i>Couepia bracteosa</i>)	AM	6	0,8	17	0,5				143	31
Pêssego 'Coral' (<i>Prunus persica</i>)	SP	5	tr	0,2	0,1 (E)		tr		1	20
Pêssego 'Diamante'	SP	10	0,7	5,4			0,1		27	1,20
Pêssego 'Rei da Conserva'	SP	3	3,3	7,5					47	32
Pêssego 'Xiripá'	RS	5	0,1 (E)	0,1 (E)			tr		1	20



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e	
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina			violaxantina
Pêssego chileno		5		1,5	5,4					33	1
				1,2 (E)	5,1 (E)						
Pêssego, em calda		3		1,0	2,5		0,6	0,8		19	32
Pêssego, suco, garrafa		3		0,9	1,6		1,3	0,4		14	32
Piqui (<i>Caryocar brasiliense</i>), polpa	PI	5		1,2	4,8					30	1
				0,1 (E)	1,2 (E)	4,4 (E)					
Piquiá (<i>Caryocar villosum</i>)	AM	6		20	0,6					172 ^f	31
Pitanga (<i>Eugenia uniflora</i>), parcialmente madura	SP	5				38				43	33
				1,4 (E)	7,6 (E)	34 (E)	3,1 (E)	3,9 (E)			
Pitanga, parcialmente madura	PR	5				7,4				41	33
				1,4 (E)	7,0 (E)	7,0 (E)	2,5 (E)	3,0 (E)			
Pitanga, madura	SP	10				76				78 ^f	1,33
				3,5 (E)	12 (E)	71 (E)	1,2 (E)	2,3 (E)			
Pitanga, madura	PR	5				15				76	33
				2,6 (E)	13 (E)	14 (E)	1,7 (E)	2,1 (E)			
Pitanga, quintal	PE	6		12	49	74				552 ^f	2
Pitanga, plantação comercial	PE	6		8,1	45	72				464 ^f	2



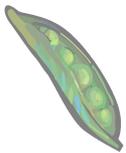
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c					RAE ^d	Ref ^e	
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína			zeaxantina
Pitanga, feira livre	PE	6		8,2	47	74			470 ^f	2
Pitanga, suco, garrafa, 2 marcas		3		1,7 (E)	8,1 (E)	24 (E)	0,6 (E)		48 ^g	33
Pitanga, polpa, congelada		3		3,8 (E)	12 (E)	17 (E)	1,0 (E)		82 ^g	33
Pupunha, fruto cozido (<i>Bactris gasipaes</i>)	AM	5	3,2	22					197 ^f	35
Tamarilho ou tomate arbóreo (<i>Cyphomandra betacea</i>)	SP	3		7,9	14	1,7	0,6		124	34
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	AM	11	2,5	99					844 ^f	31,35
Umari ou mari (<i>Poraqueiba sericea</i>)	AM	6	2,7	99					842 ^f	31
Vegetais frutos										
Abóbora 'Baianinha' (<i>Cucurbita moschata</i>), sem casca	BA	3	47 (E)	235 (E)		8,6		tr (E)	2165 ^f	36
Abóbora Cabotiã 'Híbrido Tetsukabuto', sem casca	SP	5	0,2 (E)	22 (E)	9,3 (E)	38 (E)	1,3 (E)	1,3 (Z)	223 ^f	37,38



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Abóbora 'Goianinha' (<i>Cucurbita moschata</i>), sem casca	SP	5	24 (E)	57 (E)		18 (E)		tr	575 ^f	38
Abobrinha italiana 'Caserta' (<i>Cucurbita pepo</i>)	SP	5		1,4 (E)		4,6 (E)		0,1 (Z)	13 ^f	37
Abóbora 'Jerimum caboclo' (<i>Cucurbita maxima</i>), sem casca	PE	3	0,4 (E)	21 (E)		47 (E)		tr (E)	188 ^f	36
Abobrinha 'Menina' (<i>Cucurbita moschata</i>), imatura, com casca	SP	5	0,1 (E)	1,5 (E)		3,0 (E)		tr (E)	14	37
Abóbora 'Menina', madura, sem casca	SP	10	25 (E)	53 (E)		10 (E)		0,7 (E)	554 ^f	37,38
Abóbora 'Menina'	SP	5	17	24		nq		nq	271 ^f	39
Abóbora 'Menina', cozida 10 min	SP	5	17 (E)	24 (E)		nq		nq	248 ^f	39
Abóbora 'Menina', refogada 10 min	SP	5	16 (E)	21 (E)		nq		nq	253 ^f	39



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóides ^c					RAE ^d	Ref ^e	
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína			zeaxantina
Abóbora 'Mogango' (<i>Cucurbita pepo</i>), sem casca	SP	5		5,4 (E)		9,8 (E)		6,9 (E)	45	38
Abóbora Moranga						13				
'Exposição' (<i>Cucurbita maxima</i>), sem casca	SP	10	0,1 (E)	16 (E)	0,3 (E)	10 (E)	2,4 (E)	15 (E)	139 ^f	37,38
Berinjela (<i>Solanum melongena</i>)	SP	5		1,5 1,4 (E)					12	39
Berinjela, cozida 3 min	SP	5		1,9 1,4 (E)					13	39
Pimentão (<i>Capsicum annuum</i>) verde	SP	10		2,5 2,4 (E)		7,7 (E)		4,6 (E)	23	39,40
Pimentão amarelo, híbrido F1 Amanda	SP	5		2,3 (E)		7,8 (E)		31 (E)	20	41
Pimentão vermelho, híbrido F1 Magali	SP	5		5,8 (E)		7,5 (E)		2,7 (E)	48	41
Tomate 'Carmen' (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	SP	6		3,2 (E)		35 (E)	1,0 (E)		27	40
Tomate 'Marglobe'	SP	5		6,2 (E)		nq			52 ^f	39
Tomate 'Santa Cruz'	SP	15		5,1 (E)		34 31 (E)			45 ^f	39,42



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Tomate, catchup, 3 marcas		15		5,9 4,7 (E)		155 148 (E)			44	43
Tomate, extrato concentrado, em lata, 3 marcas		15		11 8,5 (E)		235 224			83	43
Tomate, molho pronto, em lata, 3 marcas		15		5,6 3,5 (E)		100 91 (E)			38	43
Tomate, polpa, embalagem cartonada, 3 marcas		15		5,4 3,8 (E)		93 88 (E)			38	43
Tomate, purê, embalagem cartonada, 2 marcas		5		5,9 4,0 (E)		120 110 (E)			41	42
Tomate, purê, vidro, 2 marcas		6		6,1 5,2 (E)		174 164 (E)			50	42
Tomate, purê, em lata, 2 marcas		6		6,3 4,2 (E)		106 94 (E)			44	42
Tomate seco		3		33 27 (E)		491 461 (E)			250	43



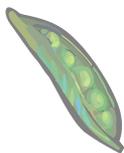
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóides ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Tomate, suco, garrafa, 1 marca	3		2,0 (E)		69				17	42
Vegetais folhosos verdes										
Agrião (<i>Nasturtium officinale</i>)	SP	21	30			ex, nq			229	39,40, 44,45
Agrião, hidropônico	SP	10	40 (E)			68 (E)		26 (E)	333	46,47
Alecrim (<i>Rosmarinus officinalis</i>), hidropônico	SP	5	19 (E)			10 (E)		22 (E)	158	46
Alface (<i>Lactuca sativa</i>) lisa	SP	10	22			14		15	184	40,46
Alface lisa, hidropônico	SP	10	22 (E)			21 (E)		19 (E)	184	46,47
Alface crespa	SP	19	14 (E)			14 (E)		19 (E)	117	40,44
Alface crespa, hidropônico	SP	10	21 (E)			14 (E)		12 (E)	175	46,47
Alface 'Freelice', hidropônico	SP	5	9,9 (E)			10 (E)		8,1 (E)	83	47
Alface francesa, hidropônico	SP	5	25 (E)			23 (E)		20 (E)	208	47
Alfafa (<i>Medicago sativa</i>), hidropônico	SP	5	9 (E)			16 (E)		3,6 (E)	75	46
Almeirão (<i>Cichorium intybus</i>)	SP	16	34 (E)			54 (E)		32 (E)	283	40,44
Almeirão, hidropônico	SP	5	36 (E)			57 (E)		21 (E)	300	47



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Beldroega (<i>Portulaca oleracea</i>)	SP	10		31 (E)		34 (E)		22 (E)	258	48,49
Brócolis (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>italica</i>)	SP	4		21 18 (E)		nq		nq	161	39
Brócolis, cozido 10 min	SP	4		16 15 (E)		nq		nq	131	39
Brócolis, cozido, 5 restaurantes	SP	15		19 (E)		35 (E)		5,3 (E)	158	50
Brócolis, refogado, 2 restaurantes	SP	10		16 (E)		33 (E)		4,6 (E)	133	50
Brócolis, congelado, importado da França		5		5,0 (E)		8,7 (E)		2,0 (E)	42	51
Brócolis, congelado, 3 marcas		15		4,6 (E)		7,4 (E)		1,5 (E)	38	51
Capuchinha (<i>Tropaeolum majus</i>), folha	SP	6		69 (E)		136 (E)		74 (E)	575	52
Caruru (<i>Amaranthus viridis</i>)	SP	10	4,7 (E)	112 (E)		119 (E)		62 (E)	953	48,49



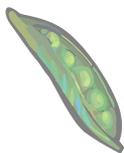
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c					RAE ^d	Ref ^e	
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína			zeaxantina
Cebolinha + salsa, minimamente processado, verão	SP	5		88 (E)		110 (E)		50 (E)	733	53
Cebolinha + salsa, minimamente processado, inverno	SP	5		42 (E)		82 (E)		23 (E)	350	53
cenoura (<i>Daucus carota</i>) 'Beta 3', folha	SP	12	8,0	20		nq		nq	200	54
cenoura 'Beta 3', folha, cozida 10 min	SP	10	6,2	19		nq		nq	184	54
cenoura 'Beta 3', folha, cozida em micro-ondas 7 min	SP	11	7,8	21		nq		nq	208	54
cenoura 'Brasília', folha	SP	12	2,1	27		nq		nq	234	54
cenoura 'Brasília', folha, cozida 10 min	SP	11	1,6	26		nq		nq	223	54
cenoura 'Brasília', folha, cozida em micro-ondas 7 min	SP	10	2,3	33		nq		nq	285	54
Coentro (<i>Coriandrum sativum</i>)	SP	10		51 (E)		74 (E)		37 (E)	425	44,49



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
Couve (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>)	SP	15		34		nq		nq	248	39,44
				26 (E)						
Couve 'Manteiga', verão	SP	10		38		nq	1	nq	317	55
Couve 'Manteiga', orgânico, verão	SP	10		44		nq	2	nq	367	55
Couve 'Manteiga', orgânico, inverno	SP	10		54		nq	3	nq	450	55
Couve 'Manteiga', folhas novas	SP	5		35 (E)		46 (E)		40 (E)	292	56
Couve 'Manteiga', folhas maduras	SP	5		41 (E)		50 (E)		30 (E)	342	56
Couve 'Manteiga', minimamente processado, verão	SP	5		34 (E)		52 (E)		27 (E)	283	56
Couve 'Manteiga', minimamente processado, inverno	SP	5		33 (E)		44 (E)		17 (E)	275	56
Couve 'Tronchuda', orgânico, verão	SP	10		57		nq	2	nq	475	55



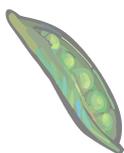
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóides ^c					RAE ^d	Ref ^e	
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína			zeaxantina
Couve 'Tronchuda', orgânico, inverno	SP	10		60		nq	2	nq	500	55
Couve, refogada, 3 restaurantes	SP	15		23 (E)		32 (E)		5,6 (E)	192	50
Couve, picada, congelada, 1 marca	SP	6		33 (E)		38 (E)		11 (E)	275	51
Couve chinesa (<i>Brassica chinensis</i>)	SP	5		1.0		ex		nq	8	44
Couve-flor (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrytis</i>), folhas	SP	5		19		34		2,9	158	45
Escarola (<i>Cichorium endivia</i>)	SP	8		17		ex		nq	142	44
Escarola 'Full Heart', crua	SP	5		22 18 (E)		34		2,8	165	57
Escarola 'Full Heart', cozida 10 min	SP	5		19 14 (E)		31		tr	138	57
Escarola 'Full Heart', cozida em micro-ondas 6 min	SP	5		12 8,5 (E)		17		tr	84	57



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e	
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina			violaxantina
Escarola 'Valdena', crua	SP	5		13 11 (E)			25		7,2	101	57
Escarola 'Valdena', cozida 10 min	SP	5		9,7 7,3 (E)			15		tr	71	57
Escarola 'Valdena', cozida em micro-ondas 6 min	SP	5		9,7 7,0 (E)			16		tr	70	57
Escarola, minimamente processada, verão	SP	5		31 (E)			43 (E)		23 (E)	258	53
Escarola, minimamente processada, inverno	SP	5		25 (E)			35 (E)		18 (E)	208	53
Escarola, refogada, restaurant	SP	5		12 (E)			23 (E)		6,8 (E)	100	50
Espinafre 'Nova Zelândia' (<i>Tetragonia expansa</i>)	SP	10		29 (E)			45 (E)		32 (E)	242	45,46
Espinafre 'Nova Zelândia'	SP	5		30 25 (E)			nq		nq	229	39
Espinafre 'Nova Zelândia', cozida 3 min	SP	5		24 21 (E)			nq		nq	188	39



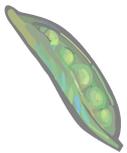
Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e	
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina			violaxantina
Espinafre 'Nova Zelândia', hidropônico	SP	5		34 (E)			40 (E)		30 (E)	283	46
Espinafre 'Nova Zelândia', minimamente processado, verão	SP	5		55 (E)			68 (E)		31 (E)	458	53
Espinafre 'Nova Zelândia', minimamente processado, inverno	SP	5		40 (E)			52 (E)		24 (E)	333	53
Espinafre (<i>Spinacia oleracea</i>), folha inteira, congelada, importada da Espanha		7		55 (E)			81 (E)		45 (E)	458	51
Espinafre, picada, congelada, importada da França		7		44 (E)			76 (E)		35 (E)	367	51
Hortelã (<i>Mentha piperita</i>)	SP	4		53			nq		nq	442	58
Hortelã, cozida 10min	SP	4		60			nq		nq	500	58
Hortelã, cozida em micro-ondas 7 min	SP	4		53			nq		nq	442	58
Hortelã	SP	5		84 (E)			75 (E)		13 (E)	700	46



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c							RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina	violaxantina		
Hortelã, hidropônico	SP	5		34 (E)			27 (E)		21 (E)	283	46
Manjerona (<i>Origanum majorana</i>)	SP	5		30 (E)			44 (E)		9 (E)	250	46
Manjerona, hidropônico	SP	5		23 (E)			18 (E)		30 (E)	192	46
Manjeriço (<i>Ocimum basilicum</i>)	SP	5		51 (E)			30 (E)		14 (E)	425	46
Manjeriço, hidropônico	SP	5		25 (E)			16 (E)		8 (E)	208	46
Mentruz (<i>Lepidium pseudodidymus</i>)	SP	10		91 (E)			111 (E)		58 (E)	758	48,49
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>), hidropônico	SP	5		21 (E)			17 (E)		18 (E)	175	46
Quiabo (<i>Hibiscus esculentus</i>)	SP	5		3,2 2,7 (E)			nq		nq	24	39
Quiabo, cozido 5 min	SP	5		2,1 1,8 (E)			nq		nq	16	39
Repolho (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>capitata</i>)	SP	5		0,8			ex		nq	3	44
Repolho, folhas internas	SP	10		0,4			ex		nq	2	59

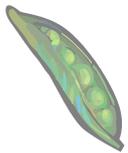


Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóides ^c					RAE ^d	Ref ^e	
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína			zeaxantina
Repolho, folha internas, cozido 10 min	SP	10		0,2		ex		nq	2	59
Repolho, folhas externas	SP	10		16		ex		nq	133	59
Repolho, folhas externas, cozido 10 min	SP	10		9,7		ex		nq	81	59
Repolho, folhas externas, cozido em micro-ondas 6 min	SP	10		10		ex		nq	83	59
Rúcula (<i>Eruca sativa</i>)	SP	25		38 (E)		63 (E)		32 (E)	317	40,44, 46
Rúcula, hidropônico	SP	10		36 (E)		50 (E)		22 (E)	300	46,47
Salsa (<i>Petroselinum crispum</i>)	SP	5		65 (E)		88 (E)		36 (E)	542	49
Salsa, hidropônico	SP	5		56 (E)		30 (E)		11 (E)	467	46
Salsão (<i>Apium graveolens</i>), folha	SP	4		55		nq		nq	458	58
Salsão, folha, cozida 10 min	SP	4		49		nq		nq	408	58
Salsão, folha, cozida em micro-ondas 7 min	SP	4		41		nq		nq	342	58



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c						RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina		
 Sálvia (<i>Salvia officinalis</i>), hidropônico	SP	5		22 (E)		17 (E)		20 (E)	183	46
 Serralha (<i>Sonchus oleraceus</i>)	SP	10		68 (E)		87 (E)		53 (E)	567	48,49
 Serralha	SP	4		82		nq		nq	683	58
 Serralha, cozida 10min	SP	4		65		nq		nq	542	58
 Serralha, cozida em micro-ondas 7 min	SP	4		66		nq		nq	550	58
 Taioba (<i>Xanthosoma sp</i>)	SP	10	7,1 (E)	66 (E)		104 (E)		38 (E)	580	48,49
 Tomilho (<i>Thymus vulgaris</i>), hidropônico	SP	5		23 (E)		18 (E)		9 (E)	192	46
 Vagem 'macarrão' (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	SP	5		1,7		nq		nq	13	39
 Vagem 'macarrão', cozida 5 min	SP	5	0,2 (E)	1,2 (E)		nq		nq	10	39
Vagem 'macarrão', cozida 5 min	SP	5	0,2 (E)	1,0 (E)		nq		nq	10	39
Vagem 'macarrão', refogada 8 min	SP	5		1,2		nq		nq	8	39
Vagem 'macarrão', refogada 8 min	SP	5		0,8 (E)		nq		nq	8	39
Vagem 'macarrão'	SP	12	0,2	0,7		nq		nq	7	60
Vagem 'macarrão', cozida 30 min	SP	12	0,2	0,9		nq		nq	8	60



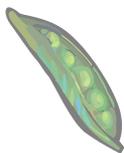


Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c							RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina	violaxantina		
Vagem 'manteiga'	SP	12	0,1	1,7	nq	nq	nq	nq	15	60	
Vagem 'manteiga', cozida 30 min	SP	12	0,1	1,8	nq	nq	nq	nq	15	60	
Vagem, cozida, 3 restaurantes	SP	15		1,6 (E)	2,5 (E)	tr			13	50	
Vagem, refogada, 3 restaurantes	SP	15		1,8 (E)	2,7 (E)	tr			15	50	
Vagem, congelada, marca G	RS	5		1,6 (E)	2,0 (E)	0,3 (E)			13	51	
Raízes											
Cenoura (<i>Daucus carota</i>), crua	SP	7	22	34	nq				375	61	
Cenoura, cozida 10 min	SP	7	19	29	nq				321	61	
Cenoura 'Beta' 3, crua	SP	5	9,8	18	nq				191	54	
Cenoura 'Beta' 3, cozida 10 min	SP	5	8,0	12	nq				133	54	
Cenoura 'Beta' 3, cozida em micro-ondas 7 min	SP	4	4,5	17	nq				160	54	
Cenoura 'Brasília', crua	SP	3	17	28	nq				304	54	
Cenoura 'Brasília', cozida 10 min	SP	5	12	22	nq				233	54	

Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c							RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina	violaxantina		
Cenoura 'Brasília', cozida em micro-ondas 7 min	SP	3	18	28	nq					308	54
Cenoura 'IAC'	SP	7	21	46	nq					471	61
Cenoura 'Imperador', crua	SP	5	19 (E)	38 (E)	nq					396	39
Cenoura 'Imperador', cozida 8 min	SP	4	16	36	nq					368	39
Cenoura 'Nantes', crua	SP	5	16	33	nq					342	39
Cenoura 'Nantes', cozida 8 min	SP	4	13	30	nq					306	39
Cenoura 'Nantes'	SP	6	35 (E)	62 (E)	5,1 (E)					663	40
Cenoura baby, enlatado, importada da França		6	29 (E)	68 (E)	4,8 (E)					688	51
Cenoura baby, congelada, importada da França		7	34 (E)	81 (E)	4,9 (E)					817	51
Cenoura, cubos, enlatado, 2 marcas		10	36 (E)	50 (E)	4,2 (E)					567	51



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c					RAE ^d	Ref ^e
			α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	licopeno	luteína		
Mandioquinha (<i>Arracacia xanthorrhiza</i>)	SP	10	tr	0,8				7	62
Mandioquinha, cozida 10 min	SP	10	tr	0,6				5	62
Sementes e flores									
Capuchinha, flor amarela	SP	6	tr	tr	450 (E)	tr	tr	-	52
Capuchinha, flor alaranjada	SP	6	tr	tr	350 (E)	tr	tr	-	52
Couve-flor, flor	SP	5		0,1	0,2	0,1		1	45
Milho verde, cru	SP	5		2,6	0,6	4,3	4,0	16	63
				1,7 (E)	0,4 (E)	4,2 (E)	3,7 (E)		
Milho verde, cozido 20 min	SP	5		1,7	0,7	4,1	3,9	16	63
				1,7 (E)	0,4 (E)	3,3 (E)	3,6 (E)		
Milho, cereal matinal, 3 marcas		15		1,4	2,1	3,3	11	14	63
				0,8 (E)	1,7 (E)	2,4 (E)	8,2 (E)		
Milho, curau, pronto para comer	SP	5		0,5	0,2	0,9	2,5	4	63
				0,3 (E)	0,3 (E)	0,8 (E)	2,3 (E)		
Milho, farofa, pronta para comer	PR	5		0,5	0,8	3,1	4,4	5	63
				0,3 (E)	0,5 (E)	2,6 (E)	3,8 (E)		



Descrição	Proced ^a	N ^b	Carotenóide ^c							RAE ^d	Ref ^e
			α-caroteno	β-caroteno	β-criptoxantina	licopeno	luteína	zeaxantina	violaxantina		
Milho, pamonha	SP	5		0,9	0,4		1,6	3,1		5	63
			0,5 (E)	0,2 (E)		1,3 (E)	2,6 (E)				
Milho, polenta, cozida	PR	5		0,1		0,3	1,2			-	63
			01 (E)		0,3 (E)	1,2 (E)					
Milho, polenta, frita	PR	5		0,2		0,5	1,8			3	63
			0,2 (E)	0,2 (E)		0,5 (E)	1,6 (E)				
Milho, enlatado, 4 marcas		20		2,4	3,2		2,7	16		24	63
			1,4 (E)	2,7 (E)		1,7 (E)	13 (E)				
Milho, farinha grossa, 2 marcas		10		0,9	1,4		4,2	18		9	63
			0,6 (E)	0,9 (E)		3,2 (E)	5,9 (E)				
Milho, farinha pré-cozida, 2 marcas		10		1,0	1,7		5,5	8,5		10	63
			0,6 (E)	1,1 (E)		4,4 (E)	7,2 (E)				
Milho, fubá, 3 marcas		15		1,4	1,7		5,5	9,4		13	63
			0,8 (E)	1,3 (E)		4,7 (E)	8,0 (E)				

^a Procedência: AL= Alagoas, AM= Amazonas, BA= Bahia, CE= Ceará, ES= Espírito Santo, GO= Goiás, MA= Maranhão, MG= Minas Gerais, MS= Mato Grosso do Sul, PA= Pará, PE= Pernambuco, PI= Piauí, PR= Paraná, RJ= Rio de Janeiro, RN= Rio Grande do Norte, RS= Rio Grande do Sul; SP= São Paulo; ^b número de lotes analisados; ^c média; ^dRAE= equivalentes de atividade de retinol (12 µg de β-caroteno ou 24 µg de outras pró-vitaminas); ^e inclui outras pró-vitaminas; E = *trans*; Z= *cis*; tr = traços; ex = excluído; nq = não quantificado.



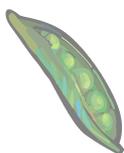
⁶Referências: ¹Godoy e Rodriguez-Amaya (1994), ²Cavalcante e Rodriguez-Amaya (1992), ³Porcu e Rodriguez-Amaya (2006), ⁴De Rosso e Mercadante (2005), ⁵Hiane *et al.* (2003), ⁶Hiane *et al.* (1989), ⁷Godoy e Rodriguez-Amaya (1995a), ⁸Rodriguez-Amaya e Kimura (1989), ⁹Hamano e Mercadante (2001), ¹⁰Assunção e Mercadante (2003a), ¹¹Assunção e Mercadante (2003b), ¹²Cecchi e Rodriguez-Amaya (1981a), ¹³Zanatta e Mercadante (2007), ¹⁴Padula e Rodriguez-Amaya (1986), ¹⁵Wilberg e Rodriguez-Amaya (1995), ¹⁶Rodriguez-Amaya *et al.* (2007), ¹⁷Pupin *et al.* (1999), ¹⁸Gama e Sylos (2005), ¹⁹Kimura *et al.* (1991), ²⁰Sentanin e Rodriguez-Amaya (2007), ²¹Godoy e Rodriguez-Amaya (1989), ²²Mercadante e Rodriguez-Amaya (1998), ²³Mercadante *et al.* (1997), ²⁴Silva e Mercadante (2002), ²⁵Cecchi e Rodriguez-Amaya (1981b), ²⁶Agostini *et al.* (1996), ²⁷Niizu e Rodriguez-Amaya (2003), ²⁸Casagrande e Kimura (2006), ²⁹Godoy e Rodriguez-Amaya (1998a), ³⁰Godoy e Rodriguez-Amaya (1995b), ³¹Marinho e Castro (2002), ³²Tavares (1991), ³³Porcu e Rodriguez-Amaya (2008), ³⁴Rodriguez-Amaya *et al.* (1983), ³⁵Rodriguez-Amaya (1999a), ³⁶Arima e Rodriguez-Amaya (1990), ³⁷Arima e Rodriguez-Amaya (1988), ³⁸Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2007), ³⁹Godoy e Rodriguez-Amaya (1998b), ⁴⁰Niizu e Rodriguez-Amaya (2005a), ⁴¹Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2003), ⁴²Tavares e Rodriguez-Amaya (1994), ⁴³Huber *et al.* (2004), ⁴⁴Ramos e Rodriguez-Amaya (1993), ⁴⁵Sant'Anna e Penteadó (1996), ⁴⁶Ninomia e Godoy (2008), ⁴⁷Kimura e Rodriguez-Amaya (2003), ⁴⁸Mercadante e Rodriguez-Amaya (1990), ⁴⁹Kobori e Rodriguez-Amaya (2008), ⁵⁰De Sá e Rodriguez-Amaya (2003), ⁵¹Tawata e Kimura (2004), ⁵²Niizu e Rodriguez-Amaya (2005b), ⁵³Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2005a), ⁵⁴Almeida-Muradian *et al.* (1997), ⁵⁵Mercadante e Rodriguez-Amaya (1991), ⁵⁶Azevedo-Meleiro e Rodriguez-Amaya (2005b), ⁵⁷Costa e Penteadó (1996), ⁵⁸Almeida-Muradian *et al.* (2000), ⁵⁹Almeida-Muradian *et al.* (1995), ⁶⁰Almeida-Muradian e Fiorini (1996), ⁶¹Almeida e Penteadó (1987a), ⁶²Almeida e Penteadó (1987b), ⁶³Oliveira e Rodriguez-Amaya (2007).

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, T. S.; CECCHI, H. M.; GODOY, H. T. Composição de carotenóides no marolo *in natura* e em produtos de preparo caseiro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 16, p. 67-71, 1996.
- ALMEIDA, L. B.; PENTEADO, M. V. C. Carotenóides com atividade pró-vitáminica A de cenouras (*Daucus carota* L.) comercializadas em São Paulo, Brasil. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 23, p. 133-141, 1987a.
- ALMEIDA, L. B.; PENTEADO, M. V. C. Carotenóides e valor pró-vitáminico A da mandioquinha (*Arracacia xanthorriza* Bancr.) consumida em São Paulo. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 23, p. 52-57, 1987b.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; FIORINI, F. Composição e valor pró-vitáminico A das vagens Macarrão e Manteiga, comercializadas em São Paulo, Brasil. **Semina**, v. 17, p. 49-52, 1996.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; FIORINI, F.; PENTEADO M. V. C. Provitamin A evaluation of external and internal leaves of cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 15, p. 108-111, 1995.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; PENTEADO, M. V. C. Carotenoids and provitamin A value of some Brazilian sweet potato cultivars (*Ipomoea batatas* Lam). **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 28, p. 145-154, 1992.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; POPP, V.; FARIAS, M. P. Provitamin A activity of Brazilian carrots: leaves and roots, raw and cooked and their chemical composition. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, p. 120-124, 1997.
- ALMEIDA-MURADIAN, L. B.; VANDERLINDE, D. W.; SASAKI, R. Provitamin A activity of raw and cooked Brazilian leaves. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 20, p. 151-153, 2000.



- ALVES-RODRIGUES, A.; SHAO, A. The science behind lutein. **Toxicology Letters**, v. 150, p. 57-83, 2004.
- ARAB, L.; STECK, S. Lycopene and cardiovascular disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 71, p. 1691S-1695S, 2000.
- ARIMA, H. K.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. **Journal of Micronutrient Analysis**, v. 4, p. 177-191, 1988.
- ARIMA, H. K.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of a squash and a pumpkin from Northeastern Brasil. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 40, p. 284-292, 1990.
- ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoids and ascorbic acid from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.): variety and geographic effects. **Food Chemistry**, v. 81, p. 495-502, 2003a.
- ASSUNÇÃO, R. B.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoids and ascorbic acid composition from commercial products of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 16, p. 647-657, 2003b.
- ASTORG, P. Food carotenoids and cancer prevention: An overview of current research. **Trends in Food Science & Technology**, v. 8, p. 406-413, 1997.
- ATBC (ALPHA-TOCOPHEROL, BETA-CAROTENE) CANCER PREVENTION STUDY GROUP. The effect of vitamin E and beta-carotene on the incidence of lung cancer and other cancers in smokers. **The New England Journal of Medicine**, v. 330, p. 1029-1035, 1994.
- AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Estudo da composição de carotenóides em pimentões. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DE ALIMENTOS, 5., 2003. Resumos ... Campinas, Brasil, 2003.



- AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Confirmation of the identity of the carotenoids of tropical fruits by HPLC-DAD and HPLC-MS. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 17, p. 385-396, 2004.
- AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoids of endive and New Zealand spinach as affected by maturity, season and minimal processing. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, p. 845-855, 2005a.
- AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of kale as influenced by maturity, season and minimal processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 85, p. 591-597, 2005b.
- AZEVEDO-MELEIRO, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Qualitative and quantitative differences in carotenoid composition among *Cucurbita moschata*, *C. maxima*, and *C. pepo*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 4027-4033, 2007.
- BECKER, E. M.; NISSEN, L. R.; SKIBSTED, L. H. Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects. **European Food Research and Technology**, v. 219, p. 561-571, 2004.
- BEN-AMOTZ, A.; LEVY, Y. Bioavailability of a natural mixture compared with synthetic all-*trans* β -carotene in human serum. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 63, p. 729-734, 1996.
- BEUTNER, S.; BLOEDORN, B.; FRIXEL, S.; BLANCO, I. H.; HOFFMANN, T.; MARTIN, H. D.; MAYER, B.; NOACK, P.; RUCK, C.; SCHMIDT, M.; SCHÜLKE, I.; SELL, S.; ERNST, H.; HAREMZA, S.; SEYBOLD, G.; SIES, H.; STAHL, W.; WALSH, R. Quantitative assessment of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: Carotenoids, flavonoids, phenols and indigoids. The role of β -carotene in antioxidant functions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, p. 559-568, 2001.



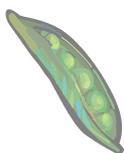
- BLOCK, G.; PATTERSON, B.; SUBAR, A. Fruit, vegetables, and cancer prevention: A review of the epidemiological evidence. **Nutrition and Cancer**, v. 18, p. 1-29, 1992.
- BOILEAU, T. W. M.; MOORE, A. C.; ERDMAN, J. W. JR. Carotenoids and vitamin A. In: PAPAS, A. M. (Ed.). **Antioxidant Status, Diet, Nutrition, and Health**. Boca Raton: CRC Press, 1998. p. 133-158.
- BOILEAU, A. C.; MERCHEN, N. R.; WASSON, K.; ATKINSON, C. A.; ERDMAN, J. W. JR. *Cis*-lycopene is more bioavailable than *trans*-lycopene in vitro and in vivo in lymph-cannulated ferrets. **The Journal of Nutrition**, v. 129, p. 1176-1181, 1999.
- BONE, R. A.; LANDRUM, J. T.; FERNANDEZ, L.; TARSIST, S. L. Analysis of the macular pigment by HPLC: Retinal distribution and age study. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 29, p. 843-849, 1988.
- BONE, R. A.; LANDRUM, J. T.; MAYNE, S. T.; GOMEZ, C. M.; TIBOR, S. E.; TWAROSKA, E. E. Macular pigment in donor eyes with and without AMD: A case-control study. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 42, p. 235-240, 2001.
- BRITTON, G. Carotenoids. **Methods in Plant Biochemistry**, v. 7, p. 473-518, 1991.
- CANFIELD, L. M.; KAMINSKY, R. G. Red palm oil in the maternal diet improves the vitamin A status of lactating mothers and their infants. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 21, p. 144-148, 2000.
- CARIG (CAROTENOID RESEARCH INTERACTIVE GROUP). Beta-carotene and the carotenoids: Beyond the intervention trials. **Nutrition Reviews**, v. 54, p. 185-188, 1996.
- CARVALHO, P. R. N.; COLLINS, C. H.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow column chromatography and reversed-phase high performance liquid chromatography. **Chromatographia**, v. 33, p. 133-137, 1992.



- CASAGRANDE, M. C. R.; KIMURA, M. Carotenoid composition of melon. In: WORLD CONGRESS OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY - IUFOST, 13., Nantes, França, 2006. p.1791-1792.
- CASTENMILLER, J. J. M.; WEST, C. E. Bioavailability and bioconversion of carotenoids. **Annual Review of Nutrition**, v. 18, p. 19-38, 1998.
- CASTENMILLER, J. J. M.; WEST, C. E.; LINSSEN, J. P. H.; VAN HET HOF, K. H.; VORAGEN, A. G. J. The food matrix of spinach is a limiting factor in determining the bioavailability of β -carotene and to a lesser extent of lutein in humans. **The Journal of Nutrition**, v. 129, p. 349-355, 1999.
- CAVALCANTE, M. L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of the tropical fruits *Eugenia uniflora* and *Malpighia glabra*. In: CHARALAMBOUS, G. (Ed.). **Food Science and Human Nutrition**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1992. p. 643-650.
- CBD (SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY). **Handbook of the Convention on Biological Diversity Including its Cartagena Protocol on Biosafety**, 3. ed. Montreal, 2005.
- CECCHI, H. M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of fresh and pasteurized cashew-apple (*Anacardium occidentale* L.) juice. **Journal of Food Science**, v. 46, p. 147-149, 1981a.
- CECCHI, H. M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenóides e valor de vitamina A em suco de maracujá processado. **Ciência e Cultura (SBPC)**, v. 33, p. 72-76, 1981b.
- CLINTON, S. K. Lycopene: Chemistry, biology, and implications for human health and disease. **Nutrition Reviews**, v. 56, p. 35-51, 1998.
- COSTA, M. A. L.; PENTEADO, M. V. C. Alterações decorrentes de dois tipos de cozimento sobre os teores de carotenóides pró-vitamínicos A em escarolas (*Cichorium endivia* L.). **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 32, p. 95-100, 1996.



- CRAFT, N. E. Carotenoid reversed-phase high-performance liquid chromatography methods: Reference compendium. **Methods in Enzymology**, v. 213, p. 185-205, 1992.
- CRAFT, N. E.; WISE, A. S.; SOARES, J. H. JR. Individual carotenoid content of SRM 1548 total diet and influence of storage temperature, lyophilization, and irradiation on dietary carotenoids. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 41, p. 208-213, 1993.
- DAVIES, B. H. Carotenoids. In: GOODWIN, T. W. (Ed.). **Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments**. 2. ed., v. 2. London: Academic Press, 1976. p 38-165.
- DE PEE, S.; WEST, C. E. Dietary carotenoids and their role in combatting vitamin A deficiency: A review of the literature. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 50, p. S38-S53, 1996.
- DE PEE, S.; WEST, C. E.; MUHILAL, KARYADI, D.; HAUTVAST, J. G. A. J. Lack of improvement in vitamin A status with increased consumption of dark-green leafy vegetables. **Lancet**, v. 345, p. 75-81, 1995.
- DE PEE, S.; WEST, C. E.; PERMAESIH, D.; MARTUTI, S.; MUHILAL, HAUTVAST, J. G. A. J. Orange fruit is more effective than are dark-green, leafy vegetables in increasing serum concentrations of retinol and β -carotene in schoolchildren in Indonesia. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, p. 1058-1067, 1998.
- DE ROSSO, V. V.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition of two Brazilian genotypes of acerola (*Malpighia puniceifolia* L.) from two harvests. **Food Research International**, v. 38, p. 1073-1077, 2005.
- DE SÁ, M. C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of cooked green vegetables from restaurants. **Food Chemistry**, v. 83, p. 595-600, 2003.



- DE SÁ, M. C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Optimization of HPLC quantification of carotenoids in cooked green vegetables – Comparison of analytical and calculated data. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 17, p. 37-51, 2004.
- DI MASCIO, P.; KAISER, S.; SIES, H. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 274, p. 532-538, 1989.
- DRAMMEH, B. S.; MARQUIS, G. S.; FUNKHOUSER, E.; BATES, C.; ETO, I.; STEPHENSEN, C. B. A randomized, 4-month mango and fat supplementation trial improved vitamin A status among young Gambian children. **The Journal of Nutrition**, v. 132, p. 3693-3699, 2002.
- EPLER, K. S.; SANDER, L. C.; ZIEGLER, R. G.; WISE, S. A.; CRAFT, N. E. Evaluation of reversed-phase liquid chromatographic columns for recovery and selectivity of selected carotenoids. **Journal of Chromatography**, v. 595, p. 89-101, 1992.
- EPLER, K. S.; ZEIGLER, R. G.; CRAFT, N. E. Liquid chromatographic method for the determination of carotenoids, retinoids and tocopherols in human serum and in foods. **Journal of Chromatography**, v. 619, p. 37-48, 1993.
- EDCC (EYE DISEASE CASE-CONTROL) STUDY GROUP. Antioxidant status and neovascular age-related macular degeneration. **Archives of Ophthalmology**, v. 111, p. 104-109, 1993.
- ERDMAN, J. W. JR.; BIERER, T. L.; GUGGER, E. T. Absorption and transport of carotenoids. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 691, p. 76-85, 1993.
- ERDMAN, J. W. JR.; THATCHER, A. J.; HOFMANN, N. E.; LEDERMAN, J. D.; BLOCK, S. S.; LEE, C. M.; MOKADY, S. All-*trans* β -carotene is absorbed preferentially to 9-*cis*- β -carotene, but the latter accumulates in the tissues of domestic ferrets (*Mustela putorius puro*). **The Journal of Nutrition**, v. 128, p. 2009-2013, 1998.



EUGSTER, C. H. Chemical derivatization: Microscale tests for the presence of common functional groups in carotenoids. In: BRITTON, G.; LIAAEN-JENSEN, S.; PFANDER, H. (Eds.). **Carotenoids Volume 1A: Isolation and Analysis**. Basel: Birkhäuser Verlag, 1995. p. 71-80.

FOOTE, C. S.; CHANG, Y. C.; DENNY, R. W. Chemistry of singlet oxygen. X. Carotenoid quenching parallels biological protection. **Journal of the American Chemical Society**, v. 92, p. 5216-5218, 1970.

GAMA, J. J. T.; SYLOS, C. M. Major carotenoid composition of Brazilian Valencia orange juice: Identification and quantification by HPLC. **Food Research International**, v. 38, p. 899-903, 2005.

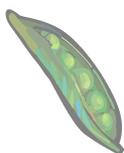
GARTNER, C.; STAHL, W.; SIES, H. Lycopene is more bioavailable from tomato paste than from fresh tomatoes. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 66, p. 116-122, 1997.

GAZIANO, J. M.; HENNEKENS, C. H. The role of beta-carotene in the prevention of cardiovascular disease. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 691, p. 148-155, 1993.

GAZIANO, J. M.; JOHNSON, E. J.; RUSSELL, R. M.; MANSON, J. E.; STAMPFER, M. J.; RIDKER, P. M.; FREI, B.; HENNEKENS, C. H.; KRINSKY, N. I. Discrimination in absorption or transport of β -carotene isomers after oral supplementation with either all-*trans*- or 9-*cis*- β -carotene. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 61, p. 1248-1252, 1995.

GERSTER, H. Y. The potential role of lycopene for human health. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 16, p. 109-126, 1997.

GIL, M. I.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; HESS-PIERCE, B.; KADER, A. A. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 4976-4982, 2002.



- GIOVANNUCCI, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: Review of the epidemiologic literature. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 91, p. 317-331, 1999.
- GIOVANNUCCI, E.; RIMM, E. B.; LIU, Y.; STAMPFER, M. J.; WILLET, W. C. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 94, p. 391-398, 2002.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of commercial mangoes from Brazil. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 22, p. 100-103, 1989.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Avaliação das metodologias para determinação de pró-vitamina A. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 29, p. 17-24, 1993.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Occurrence of *cis* isomers of provitamin A in Brazilian fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 42, p. 1306-1313, 1994.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Buriti (*Mauritia vinifera* Mart), uma fonte riquíssima de pró-vitamina A. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 38, p. 109-120, 1995a.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of Brazilian loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.). **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 45, p. 336-339, 1995b.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Composição de carotenóides em nectarina (*Prunus persica*) brasileira. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 57, p. 73-79, 1998a.
- GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Occurrence of *cis* isomers of provitamins A in Brazilian vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 3081-3086, 1998b.



GROSS, J. **Pigments in Fruits**. London: Academic Press, 1987.

GROSS, J. **Pigments in Vegetables. Chlorophylls and Carotenoids**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

HADLEY, C. W.; MILLER, E. C.; SCHWARTZ, S. J.; CLINTON, S. K. Tomatoes, lycopene, and prostate cancer: Progress and promise. **Experimental Biology and Medicine**, v. 227, p. 869-880, 2002.

HANDELMAN, G. J.; DRATZ, E. A.; REAY, C. C.; VAN KUJIK, F. J. G. M. Carotenoids in the human macula and whole retina. **Investigative Ophthalmology & Visual Science**, v. 29, p. 850-855, 1988.

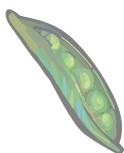
HAMANO, P. S.; MERCADANTE, A. Z. Composition of carotenoids from commercial products of cajá (*Spondias lutea*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, p. 335-343, 2001.

HART, D. J.; SCOTT, K. J. Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. **Food Chemistry**, v. 54, p. 101-111, 1995.

HASKELL, M. J.; JAMIL, K. M.; HASSAN, F.; PEERSON, J. M.; HOSSAIN, M. I.; FUCHS, G. J.; BROWN, K. H. Daily consumption of Indian spinach (*Basella alba*) or sweet potatoes has a positive effect on total-body vitamin A stores in Bangladesh men. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, p. 705-714, 2004.

HIANE, P. A.; BOGO, D.; RAMOS, M. I. L.; RAMOS-FILHO, M. M. Carotenóides pró-vitamínicos A e composição de ácidos graxos do fruto e da farinha do bacuri (*Scheelea phalerata* Mart.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. 206-209, 2003.

HIANE, P. A.; PENTEADO, M. V. C. Carotenóides e valores de vitamina A do fruto e da farinha de bocaiúva (*Acrocomia mokayáya Barb. Rodr.*) do Estado de Mato Grosso do Sul. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 25, p. 158-168, 1989.



HOLDEN, J. M.; ELDRIDGE, A. L.; BEECHER, G. R.; BUZZARD, I. M.; BHAGWAT, S.; DAVIS, C. S.; DOUGLASS, L. W.; GEBHARDT, S.; HAYTOWITZ, D.; SCHAKEL, S. Carotenoid content of U.S. foods: An update of the database. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 12, p. 169-196, 1999.

HUBER, L. S.; KOBORI, C. N.; KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Determination of the principal carotenoids of Brazilian tomato products by HPLC. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOODS AND BEVERAGES, 5., 2004. Resumos ... Sao Carlos, Brasil, 2004.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary Reference Intakes: Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc**. Washington DC: National Academy Press, 2001.

IUPAC. Protocol for the design, conduct and interpretation of method-performance studies. **Pure and Applied Chemistry**, v. 67, p. 331-343, 1995.

JALAL, F.; NESHEIM, M. C.; AGUS, Z.; SANJUR, D.; HABICHT, J. P. Serum retinol concentrations in children are affected by food sources of β -carotene, fat intake, and anthelmintic drug treatment. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 68, p. 623-629, 1998.

KHACHIK, F.; BEECHER, G. R.; WHITAKER, N. F. Separation, identification, and quantification of the major carotenoid and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by liquid chromatography. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 34, p. 603-616, 1986.

KHACHIK, F.; BEECHER, G. R.; VANDERSLICE, J. T.; FURROW, G. Liquid chromatographic artifacts and peak distortion: sample-solvent interactions in the separation of carotenoids. **Analytical Chemistry**, v. 60, p. 807-811, 1988.

KHACHIK, F.; CARVALHO, L.; BERNSTEIN, P. S.; MUIR, G. J.; ZHAO, D. Y.; KATZ, N. B. Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoids and their impact on human health. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 227, p. 845-851, 2002.



KIMURA, M.; KOBORI, C. N.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; NESTEL, P. Screening and HPLC methods for carotenoids in sweetpotato, cassava and maize for plant breeding trials. **Food Chemistry**, v. 100, p. 1734-1746, 2007.

KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Sources of errors in the quantitative analysis of food carotenoids by HPLC. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, p. 585-675, 1999.

KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A scheme for obtaining standards and HPLC quantification of leafy vegetable carotenoids. **Food Chemistry**, v. 78, p. 389-398, 2002.

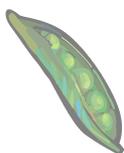
KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of hydroponic leafy vegetables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 2603-2607, 2003.

KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; GODOY, H. T. Assessment of the saponification step in the quantitative determination of carotenoids and provitamin A. **Food Chemistry**, v. 35, p.187-195, 1990.

KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; YOKOYAMA, S. M. Cultivar differences and geographic effects on the carotenoid composition and vitamin A value of papaya. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 24, p. 415-418, 1991.

KOBORI, C. N.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Native Brazilian green leafy vegetables are richer sources of carotenoids than commercial leafy vegetables. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 29, p. 333-341, 2008.

KOHLMEIER, L.; HASTINGS, S. B. Epidemiologic evidence of a role of carotenoids in cardiovascular disease prevention. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 62, p. 1370S-1376S, 1995.



KOHLMEIER, L.; KARK, J. D.; GOMEZ-GARCIA, E.; MARTIN, B. C.; STECK, S. E.; KARDINAAL, A. F. M.; RINGSTAD, J.; THAMM, M.; MASAIEV, V.; RIEMERSMA, R.; MARTIN-MORENO, J. M.; HUTTUNEN, J. K.; KOK, F. J. Lycopene and myocardial infarction risk in the EURAMIC study. **American Journal of Epidemiology**, v. 146, p. 618-626, 1997.

KRINSKY, N. I. Actions of carotenoids in biological systems. **Annual Review of Nutrition**, v. 13, p. 561-587, 1993.

KRINSKY, N. I. Carotenoids as antioxidants. **Nutrition**, v. 17, p. 815-817, 2001.

KRINSKY, N. I.; JOHNSON, E. J. Carotenoid actions and their relation to health and disease. **Molecular Aspects of Medicine**, v. 26, p. 459-516, 2005.

KRINSKY, N. I.; LANDRUM, J. T.; BONE, R. A. Biologic mechanisms of the protective role of lutein and zeaxanthin in the eye. **Annual Review of Nutrition**, v. 23, p. 171-201, 2003.

KULL, D.; PFANDER, H. Appendix: List of new carotenoids. In: BRITTON, G.; LIAAEN-JENSEN, S.; PFANDER, H. (Eds.). **Carotenoids Volume 1A: Isolation and Analysis**. Basel: Birkhäuser Verlag, 1995. p. 295-317.

LANDRUM, J. T.; BONE, R. A. Lutein, zeaxanthin, and the macular pigment. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 385, p. 28-40, 2001.

LEVY, J.; BOSIN, E.; FELDMAN, B.; GIAT, Y.; MIINSTER, A.; DANILENKO, M.; SHARONI, Y. Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either α - or β -carotene. **Nutrition and Cancer**, v. 24, p. 257-266, 1995.

LIETZ, G.; HENRY, C. J. K.; MULOKOZI, G.; MUGYABUSO, J.; BALLART, A.; NDOSSI, G.; LORRI, W.; TOMKINS, A. Use of red palm oil for the promotion of maternal vitamin A status. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 21, p. 215-218, 2000.

MANSON, J. E. ; GAZIANO, J. M. ; JONAS, M. A. ; HENNEKENS, C. H. Antioxidants and cardiovascular disease: A review. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 12, p. 426-432, 1993.



MARINHO, H. A.; CASTRO, J. S. Carotenóides e valor de pró vitamina A em frutos da região Amazônica: Pajurá, piquiá, tucumã e umari. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 27., 2002. Anais... Belém, Brasil, 2002.

MAYNE, S. T. Beta-carotene, carotenoids, and disease prevention in humans. **The FASEB Journal**, v. 10, p. 690-701, 1996.

MERCADANTE, A. Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition and vitamin A value of some native Brazilian green leafy vegetables. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 25, p. 213-219, 1990.

MERCADANTE, A. Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of a leafy vegetable in relation to some agricultural variables. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 39, p. 1094-1097, 1991.

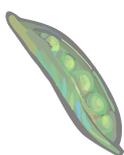
MERCADANTE, A. Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Effects of ripening, cultivar differences, and processing on the carotenoid composition of mango. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 128-130, 1998.

MERCADANTE, A. Z.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; BRITTON, G. HPLC and mass spectrometric analysis of carotenoids from mango. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 120-123, 1997.

MOELLER, S. M.; JACQUES, P. F.; BLUMBERG, J. B. The potential role of dietary xanthophylls in cataract and age-related macular degeneration. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 19, p. 522S-527S, 2000.

NESTEL, P.; TRUMBO, P. The role of provitamin A carotenoids in the prevention and control of vitamin A deficiency. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, p.26S-33S, 1999.

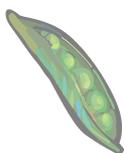
NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. A melancia como fonte de licopeno. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 62, p. 195-199, 2003.



- NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. New data on the carotenoid composition of raw salad vegetables. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 18, p. 739-749, 2005a.
- NIIZU, P. Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flowers and leaves of *Tropaeolum majus* L. as rich sources of lutein. **Journal of Food Science**, v. 70, p. S605-S609, 2005b.
- NINOMIA, L.; GODOY, H. T. Comparison of the carotenoid composition and vitamin A value of hydroponic and conventionally produced leaf vegetables. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, no prelo, 2008.
- OMENN, G. S.; GOODMAN, G. E.; THORNQUIST, M. D.; BALMES, J.; CULLEN, M. R.; GLASS, A.; KEOGH, J. P.; MEYSKENS, F. L. JR.; VALANIS, B.; WILLIAMS, J. H. JR.; BARNHART, S.; HAMMER, S. Effects of a combination of beta-carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease. **The New England Journal of Medicine**, v. 334, p. 1150-1155, 1996.
- O'NEILL, M. E.; CARROLL, Y.; CORRIDAN, B.; OLMEDILLA, B.; GRANADO, F.; BLANCO, I.; VAN DEN BERG, H.; HININGER, I.; ROUSELL, A-M.; CHOPRA, M.; SOUTON, S.; THURNHAM, D. I. A European carotenoid database to assess carotenoid intakes and its use in a five-country comparative study. **British Journal of Nutrition**, v. 85, p. 499-507, 2001.
- OLIVEIRA, G. P. R.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Processed and prepared corn products as sources of lutein and zeaxanthin: Compositional variation in the food chain. **Journal of Food Science**, v. 72, p. S79-S85, 2007.
- OLSON, J. A. Carotenoids and human health. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, p. 75-115, 1999.
- OSGANIAN, S. K.; STAMPFER, M. J.; RIMM, E.; SPIEGLMAN, D.; MANSON, J. E.; WILLETT, W. C. Dietary carotenoids and risk of coronary artery disease in women. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 77, p. 1390-1399, 2003.



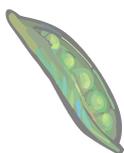
- PADULA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Characterization of the carotenoids and assessment of the vitamin A value of Brazilian guavas (*Psidium guajava* L.). **Food Chemistry**, v. 20, p. 11-19, 1986.
- PALACE, V. P.; KHAPER, N.; QIN, Q.; SINGAL, P. K. Antioxidant potentials of vitamin A and carotenoids and their relevance to heart disease. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, p. 746-761, 1999.
- PALOZZA, P. Prooxidant actions of carotenoids in biologic systems. **Nutrition Reviews**, v. 56, p. 257-265, 1998.
- PALOZZA, P.; KRINSKY, N. I. Antioxidant effects of carotenoids *in vivo* and *in vitro*: An overview. **Methods in Enzymology**, v. 213, p. 403-420, 1992.
- PARK, Y. W. Effect of freezing, thawing, drying, and cooking on carotene retention in carrots, broccoli, and spinach. **Journal of Food Science**, v. 52, p. 1022-1025, 1987.
- PENTEADO, M. V. C.; ALMEIDA, L. B. Ocorrência de carotenóides em raízes de cinco cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) do Estado de São Paulo. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo** v. 24 p. 39-49, 1988.
- PFANDER, H.; RIESEN, R.; NIGGLI, U. HPLC and SFC of carotenoids – scope and limitations. **Pure & Applied Chemistry**, v. 66, p. 947-954, 1994.
- PORCU, O.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Variation in the carotenoid composition of acerola and its processed products. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 86, p. 1916-1920, 2006.
- PORCU, O.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Variation in the carotenoid composition of lycopene-rich pitanga (*Eugenia uniflora* L.). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 63, p. 195-199, 2008.
- PUPIN, A. M.; DENNIS, M. J.; TOLEDO, M. C. F. HPLC analysis of carotenoids in orange juice. **Food Chemistry**, v. 64, p. 269-275, 1999.



- RADHIKA, M. S.; BHASKARAM, P.; BALAKRISHNA, N.; RAMALAKSHMI, B. A. Red palm oil supplementation: A feasible diet-based approach to improve the vitamin A status of pregnant women and their infants. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 24, p. 208-217, 2003.
- RAMOS, D. M. R.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Determination of the vitamin A value of common Brazilian leafy vegetables. **Journal of Micronutrient Analysis**, v. 3, p. 147-155, 1987.
- RAMOS, D. M. R.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Avaliação das perdas de carotenóides e valor de vitamina A durante desidratação e liofilização industrial de espinafre. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 36, p. 83-94, 1993.
- RAO, A. V.; AGARWAL, S. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: A review. **Nutrition Research**, v. 19, p. 305-323, 1999.
- RIBAYA-MERCADO, J. D.; SOLON, F. S.; SOLON, M. A.; CABRAL-BARZA, M. A.; PERFECTO, C. S.; TANG, G. T.; SOLON, J. A. A.; FJELD, C. R.; RUSSELL, R. M. Bioconversion of plant carotenoids to vitamin A in Filipino school-aged children varies inversely with vitamin A status. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, p. 455-465, 2000.
- RISSANEN, T.; VOUTILAINEN, S.; NYSSÖNEN, K.; SALONEN, J. T. Lycopene, atherosclerosis, and coronary heart disease. **Experimental Biology and Medicine**, v. 227, p. 900-907, 2002.
- RISO, P.; PORRINI, M. Determination of carotenoids in vegetable foods and plasma. **International Journal for Vitamin and Nutrition Research**, v. 67, p. 47-54, 1997.
- ROCK, C. L.; LOVALVO, J. L.; EMENHISER, C.; RUFFIN, M. T.; FLATT, S. W.; SCHWARTZ, S. J. Bioavailability of β -carotene is lower in raw rather than in processed carrots and spinach in women. **The Journal of Nutrition**, v. 128, p. 913-916, 1998.



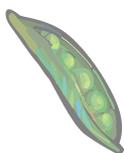
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Critical review of provitamin A determination in plant foods. **Journal of Micronutrient Analysis**, v .5, p. 191-225, 1989.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Provitamin A determination - Problems and possible solutions. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 12, p. 246-250, 1990.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Nature and distribution of carotenoids in foods. In: CHARALAMBOUS, G. (Ed.). **Shelf-life Studies of Foods and Beverages: Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1993. p. 547-589.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Assessment of the provitamin A contents of foods - The Brazilian experience. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 9, p. 196-230, 1996.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoids and Food Preparation: The Retention of Provitamin Carotenoids in Prepared, Processed, and Stored foods**. Washington DC: Usaid-Omni, 1997. 88 p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. (1999a). **A Guide to Carotenoid Analysis in Foods**. Washington DC: International Life Sciences Institute (ILSI) Press, 1999. 64 p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. (1999b). Changes in carotenoids during processing and storage of foods. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 49, p. 385-475, 1999.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Some considerations in generating carotenoid data for food composition tables. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 13, p. 641-647, 2000.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Effects of processing and storage on food carotenoids. **Sight and Life Newsletter**, v. 3 (Special Issue), p. 25-35, 2002.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; AMAYA-FARFAN, J. Estado actual de los métodos analíticos para determinar provitamina A. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 42, p.180-191, 1992.



- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Carotenoid composition and vitamin A value of the Brazilian fruit *Cyphomandra betacea*. **Food Chemistry**, v. 12, p. 61-65, 1983.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. Carotenóides e valor de vitamina A em cajá (*Spondias lutea*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 9, p. 148-162, 1989.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **HarvestPlus Handbook for Carotenoid Analysis**. Washington DC e Cali: International Food Policy Research Institute (IFPRI) e International Center for Tropical Agriculture (CIAT), 2004. 58 p.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; ARIMA, H. K. Assessment of provitamin A determination by open column chromatography/visible absorption spectrophotometry. **Journal of Chromatographic Science**, v. 26, p. 624-629, 1988.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; PORCU, M. M.; AZEVEDO-MELEIRO, C. H. Variation in the carotenoid composition of fruits and vegetables along the food chain. **Acta Horticulturae**, v. 744, p. 387-394, 2007.
- SANT'ANNA, Z. M.; PENTEADO, M. V. C. Alterações dos carotenóides decorrentes do cozimento convencional e em forno de microondas de três hortaliças. **Revista de Farmácia e Bioquímica da Universidade de São Paulo**, v. 32, p. 53-58, 1996.
- SCHIEDT, K.; LIAAEN-JENSEN, S. Isolation and analysis. In: BRITTON, G.; LIAAEN-JENSEN, S.; PFANDER, H. (Eds.). **Carotenoids Volume 1A: Isolation and Analysis**. Basel: Birkhäuser Verlag, 1995. p. 81-108.
- SCOTT, K. J. Observations on some of the problems associated with the analysis of carotenoids in foods by HPLC. **Food Chemistry**, v. 45, p. 357-364, 1992.
- SEDDON, J. M.; AJANI, U. A.; SPERDUTO, R. D.; HILLER, R.; BLAIR, N.; BURTON, T. C.; FARBER, M. D.; GRAGODAS, E. S.; HALLER, J.; MILLER, D. T.; YANNUZZI, L. A.; WILLET, W. Dietary carotenoids, vitamins A, C and E and advanced age-related macular degeneration. **The Journal of the American Medical Association**, v. 272, p. 1413-1420, 1994.



- SENTANIN, M. A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Teores de carotenóides em mamão e pêssego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 13-19, 2007.
- SESSO, H. D.; LIU, S.; GAZIANO, J. M.; BURING, J. E. Dietary lycopene, tomato-based food products and cardiovascular disease in women. **The Journal of Nutrition**, v. 133, p. 2336-2341, 2003.
- SIES, H.; STAHL, W. Lycopene: Antioxidant and biological effects and its bioavailability in the human. **Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine**, v. 218, p. 121-124, 1998.
- SILVA, S. R.; MERCADANTE, A. Z. Composição de carotenóides de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*) in natura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, p. 254-258, 2002.
- SNODDERLY, D. M. Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 62, p. 1448S-1461S, 1995.
- STACEWICZ-SAPUNTZAKIS, M.; BOWEN, P. E. Role of lycopene and tomato products in prostate health. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1740, p. 202-205, 2005.
- STAHL, W.; ALE-AGHA, N.; POLIDORI, M. C. Non-antioxidant properties of carotenoids. **Biological Chemistry**, v. 383, p. 553-558, 2002.
- STAHL, W.; SCHWARZ, W.; VON LAAR, J.; SIES, H. All-trans β -carotene preferentially accumulates in human chylomicrons and very low density lipoproteins compared with 9-cis geometrical isomer. **The Journal of Nutrition**, v. 125, p. 2128-2133, 1995.
- STAHL, W.; SIES, H. Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat processed than from unprocessed tomato juice in humans. **The Journal of Nutrition**, v.122, p. 2161-2166, 1992.



STAHL, W.; SIES, H. Lycopene: A biologically important carotenoid for humans? **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 336, p. 1-9, 1996.

STAHL, W.; SIES, H. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1740, p. 101-107, 2005.

TAKYI, E. E. K. Children's consumption of dark green, leafy vegetables with added fat enhances serum retinol. **The Journal of Nutrition**, v. 129, p. 1549-1554, 1999.

TANG, G.; GU, X. F.; HU, S. M.; XU, Q. M.; QIN, J.; DOLNIKOWSKI, G. G.; FJELD, C. R.; GAO, X.; RUSSELL, R. M.; YIN, S. A. Green and yellow vegetables can maintain body stores of vitamin A in Chinese children. **The Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, p.1069-1076, 1999.

TAVARES, C. A. **Composição de carotenóides e valor de vitamina A em tomate, milho, pêsego e seus produtos processados**. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1991.

TAVARES, C. A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 27, p. 219-224, 1994.

TAWATA, N.; KIMURA, M. Carotenoid composition of canned and frozen vegetables. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOODS AND BEVERAGES, 5., 2004. Resumos ... Sao Carlos, Brasil, 2004.

THURNHAM, D. I. Bioequivalence of β -carotene and retinol. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 87, p. 13-39, 2007.

TOLEDO, A.; BURLINGAME, B. Biodiversity and nutrition: A common path toward global food security and sustainable development. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, p. 477-483, 2006.



- TRUJILLO-QUIJANO, J. A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; ESTEVES, W.; PLONIS, G. F. Carotenoid composition and vitamin A values of oils from four Brazilian palm fruits. **Fat Science and Technology**, v. 92, p. 222-226, 1990.
- TRUMBO, P.; YATES, A. A.; SCHLICKER, S.; POOS, M. Dietary reference intakes: Vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc (commentary). **Journal of the American Dietetic Association**, v. 101, p. 294-301, 2001.
- VAN DEN BERG, H.; FAULKS, R.; FERNANDO GRANADO, H.; HIRSCHBERG, J.; OLMEDILLA, B.; SANDMANN, G.; SOUTHON, S.; STAHL, W. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 880-912, 2000.
- VAN HET HOF, K. H.; DE BOER, B. C. J.; TIJBURG, L. B. M.; LUCIUS, B. R. H. M.; ZIJP, I.; WEST, C. E.; HAUTVAST, J. G. A. J.; WESTSTRATE, J. A. Carotenoid bioavailability in humans from tomatoes processed in different ways determined from the carotenoid response in the triglyceride-rich lipoprotein fraction of plasma after a single consumption and in plasma after four days of consumption. **The Journal of Nutrition**, v. 130, p. 1189-1196, 2000.
- VAN HET HOF, K. H.; WEST, C.E.; WESTSTRATE, J. A.; HAUTVAST, J. G. A. J. Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. **The Journal of Nutrition**, v. 130, p. 503-506, 2000.
- VAN JAARVELD, P. J.; FABER, M.; TANUMIHARDJO, S. A.; NESTEL, P.; LOMBARD, C. J.; BENADÉ, A. J. S. β -carotene-rich orange-fleshed sweet potato improves the vitamin A status of primary school children assessed with the modified-relative-dose-response test. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 81, p. 1080-1087, 2005.
- VAN POPPEL, G.; GOLDBOHM, R. A. Epidemiologic evidence for β -carotene and cancer prevention. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 62, p. 1393S-1402S, 1995.



- WERTZ, K.; SILER, U.; GORALCZYK, R. Lycopene: modes of action to promote prostate health. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 430, p. 127-134, 2004.
- WILBERG, V. C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 28, p. 474-480, 1995.
- YEUM, K. J.; RUSSELL, R. M. Carotenoid bioavailability and bioconversion. **Annual Review of Nutrition**, v. 22, p. 483-504, 2002.
- YOUNG, A. J.; LOWE, G. M. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 385, p. 20-27, 2001.
- ZANATTA, C. F.; MERCADANTE, A. Z. Carotenoid composition from the Brazilian tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Food Chemistry**, v. 101, p. 1526-1532, 2007.
- ZECHMEISTER, L. **Cis-trans Isomeric Carotenoids, Vitamins A and Arylpolyenes**. Vienna: Springer Verlag, 1962.
- ZIEGLER, R. G. Vegetables, fruits, and carotenoids and the risk of cancer. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 53, p. 251S-259S, 1991.



