

Licopeno: efeito do processamento térmico sobre a estrutura química e biodisponibilidade

Lycopene: effect of the heat treatment in the chemical structure and bioavailability

Suzan Almeida Freda^a, Márcia de Mello Luvielmo^b, Josiane Kuhn Rutz^a, Rui Carlos Zambiasi^a

bqasuzan@hotmail.com, mmluvielmo@gmail.com, josianekr@gmail.com, zambiasi@gmail.com

^aUniversidade Federal de Pelotas - UFPEL, Campus Universitário, S/N, Capão do Leão, RS, Brasil.

^bUniversidade Federal do Rio Grande – FURG, Av. Itália km 8, Rio Grande, RS, Brasil.

Resumo

O licopeno é um composto bioativo pertencente ao grupo dos carotenoides, sendo responsável pela coloração vermelha de diversas frutas. Sua estrutura química é formada por unidades de isopreno, contendo onze duplas ligações conjugadas, que confere a esse composto alta capacidade antioxidante. Sua ação antioxidativa ocorre principalmente pela capacidade sequestradora de radicais livres, uma vez que suas moléculas são capazes de receber elétrons de espécies reativas. Vários fatores podem interferir na biodisponibilidade do licopeno, mas o principal está relacionado com sua forma isomérica. Nos alimentos *in natura* o licopeno, majoritariamente, apresenta-se na forma de trans-isômero; porém são os cis-isômeros os que são melhores absorvidos pelo corpo humano, sendo encontrados principalmente em alimentos que foram submetidos a processamento térmico. Esse tipo de processamento aumenta a biodisponibilidade do licopeno, devido ao rompimento da parede celular e da sua liberação na forma isomérica cis. Esta revisão teve como objetivo abordar as propriedades químicas e biológicas relacionadas ao licopeno, com maior enfoque nas alterações que ocorrem quando alimentos, fontes de licopeno, são processados termicamente e na relação do tipo de estrutura química com o poder

Abstract

Lycopene is a bioactive compound that belongs to the group of carotenoids, and is responsible for red color of many fruits. Its chemical structure is composed of isoprene units, containing 11 conjugated double bonds, which characterizes it as an antioxidant. The antioxidant capacity of lycopene is mainly due to its free radical scavenging activity, since the molecules are capable of receiving electrons of reactive species. This review aims to describe the antioxidant activity of lycopene, and the changes that occur during thermal processing of lycopene-rich foods, as well as the lycopene bioavailability. Several factors can affect the bioavailability of lycopene, and the main factor is related to its isomeric form. Although foods *in natura* contains lycopene mainly in the form of trans-isomer, the cis-isomers of lycopene are better absorbed by the human body, which are found mainly in heat-treated foods. This type of processing increases the bioavailability of lycopene, due to the disruption of cell walls, releasing cis isomers of lycopene; however, little is known about the amount of energy required for isomerization without compromising the total lycopene levels, since it can be degraded during thermal processing. Further studies are needed about the effect of processing on the content and the isomeric form proportion of this carotenoid, as well the antioxidant activity of the

antioxidante e biodisponibilidade desse composto. Sabe-se até o momento que existe uma relação clara entre tratamento térmico e biodisponibilidade do licopeno, no entanto, ainda não foi esclarecida qual a quantidade de energia necessária para que ocorra isomerização sem comprometer a quantidade total de licopeno, uma vez que pode ser degradado durante o processamento. São necessários mais estudos sobre a influência do processamento no teor e na proporção da forma isomérica desse carotenoide e da atividade antioxidante de seus diferentes isômeros.

Palavras-chave: Licopeno, Antioxidante, Isomerização, Biodisponibilidade, Saúde, Processamento
Keywords: Lycopene, Antioxidant, Isomerization, Bioavailability, Health, Processing

Introdução

Vários estudos mostram que uma dieta rica em frutas e vegetais está associada a um atraso do processo de envelhecimento e um menor risco de desenvolver inflamação e estresse oxidativo relacionado a enfermidades crônicas, como doenças cardiovasculares, aterosclerose, câncer, diabetes, catarata, distúrbios da função cognitiva e doenças neurológicas, incluindo Alzheimer (Eliassen *et al.*, 2012; Pojer *et al.*, 2013; Tanaka *et al.*, 2012).

O estudo de Cheng *et al.* (2017) apresenta evidências de que aumentar a ingestão de produtos a base de tomate ou fazer suplementação com licopeno tem efeitos positivos sobre os lipídios no sangue, a pressão sanguínea, alguns fatores inflamatórios e sobre a função endotelial.

Alimentos como frutas e hortaliças contêm, além dos macronutrientes, compostos oriundos do metabolismo secundário das plantas, fitoquímicos, entre os quais muitos possuem propriedades antioxidantes que podem estar relacionadas à prevenção de certas doenças e ao retardo do envelhecimento (Lima *et al.*, 2002; Jacques e Zambiasi, 2011).

Entre os fitoquímicos se destacam os carotenoides, que consistem em um dos grupos de pigmentos mais difundidos na natureza, sendo responsáveis pela coloração amarela, laranja e vermelha de grande número de frutas, de folhas e de algumas flores. Os carotenoides são classificados em dois grandes grupos, as xantofilas, que possuem oxigênio em sua estrutura, e os carotenos, que são constituídos exclusivamente por hidrocarbonetos

O licopeno é o principal componente dos carotenos, sendo responsável pela cor vermelha de diversos frutos como o tomate, a melancia, a goiaba vermelha, o mamão e a pitanga. Embora não possua atividade pró-vitáminica A, esse carotenoide é capaz de atuar como antioxidante devido à sua capacidade de sequestrar o oxigênio singlete, apresentando potencial duas vezes superior que o β -caroteno e dez vezes mais eficiente que o α -tocoferol (Matioli e Rodriguez-Amaya, 2003).

Essa potente atividade antioxidante do licopeno é geralmente responsável pela proteção do sistema celular de uma variedade de oxigênios reativos e de espécies de nitrogênio, além prevenir o risco de acidente cardiovascular (Müller *et al.*, 2015).

O licopeno é encontrado em plantas predominantemente na configuração trans-isômero, que é a forma termodinamicamente mais estável; porém são os compostos na forma cis-isômeros a forma melhor absorvida pelo organismo humano (Moritz e Tramonte, 2006).

Estudos importantes têm provado que a aplicação de calor induz à isomerização do licopeno para a forma cis, aumentando sua biodisponibilidade e conseqüentemente sua absorção pelo organismo humano (Alvarenga *et al.*, 2017; Jayathunge *et al.*, 2017; Rao e Agarwal, 2000). Nesta revisão, focou-se em abordar aspectos químicos e biológicos do licopeno, explorando o efeito do processamento térmico sobre a estrutura química, poder antioxidante e biodisponibilidade desse composto e a relação do tipo de estrutura química com o poder antioxidante e biodisponibilidade desse composto.

Carotenoides

Os carotenoides são susceptíveis à isomerização e à oxidação durante o processamento e estocagem de alimentos, resultando em transformações como a perda de cor e da atividade biológica, além da formação de compostos voláteis que podem proporcionar aromas e sabores em alimentos, alguns considerados sensorialmente desejáveis e outros indesejáveis. A ocorrência da oxidação depende da presença e concentração de oxigênio, metais, enzimas, lipídios insaturados e antioxidantes, assim como da exposição à luz, do tipo e do estado físico dos carotenoides presentes, da severidade do tratamento, do material da embalagem, e das condições de estocagem do alimento (Ramos *et al.*, 2001).

Esses pigmentos de cor vermelha, alaranjada ou amarela são encontrados nas células vegetais, atuando no processo da fotossíntese. São insolúveis em água, mas solúveis em solventes orgânicos e óleos. Apresentam estrutura isoprenoide, geralmente constituídos por oito unidades de

isoprenos, formando uma longa cadeia que pode conter de 2 a 15 duplas ligações conjugadas, o que permite várias configurações cis e trans (Moritz e Tramonte, 2006).

Foram identificados cerca de 600 carotenoides em fontes vegetais, embora apenas 20 sejam encontrados em tecidos humanos provenientes da dieta. Entre esses, um dos principais e mais comuns carotenoides é o licopeno (El-Agamey *et al.*, 2004).

Estrutura química do licopeno

O licopeno é um carotenoide que não possui atividade pró-vitamina A, pois não apresenta em sua estrutura o anel β -ionona, a qual é responsável por essa característica (Rodriguez-Amaya, 1997). Esse composto contém 40 átomos de carbono, é lipossolúvel, altamente insaturado, sendo composto por 11 ligações duplas conjugadas e 2 não conjugadas, podendo estar na forma trans-isômero ou cis-isômero (Figuras 1 e 2) (Shami e Moreira, 2004).

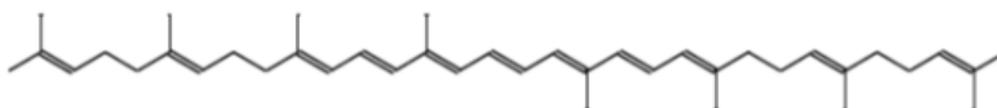


Figura 1. Estrutura trans-isômero do licopeno=Structure trans-isomer of lycopene

Fonte: Rao e Agarwal (2000).

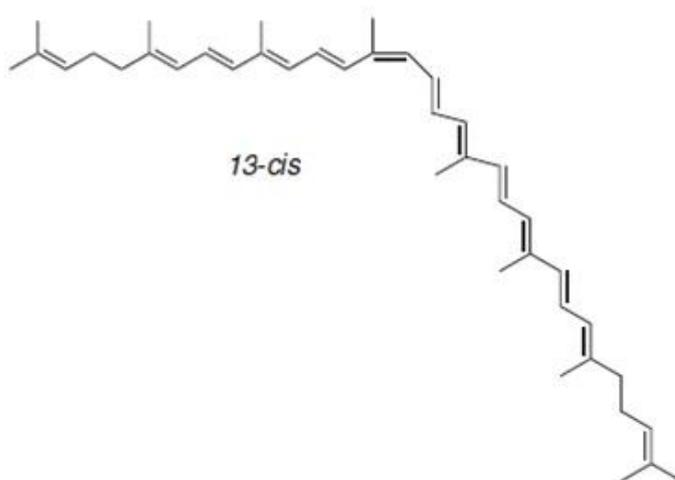


Figura 2. Estrutura cis-isômero do licopeno= Structure cis-isomer of lycopene

Fonte: Rao e Agarwal (2000).

Biodisponibilidade do licopeno

A bioacessibilidade se refere ao carotenoide ingerido que é liberado da matriz alimentar e incorporado às micelas no trato gastrointestinal e portanto disponível para absorção intestinal. A absorção de carotenoides envolve a liberação de carotenoides da matriz alimentar, difusão e emulsificação lipídica, solubilização em lipases pancreáticas e sais biliares e formação de micelas misturadas, movimentação através dos microvilos e captação dos carotenoides pelas células da mucosa intestinal, incorporadas nos quilomícrons e entrada no sistema linfático e circulação (Donhowe e Kong, 2014).

A biodisponibilidade dos constituintes de um alimento envolve digestão, captação e absorção intestinal, distribuição e utilização pelos tecidos. Existem vários fatores que podem interferir na biodisponibilidade do licopeno, como: matriz alimentar, forma isomérica do licopeno, quantidade e tipo de gordura dietética presente, processo de absorção, interações entre os carotenoides, presença de fibra alimentar e forma de processar o alimento. Desses o principal fator é a sua forma isomérica (Bramley, 2000).

A isomerização consiste na transformação de um determinado composto em seu isômero. Isômeros são compostos que apresentam a mesma fórmula molecular, porém estruturas espaciais diferentes.

Boileau A.C. *et al.* (1999) tinham em mente que apesar da maioria do licopeno encontrado em tomates e em produtos de tomate estar presente como *all-trans* (> 90 %), o perfil isomérico do licopeno encontrado nos tecidos biológicos de humanos e de animais, incluindo soro humano contém > 50 % de *cis*-licopeno. Esses autores concluem, em seu estudo, que os *cis*-isômeros do licopeno são mais biodisponíveis; os autores acreditam que isso ocorra provavelmente porque os *cis*-isômeros são mais solúveis nas micelas dos ácidos biliares e podem ser preferentemente incorporados nos quilomícrons.

A absorção de carotenoides ocorre somente quando eles são misturados com as micelas, assim fatores que afetam as micelas também afetam a biodisponibilidade de carotenoides. Os lipídeos são necessários para a incorporação nas micelas e também estimulam a liberação de bÍlis para facilitar a formação destas; a adição de gordura dietética melhora a biodisponibilidade dos carotenoides (Lemmens *et al.*, 2014).

O processamento térmico de alimentos tem prós e contras, pesquisas mostram que o calor aumenta a biodisponibilidade de licopeno, pela simples liberação da matriz do alimento. Porém ao submeter alimentos a processos térmicos, como branqueamento (70 °C a 80 °C por 2 a 10 minutos),

pasteurização (90 °C a 95 °C por 1 minuto para polpas e 95 °C a 98 °C por 15 segundos para sucos) e congelamento (-18 °C) conseqüentemente ocorre uma redução no teor de licopeno, mas em contrapartida as altas temperaturas propiciam a isomerização da forma trans para forma cis desse composto, aumentando assim sua solubilidade e, conseqüentemente, a sua biodisponibilidade (Weisburger, 2002). No entanto, inexistem estudos que apresentem a quantidade de energia necessária para que ocorra isomerização sem comprometer a quantidade total de licopeno, uma vez que esse composto pode ser degradado durante o processamento.

Alvarenga *et al.* (2017) analisaram o efeito dos ingredientes e o tempo de cozimento na isomerização de carotenoides em *sofrito*. *Sofrito* é o nome dado a um molho mediterrâneo cuja base é tomate. Eles observaram em seus estudos que tanto tempos de cozimento mais longos assim como a adição de cebola na preparação do molho tornou o licopeno mais biodisponível.

É crescente o uso de tecnologia de campo elétrico pulsado devido ao seu potencial para induzir permeabilidade celular não térmica e reação ao estresse em nível celular na planta, promovendo aumento da resposta biológica a da produção do licopeno. Um estudo realizado por Jayathunge *et al.* (2017) investigou a influência do pré-processamento de suco de tomate por campo elétrico pulsado de moderada intensidade no aumento da bioacessibilidade do licopeno, e investigou também o efeito combinado desse processo com branqueamento, ultra-sons e campo elétrico pulsado de alta intensidade. Os resultados revelaram que todos os tratamentos foram eficazes para aumentar o licopeno total. A maioria dos tratamentos de processamento de suco diminuiu a liberação de licopeno da matriz de tomate durante a digestão. Porém somente o tratamento do branqueamento seguido de campo elétrico pulsado de alta intensidade mostrou liberação significativa de trans- ($4,01 \pm 0,48$ µg/g) e cis- ($5,04 \pm 0,26$ µg/g) licopeno, atingindo 15,6% de bioacessibilidade total de licopeno. Melhorando a bioacessibilidade *in vitro* de licopeno de suco de tomate, aplicando sinergicamente tecnologias de processamento térmico e não térmico.

Absorção do licopeno pelo organismo

A forma isomérica da estrutura do licopeno presente nos alimentos determina o seu aproveitamento pelo organismo. O processo de absorção ocorre de forma passiva, ou seja, sem gasto de energia, mas pouco se sabe sobre o aproveitamento do licopeno no interior da mucosa. Estudos sugerem que o licopeno seja transportado entre as células por proteínas específicas ou migre agregado a gotas lipídicas. No enterócito, o licopeno não é transformado em vitamina A, como ocorre com outros carotenoides, mas metabólitos oxidativos do licopeno têm sido encontrados no soro

humano, embora pouco se saiba sobre os locais e mecanismos envolvidos em sua formação. Isômeros de licopeno a partir de fontes alimentares são incorporados em micelas mistas, tomada pela mucosa da membrana celular, e embalados em quilomícrons pela secreção no tecido linfático. O licopeno sai do enterócito carregado por quilomícrons que, pela ação da enzima lipase lipoprotéica vão sendo retirados e absorvidos de forma passiva por vários tecidos, incluindo os adrenais, renais, adiposos, esplênicos, dos pulmões e dos órgãos reprodutivos (Boileau T.W. *et al.*, 2002).

Durante o processo de digestão e de absorção, o licopeno é separado dos demais nutrientes e incorporado às micelas, ocorrendo então à isomerização do licopeno nessa separação, alterando a configuração desse carotenoide de trans-isômero para cis-isômero. A absorção dos carotenoides é estimulada pela ingestão desses compostos na presença de lipídeos (Rodriguez-Amaya, 1999).

Segundo Willcox *et al.* (2003), a gordura dietética parece influenciar na absorção do licopeno. Para que o carotenoide seja absorvido, é necessário que ele seja incorporado às micelas, e a formação delas é dependente da presença de gordura no intestino. Assim sendo, a ingestão de gordura juntamente com o carotenoide é considerada crucial para que haja estímulo da produção de bile (Van Het Hof *et al.*, 2000).

Alguns estudos têm sido conduzidos no sentido de avaliar o grau de insaturação de ácidos graxos na biodisponibilidade de carotenoides. Entretanto, esses resultados não são conclusivos; ainda são necessários estudos detalhados e cuidadosamente controlados nesse contexto (Saini *et al.*, 2015).

Estudos relatam ainda que algumas fibras, como a pectina, podem reduzir a biodisponibilidade do licopeno, reduzindo sua absorção no intestino pelo aumento da viscosidade (Shi e Maguer, 2000).

Outros carotenoides também podem afetar a biodisponibilidade do licopeno, como a luteína e o β -caroteno por causa de uma competição durante a absorção intestinal do licopeno (Bramley, 2000).

Licopeno como antioxidante

Radical livre é o termo usado para designar qualquer átomo ou molécula com existência independente, contendo um ou mais elétrons não pareados nos orbitais externos. Essa condição determina uma atração para um campo magnético, o que pode torná-lo altamente reativo, sendo capaz de reagir com qualquer composto situado próximo à sua órbita externa, passando a ter uma função oxidante ou redutora de elétrons (Halliwell e Gutteridge, 1999).

Os radicais livres são produzidos durante o processo metabólico normal do corpo humano, como na respiração e nas atividades físicas. Também podem ser formados pelo resultado do hábito de fumar, superexposição ao sol, poluição do ar e estado de estresse. Esses compostos são altamente reativos e, quando não neutralizados, podem danificar moléculas importantes das células saudáveis do corpo humano (Gomes, 2007; Teston *et al.*, 2010).

O estresse oxidativo é reconhecido como um dos maiores responsáveis pelo aumento do risco de doenças cardiovasculares e de câncer. Entre os radicais livres mais comuns estão o superóxido, a hidroxila, o hidroperóxido, o óxido nítrico e o dióxido de nitrogênio. Desses, o radical hidroxila é o mais reativo na indução de lesões nas moléculas celulares e o peróxido de hidrogênio, apesar de não ser considerado um potente radical livre, é capaz de atravessar a membrana nuclear e induzir danos no DNA (Anderson, 2000).

Os antioxidantes podem agir diretamente na neutralização da ação dos radicais livres ou participar indiretamente de sistemas enzimáticos com essa função (Jacques e Zambiasi, 2011). Entre os carotenoides mais comuns, o licopeno apresenta a mais potente atividade antioxidante demonstrada em estudos experimentais *in vitro* (Rodriguez-Amaya, 1997). As ligações duplas existentes na estrutura química do licopeno fazem desse composto um antioxidante em potencial, uma vez que suas moléculas são capazes de receber elétrons de espécies reativas, neutralizando os radicais livres (Shami e Moreira, 2004).

A Eq. 1 exemplifica a reação do oxigênio singlete com um carotenoide hipotético (Car), resultando em oxigênio no estado basal de energia e em um radical triplete do carotenoide ($^3\text{Car}\bullet$).



O carotenoide triplete rapidamente dissipa a energia incorporada para o ambiente na forma de calor, voltando ao seu estado original (Eq. 2).



A ação sequestradora de radicais é proporcional ao número de ligações duplas conjugadas presentes nas moléculas dos carotenoides, no caso do licopeno de 11 ligações duplas. O mecanismo pelo qual os carotenoides protegem os sistemas biológicos da ação dos radicais livres depende da transferência de energia do oxigênio excitado para a molécula do carotenoide, em que a energia é dissipada por meio de rotações e vibrações do carotenoide no meio (Stahl e Sies, 1999).

O licopeno é o carotenoide sequestrador mais eficiente de oxigênio singlete, e também possui ação sobre radicais peróxidos, dióxido de nitrogênio, radical til e sufonil, sendo ao menos duas vezes mais eficiente que o β -caroteno sobre os radicais peróxidos, e o mais eficiente sequestrador de radicais (Rao e Shen, 2002).

A estrutura com cadeia aberta do licopeno e as duplas ligações não conjugadas aumentam sua capacidade sequestradora devido ao baixo nível de energia que possuem, o que permite ao licopeno aceitar o estado mais excitado do oxigênio, reduzindo o risco de câncer como consequência do ataque ao DNA e às membranas lipídicas por oxidação (Shami e Moreira, 2004).

Principais fontes de licopeno e sua estabilidade ao processamento

O licopeno é um dos mais abundantes carotenoides presentes no corpo humano, sendo que sua alta concentração se deve, principalmente, ao consumo de alimentos que são fontes desses compostos (Khachik *et al.*, 2002).

Ao contrário dos demais carotenoides, o licopeno está presente em apenas um pequeno grupo de alimentos vegetais, incluindo o tomate, a goiaba, a pitanga, o mamão formosa e a melancia. Em muitos países, o tomate e seus derivados constituem a única fonte de licopeno, o que pode justificar a maior atenção voltada a esse fruto. No Brasil, além do tomate, o mamão, a goiaba, a pitanga e a melancia são também importantes fontes desse composto (Tabela 1) (Rao e Shen, 2002). Esse carotenoide é encontrado em maiores quantidades na casca dos vegetais, principalmente nos vegetais cultivados em regiões de clima quente, aumentando consideravelmente durante os estágios de seu amadurecimento (Rodriguez-Amaya, 1999).

Tabela 1. Teor de licopeno (b.u.) em frutos e seus derivados.

Fruto	Teor de licopeno ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de fruta)	Referência
Tomate	8,8 – 42,0	Tawata (2010); Karakaya e Niluefer (2007); Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a); Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b).
Pitanga Vermelha	71,1 – 74,0	Tawata (2010); Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a).
Melancia	23,0 – 72,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Tawata (2010).
Goiaba Vermelha	44,8 – 85,2	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Tawata (2010); Escobar e Sylos (2006); Padula e Rodriguez-Amaya (1986); Rodriguez-Amaya e Porcu (2004).
Mamão Papaia	15,5 – 53,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Tawata (2010); Ribeiro (2009); Sertanin e Rodriguez-Amaya (2007).
Derivados de Tomate		
Purê de Tomate	59,5 – 217,5	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Rao <i>et al.</i> (1998); Shi <i>et al.</i> (2008); USDA (2011).
Molho de Tomate	62,0 – 178,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Shi <i>et al.</i> (2008); USDA (2011); Kobori <i>et al.</i> (2010).
Suco de Tomate	50,0 – 116,9	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Rao <i>et al.</i> (1998); USDA (2011).
Ketchup	99,0 – 167,1	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); Shi <i>et al.</i> (2008); USDA (2011); Kobori <i>et al.</i> (2010).
Ketchup Light	141,0	Rao <i>et al.</i> (1998).

Pasta de Tomate	287,6 – 365,0	Rao <i>et al.</i> (1998); USDA (2011).
Molho de Espaguete	191,2	Rao <i>et al.</i> (1998); Kobori <i>et al.</i> (2010).
Extrato de tomate	188,6 – 257,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); USDA (2011).
Tomate seco ao sol	55,1	Karakaya e Niluefer (2007).
Molho de Pizza	121,7	Rao <i>et al.</i> (1998).
Tomate irradiado (0,25 a 0,50 kGy)	35,8 – 42,8	Fabbri <i>et al.</i> (2011).
Tomate irradiado (1,0 a 2,0 kGy)	18,1 – 19,8	
Molho de tomate irradiado (0,25kGy)	92,1	
Polpa de tomate	77,1 – 116,7	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); USDA (2011); Kobori <i>et al.</i> (2010).
Tomate seco a granel	361,3 – 491,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008b); USDA (2011); Kobori <i>et al.</i> (2010).
Tomate em conserva	27,7 – 35,5	Karakaya e Niluefer (2007); USDA (2011).
Derivados de Goiaba		
Polpa de Goiaba	37,4 – 134,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a); Escobar e Sylos (2006).
Suco de Goiaba processado	10,0 – 60,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a); Padula e Rodriguez-Amaya (1986).
Goiabada	52,4 – 84,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a); Escobar e Sylos (2006); Padula e Rodriguez-Amaya (1986); Rodriguez-Amaya e Porcu (2004).
Goiaba em Calda	27,8 – 32,8	Wilberg e Rodriguez-Amaya (1995).

Doce de Goiaba em Pasta	26,4 – 27,4	
Geleia de Goiaba	69,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a).
Guatchup	98,3	Padula e Rodriguez-Amaya (1986).
Néctar de Goiaba Pasteurizado (40% de polpa)	14,9 – 19,4	Correa (2002).
Néctar de Goiaba não Pasteurizado (40% de polpa)	13,7 – 17,5	
Derivados de Pitanga		
Polpa de Pitanga Congelada	17,2	Porcu e Rodriguez-Amaya (2008).
Suco engarrafado (CE)*	25,5 – 27,9	
Derivados de Mamão		
Polpa (submetida a 95°C/20s)	18,2	Ribeiro (2009).
Polpa (submetida a 95°C/60s)	18,9	
Polpa (sem tratamento sob pressão)	20,1	Sertanin e Rodriguez-Amaya (2007).
Polpa (submetida a 300MPa/5min.)	15,7	
Polpa (submetida a	15,5	

300MPa/15min.)		
Polpa (submetida a 500MPa/5min.)	20,6	
Polpa (submetida a 500MPa/15min.)	11,7	
Mamão Cristalizado	80,0	Rodriguez-Amaya <i>et al.</i> (2008a).
Derivados de Melancia		
Suco de melancia	48,1 –52,9**	Quek <i>et al.</i> (2007). Rawson <i>et al.</i> (2011).
*Melancia desidratada (145°C)	954,0	Quek <i>et al.</i> (2007).
*Melancia desidratada (155°C)	907,7	
*Melancia desidratada (165°C)	820,4	
*Melancia desidratada (175°C)	724,5	

Nota: *Melancia desidratada com 5% maltodextrina, obtida por spray-drier.

** μg de licopeno. mL^{-1} de suco.

Tomate

A quantidade de licopeno presente nos tomates varia segundo a cultivar e o grau de amadurecimento. O tomate vermelho maduro contém maior quantidade de licopeno, o qual é convertido a partir do β -caroteno no decorrer da maturação, sendo responsável pela cor vermelha (Rodriguez-Amaya, 1997).

Rao *et al.* (1998) ao analisarem diferentes produtos elaborados a base de tomate, constataram que os produtos utilizados no preparo de alimentos, como purês e pastas de tomate apresentaram maiores níveis de licopeno. O condimento *ketchup* apresentou teores de licopeno considerados baixo a moderado, sendo o suco o produto que apresenta menores teores desse carotenoide (Tabela 1).

O conteúdo de licopeno, relatados por Karakaya e Niluefer (2007), em tomates frescos, secos ao sol e enlatados, foi de 17,4; 55,1 e 35,5 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (base úmida), sendo que a biodisponibilidade desse carotenoide foi mais elevada para o tomate seco (58,05%), seguido pelo tomate fresco (28,67 %) e pelo tomate enlatado (21,83%).

Segundo Kobori *et al.* (2010), os molhos e polpas de tomate apresentam teores similares de licopeno; no entanto, esses valores são inferiores ao do extrato, o que se deve pelo fato do extrato ser um produto concentrado. Porém esse produto é geralmente incorporado em formulações de alimentos, o que faz com que seja diluído enquanto que os molhos são prontos para o consumo. Por outro lado, o tomate seco é um produto pronto para o consumo, o qual apresenta altas concentrações de licopeno, mesmo tendo passado por um processamento térmico a altas temperaturas, porque durante o processamento esse carotenoide é concentrado devido à evaporação de água.

Shi *et al.* (2008), ao estudarem o comportamento do licopeno durante o tratamento térmico do purê de tomate, relatam que a 60 °C não houve alterações significativas para o teor total de licopeno e para seus isômeros trans; no entanto, o mesmo não foi verificado para os isômeros cis, os quais apresentaram um acréscimo de aproximadamente 23% depois de 6 h de tratamento. Ao submeter a amostra à temperatura de 100 °C, ao final de 6 h, os autores observaram um aumento significativo tanto no teor total de licopeno como no teor de licopeno na forma trans, o que segundo esses estudiosos pode ser atribuído a melhor extratibilidade do licopeno a temperaturas mais elevadas, pelo rompimento das paredes celulares. O conteúdo de isômeros cis apresentou os maiores aumentos à temperatura de 80 °C por 2 h e a 120 °C por 1 h, sendo de aproximadamente 18% e 35% respectivamente.

Fabbri *et al.* (2011) realizaram estudos nos quais os tomates foram tratados com diferentes doses de radiação, e constataram que baixas doses de radiação (até 0,5 kGy) podem favorecer a biodisponibilidade do licopeno. No entanto, ao se aplicar doses superiores de radiação, o teor de licopeno apresentou um decréscimo de aproximadamente 50%. Os autores verificaram que molhos

preparados com tomates irradiados não apresentaram diferença significativa no conteúdo de licopeno em relação ao molho controle.

Goiaba

O licopeno está presente na goiaba vermelha em níveis elevados (Tabela 1), na qual os teores variam de 44,8 a 85,2 μg de licopeno. g^{-1} , representando de 76% a 93% dos carotenoides presentes nessa fruta.

Conteúdos elevados de licopeno também permanecem em seus derivados (Escobar e Sylos, 2006; Padula e Rodriguez-Amaya, 1986; Rodriguez-Amaya e Porcu, 2004), como na goiabada, na qual o licopeno representa de 78% a 98% dos carotenoides (Escobar e Sylos, 2006; Rodriguez-Amaya e Porcu, 2004). Ao comparar os teores de licopeno da goiaba *in natura* com o de goiabadas de diferentes marcas, foi constatado que o processamento não inferiu em grandes perdas no teor de carotenoides. Rodriguez-Amaya e Porcu (2004) relatam que o maior teor de licopeno obtido entre diversas marcas de goiabada foi de 84,0 μg de licopeno. g^{-1} de produto.

Em estudo realizado por Rodriguez-Amaya e Porcu (2004) durante o processamento de goiaba (com 85,2 μg de licopeno. g^{-1}), na forma de polpa, goiabada e *guatchup*, os autores relatam que os teores de licopeno desses produtos foram respectivamente de 134,0 μg de licopeno. g^{-1} , 83,9 μg de licopeno. g^{-1} e de 98,3 μg de licopeno. g^{-1} . A polpa de goiaba foi inativada enzimaticamente (90 °C a 94,5 °C por 6 minutos) e depois utilizada como matéria-prima para a elaboração da goiabada, que foi concentrada a 62,5 °C por 2,5 h até 74,8 °Brix, e do *guatchup*, que foi concentrado até 33 °Brix e posteriormente pasteurizado. Esses resultados evidenciam que não houve grandes perdas de licopeno durante o processamento desses produtos, os quais são considerados fontes ricas em licopeno (Rodriguez-Amaya e Porcu 2004). Nesse mesmo estudo, os autores observaram que depois da inativação enzimática (90 °C por 6 minutos), a que foi submetida a polpa de goiaba, ocorreu um decréscimo no teor de licopeno; no entanto, observou-se um aumento no conteúdo de isômeros *cis*. Essa mesma tendência foi observada depois da caramelização da goiabada processada por 15 minutos a temperatura de 100 °C (Escobar e Sylos, 2006).

Durante o processamento do suco de goiaba foi observado um aumento no conteúdo de isômeros *cis* de licopeno; no entanto, durante a estocagem desse produto a temperatura ambiente, ocorreu um decréscimo tanto nos teores de isômeros *cis* como de *trans* de licopeno (Padula e Rodriguez-Amaya, 1986).

Goiaba vermelha foi usada na elaboração do néctar (com 54,6 μg de licopeno. g^{-1}), o qual foi elaborado com 40% de polpa. Durante a pasteurização do produto a 85 °C por 42 segundos, observou-se perdas no conteúdo de licopeno de 8,05% a 11,95% (Correa, 2002). Esses autores também

verificaram a estabilidade do licopeno durante a estocagem dos néctares, e relatam que nos néctares estocados sem refrigeração ocorreram perdas de 12,6% a 14,6% no teor de licopeno, enquanto que nos néctares que foram estocados sob-refrigeração as perdas foram de maiores, 17,7% a 22,0% (Correa, 2002).

Pitanga, mamão formosa e melancia

Por ser um fruto altamente perecível, o processamento da pitanga é uma alternativa para a utilização do fruto por mais tempo, sendo utilizado principalmente na elaboração de polpas e de sucos, que também apresentam teores consideráveis de licopeno.

Porcu e Rodriguez-Amaya (2008) verificaram teores mais baixos de licopeno na polpa de pitanga congelada comparado aos teores encontrados nos frutos *in natura* produzidos em estados do Nordeste do Brasil. Esses estudiosos atribuem essas perdas a possível degradação por ação enzimática, facilitada pela ruptura dos tecidos durante a elaboração da polpa. Resultados similares foram observados com duas marcas de sucos de pitanga engarrafados (produzidos no Ceará) comercializadas em Campinas/SP. Os teores de licopeno também foram inferiores aos obtidos na fruta *in natura*; no entanto, mesmo sendo submetido ao tratamento térmico, os sucos de pitanga engarrafados apresentaram teores de licopeno superiores ao da polpa congelada.

O mamão também é uma importante fonte de licopeno, pois está disponível o ano inteiro e apresenta ampla aceitabilidade. Foi observado na polpa submetida ao tratamento térmico de 95 °C por 20 e 60 segundos, que os teores de licopeno foram de 18,22 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e 18,87 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente, sendo 17% e 21% superiores quando comparados com o teor de licopeno da fruta *in natura* utilizada na elaboração das polpas, que foi de 15,54 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (Ribeiro, 2009). Weisburger (2002) afirma que esse aumento pode estar relacionado ao enfraquecimento das ligações do licopeno com a parede celular, que ocorre por causa do aquecimento, aumentando a facilidade de extração.

De acordo com estudos realizados por Shinagawa (2009), as polpas de mamão da cv. Formosa submetida à pressão de 300 MPa por 5 e 15 minutos apresentaram um decréscimo de cerca de 22% e 23% no teor de licopeno respectivamente, enquanto as polpas submetidas à pressão de 500 MPa 15 minutos apresentaram uma redução de 42%. Esses resultados demonstram que quanto maior o tempo de exposição da polpa a altas pressões maior é a degradação do licopeno.

A melancia também deve a sua cor ao licopeno e, apesar de ser amplamente consumida em praticamente todas as regiões do planeta, tem sido ainda pouco estudada. Essa fruta apresenta um teor de licopeno superior ao do tomate, sendo assim uma das mais importantes fontes de licopeno, assim como seus derivados (Niizu e Rodriguez-Amaya, 2003).

A secagem por *spray-drier* do suco de melancia propicia a concentração do teor de licopeno no produto seco; no entanto, quanto maior a temperatura inicial utilizada no secador, maior foi a redução no teor de licopeno, o que pode ter ocorrido devido a oxidação e degradação térmica. O uso de temperaturas inferiores de entrada pode resultar em produtos com maior teor de umidade, que tendem a se aglomerar, reduzindo assim a superfície exposta ao oxigênio e conseqüentemente a degradação do licopeno (Quek *et al.*, 2007).

Sucos de melancia que continham 52,90 µg de licopeno.mL⁻¹ foram submetidos à termossonicação em diferentes temperaturas (25 °C, 35 °C e 45 °C), amplitudes (24,4; 42,7 e 61 mm) e tempos (0; 2; 6 e 10 minutos), com a finalidade de minimizar a degradação de compostos bioativos durante a aplicação do tratamento térmico. A partir desses tratamentos os autores verificaram que a retenção do licopeno variou entre 46,4% e 106,7%. Foi observado um pequeno aumento no teor de licopeno nas amplitudes mais baixas (24,4 e 42,7), no entanto na maior amplitude o teor de licopeno apresentou significativa redução (p<0,05). Nas amostras processadas a temperaturas mais elevadas ocorreu diminuição significativa no teor de licopeno, o que pode ter ocorrido pela destruição térmica e oxidação. Os sucos processados por maior tempo apresentaram diminuição significativa no conteúdo de licopeno (Rawson *et al.*, 2011).

Conclusão

O tomate é a fonte de licopeno mais estudada, porém existem outras fontes de licopeno como a goiaba, o mamão e a pitanga e em outras, com quantidades até superiores, como na melancia.

No entanto, ainda há uma carência de dados sobre a influência do processamento no teor e na conformação do licopeno em produtos derivados de tomate e de outras fontes e sobre a quantidade de energia necessária para que ocorra isomerização sem comprometer a quantidade de licopeno, uma vez que pode ser degradado durante o processamento térmico.

Destaca-se a necessidade de mais estudos sobre a determinação da atividade antioxidante dos produtos submetidos a diferentes tratamentos térmicos, incluindo análises *in vivo*.

Referências

ALVARENGA, J.F.R. *et al.* 2017. Home cooking and ingredient synergism improve lycopene isomer production in Sofrito. *Food Research International*, **99**: 851–861. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.01.009>

ANDERSON, D. 2000. Antioxidant defences against reactive oxygen species causing genetic and other damage. *Mutation Research*, **350**(1):103–108. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(95\)00096-8](https://doi.org/10.1016/0027-5107(95)00096-8)

BOILEAU, A.C.; *et al.* 1999. Cis-lycopene, is more bioavailable than trans-lycopene in vitro and in vivo in lymph-cannulated ferrets. *Journal Nutrition*, **129**(6):1176–1181. <https://doi.org/10.1093/jn/129.6.1176>

BOILEAU, T.W. *et al.* 2002. Bioavailability of all-trans and cis-isomers of lycopene. *Experimental Biology and Medicine*, **227**(10):914–919. <https://doi.org/10.1177/153537020222701012>

BRAMLEY, P.M. 2000. Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry*, **54**(3):233–236. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00103-5](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00103-5)

CHENG, H.M.; *et al.* 2017. Tomato and lycopene supplementation and cardiovascular risk factors: a systematic review and meta-analysis, *Atherosclerosis*, **257**:100–108. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2017.01.009>

CORREA, M.I.C. 2002. *Processamento de néctar de goiaba (Psidium guajava L. var. Paluma): compostos voláteis, características físicas e químicas e qualidade sensorial*. Viçosa, MG. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Viçosa, 98 p.

DONHOWE, E.G.; KONG, F. 2014. Beta-carotene: digestion, microencapsulation, and in vitro bioavailability. *Food and Bioprocess Technology*, **7**(2): 338–354. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1244-z>

EL-AGAMEY, A. *et al.* 2004. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, (430):37–48. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2004.03.007>

ELIASSEN, A.H. *et al.* 2012. Circulating carotenoids and risk of breast cancer: pooled analysis of eight prospective studies. *Journal of the National Cancer Institute*. **104**(24):1905–1916. <https://doi.org/10.1093/jnci/djs461>

ESCOBAR, A.P.; SYLOS, C.M. 2006. *Efeito do processo de obtenção de polpa de goiaba e goiabada sobre os teores de licopeno e de beta-caroteno*. Araraquara, SP. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de São Paulo, 90 p.

FABBRI, A.D.T. *et al.* 2011. Study of physical-chemical properties and lycopene content of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* mill) submitted to different doses of gamma radiation. IMRP - International Meeting on Radiation Processing. *Food Chemistry*, (221):698–705.

GOMES, F.S. 2007. Carotenóides: uma possível proteção contra o desenvolvimento de câncer. *Revista Nutrição*, **20**(5):537–548. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732007000500009>

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J.M.C. 1999. The chemistry of free radicals and, related reactive species. 1999. In: *Free radicals in biology and medicine*. 3. ed. Oxford, Clarenton Press, p. 36–104.

JACQUES, A.C.; ZAMBIASI, R.C. 2011. Fitoquímicos em amora-preta (*Rubus* spp). *Semina: Ciências Agrárias*, **32**(1):245–260. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2011v32n1p245>

JAYATHUNGE, *et al.* 2017. Enhancing the lycopene in vitro bioaccessibility of tomato juice synergistically applying thermal and non-thermal processing Technologies. *Food Chemistry*, **221**(15):698–705. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.117>

KARAKAYA, S.; NILUEFER, Y. 2007. Lycopene content and antioxidant activity and processed tomatoes and in vitro bioavailability. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **87**(12):2342–2347. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2998>

KHACHIK, F. *et al.* 2002. Chemistry, distribution, and metabolism of tomato carotenoids and their impact on human health. *Experimental Biology and Medicine*, **227**(10): 845–851. <https://doi.org/10.1177/153537020222701002>

KOBORI, C.N. *et al.* 2010. Teores de carotenóides em produtos de tomate. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, **69**(1):78–83.

LEMMENS, L.; *et al.* 2014. Carotenoid bioaccessibility in fruit- and vegetable-based food products as affected by product (micro) structural characteristics and the presence of lipids: A review. *Trends in Food Science & Technology*, **38**(2):125–135. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.05.005>

LIMA, V.L.A.G. *et al.* 2002. Fenólicos e carotenóides totais em pitanga. *Scientia Agricola*, **59**(3):447–450. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000300006>

MATIOLI, G.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 2003. Microencapsulação do licopeno com ciclodextrinas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, (23):102–105. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612003000400019>

MORITZ, B.; TRAMONTE, V.L.C. Biodisponibilidade do licopeno. 2006. *Revista de Nutrição*, **19**(2):265–273. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732006000200013>

MÜLLER L. *et al.* 2015. Lycopene and its antioxidant role in the prevention of cardiovascular diseases. A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **56**(11):1868–1879. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.801827>

NIIZU, P.Y.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 2003. A melancia como fonte de licopeno. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, **62**(3):195–199.

PADULA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 1986. Characterisation of the carotenoids and assessment of the vitamin A value of brasilian guavas (*Psidium guajava* L.). *Food Chemistry*, (2):11–19. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90163-9](https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90163-9)

POJER, E. *et al.* 2013. The case for anthocyanin consumption to promote human health: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **12**(5):483–508. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12024>

PORCU, O.M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 2008. Variation in the Carotenoid Composition of the Lycopene-Rich Brazilian Fruit *Eugenia uniflora* L. *Plant Foods for Human Nutrition*, (63):195–199. <https://doi.org/10.1007/s11130-008-0085-9>

QUEK, S.Y. *et al.* 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing*, (46):386–392. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>

RAMOS, M.I.L. *et al.* 2001. Efeito do cozimento convencional sobre os carotenóides pró vitamínicos “A” da polpa do piqui (*Caryocar brasiliense* Camb.). *Boletim CEPPA*, **19**(1):23–32. <https://doi.org/10.5380/cep.v19i1.1219>

RAO, A.V. *et al.* 1998. Lycopene content of tomatoes and tomato products and their contribution to

dietary lycopene. *Food Research International*, **31**(10):737–741. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(99\)00053-8](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(99)00053-8)

RAO, A.V.; AGARWAL, S. 2000. Role of oxidant lycopene in cancer and heart disease. *Journal of the American College of Nutrition*, **19**(5):563–569b. <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718953>

RAO, A.V.; SHEN, H. Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. 2002. *Nutrition Research*, **10**(22):1125–1131. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(02\)00430-X](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(02)00430-X)

RAWSON, A. *et al.* 2011. Effect of thermosonication on bioactive compounds in watermelon juice. *Food Research International*, (44): 1168–1173. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.07.005>

RIBEIRO, M.L. 2009. *Efeito do processamento térmico nas características físico-químicas, nutricionais, microbiológicas e na atividade enzimática de polpa de mamão Formosa (Carica papaya L.)* Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 90 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 1997. *Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods*. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.579.1505&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 2 dez. 2017.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Latin American food sources of carotenoids. 1999. *Archive Latinoamerican Nutrition*. **49**(3):74–84.

RODRIGUES-AMAYA, D.B. *et al.* 2008a. *Fontes brasileiras de carotenóides: tabela brasileira de composição de carotenóides em alimentos*. Brasília, DF: MMA/SBF, 2008. 100 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. *et al.* 2008b. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 21, n. 6: p 445–463. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.04.001>

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; PORCU, O.M. 2004. Pink fleshed guava and guava products as rich sources of lycopene. Effects of industrial processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **22**.

SAINI, R.K.; *et al.* 2015. Carotenoids from fruits and vegetables: Chemistry, analysis, occurrence, bioavailability and biological activities. *Food Research International*, **76**:735–750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.047>

SERTANIN, M.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 2007. Teores de carotenóides em mamão e Pêssego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, **27**(1):13–19. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100003>

SHAMI N.J.I.; MOREIRA, E.A.M. 2004. Licopeno como agente antioxidante. *Revista de Nutrição*, **17**(2):227–236. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732004000200009>

SHI, J. *et al.* 2008. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato puree. *Food Control*, **19**(5):514–520. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2007.06.002>

SHI, J.; MAGUER, M.L. 2000. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affect by food processing. *Critical Reviews in Biotechnology*, **20**(4):293–334. <https://doi.org/10.1080/07388550091144212>

SHINAGAWA, F.B. 2009. *Avaliação das características bioquímicas da polpa de mamão (Carica papaya L.) processada por alta pressão hidrostática*. Rio de Janeiro, RJ. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 125 p.

STAHL, W.; SIES, H. 1999. Carotenoids: occurrence, biochemical activities, and bioavailability. In: L. PACKER *et al.* (eds.), *Antioxidant food supplements in human health*. San Diego, Academic Press, p. 183–198. <https://doi.org/10.1016/B978-012543590-1/50014-7>

TANAKA, T. *et al.* 2012. Cancer chemoprevention by carotenoids. *Molecules*, **17**(3):3202–3242. <https://doi.org/10.3390/molecules17033202>

TAWATA, N. 2010. *Determinação de carotenóides em alimentos brasileiros in natura, processados e preparados para a tabela nacional de composição de alimentos*. Campinas, SP. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. 65 p.

TESTON A.P. *et al.* 2010. Envelhecimento cutâneo: teoria os radicais livres e tratamentos visando a prevenção e o rejuvenescimento. 2010. *Revista Uningá*, (24):71–92.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). 2011. National Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Acesso em: 06/12/2011.

VAN HET HOF, K. H. *et al.* 2000. Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *The Journal of Nutrition*, **130**(3):503–506. <https://doi.org/10.1093/jn/130.3.503>

WEISBURGER, J.H. 2002. Lycopene and tomato products en health promotion: mediterranean diet in disease prevention. *Experimental Biology and Medicine*, **227**(10):924–927. <https://doi.org/10.1177/153537020222701014>

WILBERG, V.C.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. 1995. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, (28):474–478. <https://doi.org/10.1006/fstl.1995.0080>

WILLCOX, J.K. *et al.* 2003. Tomatoes and cardiovascular health. *Critical Reviews in Food Science Nutrition*, **43**(1):1–18. <https://doi.org/10.1080/10408690390826437>