

Efeito do processamento na composição bioativa e na capacidade antioxidante de tomates

RESUMO

Objetivou-se avaliar os efeitos do processamento sob a capacidade antioxidante de Tomate Seco Processado (TSP), por meio da comparação com Pasta de Tomate *in natura* (PT) e Tomate Seco Industrializado (TSI). As análises realizadas foram: carotenoides totais (CT), teor de antocianinas totais, polifenóis extraíveis totais (PET), atividade antioxidante total (DPPH) e capacidade antioxidante total (ABTS⁺). Os dados obtidos foram avaliados quanto à correlação de Pearson. Observaram-se perdas de compostos bioativos nos tomates secos, exceto para antocianinas, onde TSP (3,04 mg.100 g⁻¹) e TSI (2,67 mg.100 g⁻¹) apresentaram teores estatisticamente superiores à PT *in natura* (1,65 mg.100 g⁻¹), mostrando que o processamento promoveu a concentração das antocianinas. TSP e TSI forneceram acima de 100% da necessidade diária de licopeno total recomendada (8,06 e 10,96 mg/dia, respectivamente), na porção de consumo de 40 g, apresentando-se como alimentos ricos nesse carotenoide. Comparando-se os dois métodos de avaliação de atividade antioxidante total, pelo DPPH e pelo ABTS⁺, verificou-se que o TSP apresentou as melhores atividades antioxidantes (3379,93 EC₅₀ em g.g⁻¹ DPPH e 16,44 microM Trolox.g⁻¹), em ambas as metodologias, em comparação a TSI e PT. A correlação de Pearson apontou que a atividade antioxidante dos produtos avaliados está mais relacionada à presença de carotenoides e antocianinas. O processamento térmico apresentou respostas variáveis na retenção e perda dos diferentes compostos bioativos, mas conferiu aumento da atividade antioxidante total. Os tomates secos apresentaram-se como produtos com alto teor de compostos antioxidantes, que podem substituir o tomate *in natura*, além de ser uma rica fonte de licopeno.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade antioxidante *in vitro*; compostos bioativos; desidratação.

Samuel Carneiro de Barceloss.c.barcelos.ifce@gmail.com<http://orcid.org/0000-0002-1706-9114>

Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO), Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia em Agropecuária, Universidade Estadual do Ceará (UECE), Câmpus Itaperi, Fortaleza, Ceará, Brasil.

Edilene Ferreira da Silvasilvaedilene16@hotmail.com<http://orcid.org/0000-0001-7073-7962>

Departamento de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Câmpus Centro de Ciências Agrárias (CCA), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

Elisabeth Mariano Batistaelisabethmariano@hotmail.com<http://orcid.org/0000-0001-5250-4110>

Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará, Câmpus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brasil.

Pahlevi Augusto de Souzapahlevi10@hotmail.com<http://orcid.org/0000-0002-7964-3193>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Câmpus Currais Novos, Currais Novos, Rio Grande do Norte, Brasil.

Virna Luiza de Fariasvirna@ifce.edu.br<http://orcid.org/0000-0003-1459-7525>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Câmpus Limoeiro do Norte, Limoeiro do Norte, Ceará, Brasil.

INTRODUÇÃO

O consumidor demonstra cada vez mais preocupação com a saúde, refletindo na procura por qualidade de vida, estendendo-se aos cuidados com a alimentação. Esta passou a caracterizar-se por uma demanda crescente por produtos saudáveis e naturais, frescos ou minimamente processados, acessíveis, com um custo reduzido, seguros e convenientes (GRUNERT, 2010; KEENAN *et al.*, 2012). Alimentos à base de plantas como frutas, legumes e grãos integrais, que contêm quantidades significativas de fitoquímicos bioativos, podem proporcionar benefícios desejáveis para a saúde além da nutrição, reduzindo o risco de doenças crônicas (AHMED; ALI, 2013), devido à sua ação antioxidante.

Os antioxidantes obtidos de fontes alimentares são divididos em vários grupos, sendo o grupo dos polifenóis o maior. Outras classes de antioxidantes provenientes da alimentação englobam as vitaminas, os carotenoides, os compostos organossulfurados e os minerais. Os compostos fenólicos incluem os ácidos fenólicos, os taninos, os estilbenos, as cumarinas e os flavonoides (RATNAM *et al.*, 2006; HALLIWELL, 2011).

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.), fruto do tomateiro, é uma hortaliça rica em vitaminas, minerais, conteúdo fenólico, carotenoides, como o licopeno, fibras alimentares, proteínas, sendo que grande parte desses compostos possui ação antioxidante. Devido a estas características, o tomate e seus produtos são considerados alimentos funcionais, e em diversos estudos tem sido mostrado que o consumo de tomates e seus derivados pode reduzir o risco de desenvolver doenças crônicas não transmissíveis, como as cardiovasculares e alguns tipos de cânceres, principalmente de próstata (HEREDIA *et al.*, 2010; ÇELIK; AYAN; ATAK, 2017; GUMUSAY *et al.*, 2015; TILAHUM *et al.*, 2017).

Os compostos fenólicos e os carotenoides são os principais compostos biologicamente ativos presentes em tomates maduros (SALEHI *et al.*, 2019), prevalecendo nesses frutos o licopeno, responsável pela sua cor vermelha (PERVEEN *et al.*, 2015). O licopeno é o constituinte mais estudado dos tomates, com atividades antioxidante e anticâncer confirmadas, pois de fato, o tomate e os alimentos à base de tomate são conhecidos como as principais fontes de ingestão de carotenoides na maioria dos países (SALEHI *et al.*, 2019).

O tomate é consumido tanto na forma *in natura*, em saladas, quanto processado, como extratos, molhos, purês, ketchup, sucos, desidratados ou na forma de tomate seco. Em 2008, cerca de um terço da produção de tomate era direcionada para o processamento industrial (GAMEIRO *et al.*, 2008). Em decorrência do seu baixo custo e disponibilidade durante todo o ano, seu consumo é observado em todas as classes socioeconômicas, atingindo considerável parcela da população mundial (BUGIANESI *et al.*, 2004). Um dos subprodutos do tomate, é o tomate seco, que foi introduzido no Brasil por imigrantes da Espanha e da Itália, e tem sido consumido como ingrediente de massas e pizzas ou como aperitivo (FAGUNDES *et al.*, 2005). Porém, no Brasil, devido a fabricação do tomate seco ainda ser realizada por pequenas empresas que utilizam equipamentos artesanais, a maior parte do comércio brasileiro de tomate seco é dominado por outros países (MELO; VILELA, 2005).

A secagem, aplicada nos produtos tanto de origem animal como de origem vegetal, é um dos métodos fundamentais do manejo pós-colheita e eleva a vida

útil do produto por remoção de água a um nível em que a atividade de micro-organismos e enzimas são inibidas (SOUSA *et al.*, 2018). A secagem por ar quente é o método mais amplamente utilizado para a produção de frutas e legumes desidratados devido aos baixos custos de investimento e operação, no entanto, a temperatura de secagem do produto é considerada uma etapa crítica, pois pode induzir alterações significativas nos componentes químicos e bioativos dos alimentos e nas propriedades físicas (cor e estrutura) (KAUR; KAUR; AHLUWALIA, 2020), além de deterioração dos compostos bioativos, obtendo-se um produto de qualidade nutricional reduzida (DAVOODI *et al.*, 2007).

Deste modo, objetivou-se avaliar os efeitos do processamento sob a capacidade antioxidante de tomate seco processado, por meio da comparação com tomate *in natura*.

MATERIAIS E MÉTODOS

DURAÇÃO E LOCAL DA PESQUISA

A pesquisa foi conduzida na Planta de Frutos e Hortaliças e no Laboratório da Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos (PGTA), do Instituto Federal do Ceará-Campus Limoeiro do Norte, no período de julho a agosto de 2016.

OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Os tomates *in natura* (*Solanum lycopersicum* L.) utilizados no processamento do tomate seco foram adquiridos em galpão de comercialização de frutas e hortaliças, localizado na cidade de Limoeiro do Norte-Ceará.

Foram analisadas, para fins de comparação, amostras de Tomates Secos Industrializados em conserva (TSI), adquiridos em triplicata, em embalagens de vidro íntegras, sem proteção da luz, em temperatura média de 25 °C, com mesmo lote de fabricação, em supermercado localizado na cidade de Teresina-Piauí. Imediatamente após sua aquisição, as amostras foram mantidas ao abrigo de luz e sob refrigeração a 4 °C (± 2 °C).

OBTENÇÃO DA PASTA DE TOMATE E PROCESSAMENTO DO TOMATE SECO

Os tomates *in natura* (*Solanum lycopersicum* L.) foram selecionados, e posteriormente sanitizados em solução de hipoclorito de sódio a 50 mg.L⁻¹ por 15 minutos. Em seguida, os tomates foram cortados ao meio e tiveram suas sementes retiradas.

Parte da matéria-prima foi destinada à obtenção da Pasta de Tomate (PT) *in natura* por meio de homogeneização em liquidificador doméstico (Mallory, Tornado-B91201262). Imediatamente após sua elaboração, a pasta foi armazenada em embalagens de vidro, ao abrigo da luz e sob refrigeração a 4 °C (± 2 °C).

A outra parte dos tomates cortados ao meio e sem sementes foram processados para elaborar o tomate seco processado (TSP). As matérias-primas foram imersas em solução salina a 5 g.100 mL⁻¹ por 30 minutos, e posteriormente foram colocadas em bandejas para a secagem em estufa com circulação forçada de ar (Heraeus Instruments) a 65 °C por 24 horas. Findando esse período, com as

embalagens de vidro previamente esterilizadas (em banho-maria a 100 °C por 15 minutos), foi acrescentado aos poucos o tomate seco, imerso em *blend* de azeite de oliva e óleo de milho (1:2, v:v) e orégano, com compressão. Após o envase, os tomates secos foram tratados termicamente (100 °C por 15 minutos) e imediatamente resfriados em banho de água fria. Por fim, foram armazenados ao abrigo da luz à temperatura ambiente (~ 30 °C) por três dias, para maturação do produto e depois disso foram refrigerados a 4 °C (± 2 °C).

QUANTIFICAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS

Com o intuito de comparar as perdas de compostos bioativos durante o processamento do TSP, por meio da comparação com a PT *in natura*, os resultados (obtidos em base úmida) foram convertidos em base seca (100 - Umidade), a partir da determinação da matéria seca das amostras ($n = 3$), de acordo com o método do IAL (2008). Os resultados obtidos para a amostra de TSI (amostra análoga de tomate seco) também foram convertidos em base seca

Para a realização das análises, tanto nas amostras de TSP quanto nas amostras de TSI, primeiramente o óleo foi drenado utilizando uma peneira caseira de polietileno, com leve compressão e homogeneização no tomate seco para facilitar o escoamento do óleo, sempre ao abrigo de luz, e em seguida os tomates secos foram triturados e homogeneizados em liquidificador doméstico.

CAROTENOIDES TOTAIS

Os carotenoides totais foram determinados de acordo com a metodologia descrita pela FAO (1997). Após a drenagem do óleo do tomate seco e homogeneização por trituração em liquidificador, massas de aproximadamente 1 g das amostras foram transferidas a um almofariz, maceradas com auxílio de um pistilo em presença de Celite[®] 545 (CAS 61790-53-2, Dinâmica, Diadema, São Paulo, Brasil) e acetona P.A. (Vetec, Duque de Caxias, RJ, Brasil) refrigerada (4 °C) para extração dos carotenoides (sempre ao abrigo de luz). Posteriormente o macerado (resíduo da amostra, acetona e Celite) foi filtrado a vácuo. O procedimento de extração com acetona foi repetido até obtenção de um resíduo de amostra incolor, e todos os filtrados foram juntos no mesmo kitassato. Aos filtrados foram combinados 30 mL de éter de petróleo P.A. (Vetec, Duque de Caxias, RJ, Brasil) em funil de separação. Foram adicionadas alíquotas de 10 mL de água destilada, e a fase superior foi então recuperada (processo repetido três vezes consecutivas) e purificada com sulfato de sódio anidro (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil). Por fim, o extrato obtido foi transferido para um balão volumétrico de volume conhecido e aferido seu volume com éter de petróleo. O teor total de carotenoides foi determinado registrando a absorbância a 470 nm em um espectrofotômetro UV-Visível (FENTO, 600 Plus). Foi adotado o coeficiente de absorção ($A^{1\%}_{1cm}$) de 3450, correspondente ao pigmento licopeno em solvente éter de petróleo (BRITTON 1995). Os carotenoides totais foram expressos em $\mu\text{g Licopeno.g}^{-1}$ de amostra.

ANTOCIANINAS TOTAIS (AnT)

O teor de antocianinas totais foi quantificado segundo metodologia descrita por Silva (1996); Teixeira *et al.* (2008), com modificações. Foi adotado o método

do pH único (pH 2,0), usando no cálculo o valor de 982 para o coeficiente médio de extinção ($E_{1\text{cm}}^{1\%}$), equivalente para várias antocianinas (FULEKI; FRANCIS, 1968).

Para a extração, foram pesados aproximadamente 10 g de cada amostra e misturadas com 80 mL de solvente extrator etanol:água (70:30 v:v) (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil) com o pH do meio ajustado para 2 com HCl (Dinâmica, Diadema, São Paulo, Brasil) e, deixado em repouso para a extração por 24 horas sob temperatura de refrigeração (4 °C) e ao abrigo de luz. Após a extração, o material foi prensado manualmente em filtro de tecido (tecido de microfibras, sintético 100% poliéster) e o filtrado transferido para balão volumétrico de 100 mL, tendo seu volume aferido com o solvente extrator etanol:água (70:30 v:v), para assim formar o extrato concentrado. Os extratos concentrados foram centrifugados a 2000 rpm/10 minutos a 4 °C em centrífuga (Eppendorf, 5804 R, rotor horizontal modelo A-4-62 / 5810709.008), sendo em seguida o seu sobrenadante filtrado em papel filtro. Findando a filtração, os extratos foram purificados extraíndo-se (três extrações sucessivas) o conteúdo de clorofila com auxílio de 10 mL de solvente extrator éter etílico:éter de petróleo (50:50 v:v) (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil). Por fim, foi transferido um volume conhecido dos extratos concentrados para balões de 10 mL e aferido seus volumes com solução etanol 95% : HCl 1.5N (85:15 v:v) (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil), formando o extrato diluído e, a partir desse, as absorvâncias foram registradas a 535 nm em espectrofotômetro UV-Visível previamente zerado com o branco, que consistiu em uma solução etanol 95% : HCl 1.5N (85:15 v:v). O teor de antocianinas totais foi expresso em $\text{mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ de amostra.

EXTRATO PARA ANÁLISE DO CONTEÚDO FENÓLICO TOTAL E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

O preparo dos extratos antioxidantes foi realizado de acordo com o método de Larrauri, Rupérez e Saura-Calixto (1997). Para a preparação dos extratos, foram pesados aproximadamente 10 g de cada amostra de tomate, misturadas com 40 mL de metanol 50% (v/v, metanol/água) (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil) e mantidos à temperatura ambiente por 60 minutos (ao abrigo de luz). Em seguida foram então centrifugados a 4000 rpm/10 minutos em centrífuga e, logo depois o sobrenadante foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL. Na sequência, 40 mL de acetona a 70% (70:30 v/v, acetona/água) (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil) foram adicionados ao resíduo (*pellet*) da centrifugação, repetindo-se a extração à temperatura ambiente durante 60 minutos com posterior centrifugação nas mesmas condições. Por fim, no mesmo balão volumétrico de 100 mL contendo o extrato metanólico, foi adicionado o extrato de acetona obtido, e aferido seu volume para 100 mL com água destilada.

POLIFENÓIS EXTRAÍVEIS TOTAIS (PET)

Os Polifenóis Extraíveis Totais (PET), equivalente em ácido gálico, foram determinados pelo método de Folin-Ciocalteu, segundo procedimento descrito por Obanda, Owuor e Taylor (1997), com adaptações. A curva padrão foi preparada a partir da solução padrão de ácido gálico (Acros Organics™) variando sua concentração entre 10 a 60 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$. Diluições conhecidas dos extratos antioxidantes das amostras de tomate (1 mL) foram adicionadas a 1 mL de

reagente de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EUA) (diluído na proporção reagente:água destilada de 1:3), 2 mL de solução de carbonato de sódio 20% (Vetec, Duque de Caxias, RJ, Brasil) e 2 mL de água destilada. Após 30 minutos de repouso da mistura, as absorvâncias foram registradas a 700 nm em espectrofotômetro de UV-Visível. Para calibrar o espectrofotômetro, foi utilizado como o branco: 1 mL de água destilada (em substituição à amostra), adicionada de 1 mL de reagente de Folin-Ciocalteu, 2 mL de solução de carbonato de sódio 20% e 2 mL de água destilada. A concentração de polifenóis extraíveis totais foi expressa em $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de amostra, equivalente a ácido gálico.

CAPACIDADE ANTIOXIDANTE IN VITRO: ENSAIO ABTS^{•+}

A Capacidade Antioxidante Equivalente ao Trolox (TEAC) pelo método ABTS^{•+} (2,2-azino bis (3-ethylbenzo thiazoline 6 sulfonic acid)) (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA), foi analisada segundo método descrito por Miller *et al.* (1993), com modificações de Rufino *et al.* (2007a). A solução de ABTS^{•+} foi preparada misturando 5 mL de solução estoque de ABTS (7 mM), com 88 μL de solução de persulfato de potássio 140 mM (Acros Organics™) e mantendo a mistura à temperatura ambiente ($\sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$) e ao abrigo de luz por 16h. Findando esse período, a solução ABTS^{•+} foi diluída com etanol P.A (Dinâmica, Diadema, SP, Brasil) até uma absorvância de 0,700 nm ($\pm 0,05 \text{ nm}$) a 734 nm, medida em espectrofotômetro UV-Visível, previamente zerado com o branco, etanol P.A. A curva padrão foi preparada por meio da mistura de 30 μL da solução padrão de Trolox (2 mM) (Trolox – (6-hydroxy- 7,8-tetramethyl chroman-2-carboxylic acid), Sigma-Aldrich, St. Louis MO, USA), variando sua concentração de 100 μM a 2000 μM , com 3 mL de solução ABTS^{•+} e, após 6 minutos as absorvâncias foram registradas a 734 em espectrofotômetro UV-Visível. Para a determinação da TEAC nas amostras, seguiu-se o mesmo procedimento para obtenção da curva padrão, com substituição das soluções de cada ponto da curva por 30 μL de cada uma das três diluições diferentes dos extratos antioxidantes das amostras. O valor da TEAC foi expresso em μM de Trolox. $\cdot\text{g}^{-1}$ de amostra.

CAPACIDADE ANTIOXIDANTE IN VITRO: ENSAIO DE DPPH[•]

A capacidade de capturar o radical 2,2-Difenil-1-picrilhidrazil (DPPH[•]) (Sigma-Aldrich, St. Louis MO, EUA) foi determinada de acordo com método descrito por Brand-Williams *et al.* (1995) com modificações de Rufino *et al.* (2007b). Foi preparada uma solução inicial de DPPH[•] (60 μM), com metanol P.A. A curva padrão foi preparada a partir da solução inicial de DPPH[•], variando sua concentração de 10 μM a 50 μM , e posteriormente as absorvâncias foram registradas a 515 nm em espectrofotômetro UV-Visível, previamente zerado com o branco, metanol P.A. Para a determinação da Atividade Antioxidante Total (AAT), 100 μL de cada diluição (três diluições diferentes) dos extratos antioxidantes, foram misturados com 3,9 mL de solução de DPPH[•] (60 μM). Também foi realizado um controle, apenas com solvente (40:40:20, metanol 50% : acetona 70% : água, respectivamente). As absorvâncias foram registradas a 515 nm a cada minuto, em um espectrofotômetro UV-Visível, até a estabilidade das leituras (após 30 minutos). A AAT foi expressa em EC_{50} em g de amostra. $\cdot\text{g}^{-1}$ DPPH[•], quantidade de amostra em g, necessária para reduzir em 50% a quantidade inicial, também em g, do radical DPPH[•].

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todas as análises foram realizadas com três amostras independentes, em triplicata: $n = 3$. Os resultados foram expressos como média \pm desvio-padrão. Foram verificados e confirmados os pressupostos de normalidade e homogeneidade das variáveis, pelos testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett, respectivamente. Foi utilizada a Análise de Variância seguido da comparação de médias pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Além disso, o coeficiente de correlação de Pearson (r) foi calculado para determinar a correlação entre os compostos bioativos e a atividade antioxidante, utilizando-se os valores médios dos três tipos de amostras de tomate. O software estatístico utilizado para as análises foi o programa estatístico R, versão 3.5.0 (R CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

COMPOSTOS BIOATIVOS: CAROTENOIDES TOTAIS

Os resultados das análises de determinação de carotenoides totais nas amostras de pasta de tomate e tomate seco (processado e industrializado), expressos em μg licopeno. g^{-1} de amostra, em base seca, se encontram dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito do processamento do tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sobre os compostos bioativos carotenoides totais, antocianinas totais e polifenóis extraíveis totais.

Amostras de tomate	Compostos bioativos ¹		
	CT ²	AnT ³	PET ⁴
	(μg licopeno. g^{-1})	($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$) ³	(mg ácido gálico. 100 g^{-1})
PT	1425,04 \pm 38,47 ^a	1,65 \pm 0,33 ^b	526,15 \pm 12,36 ^a
TSP	293,75 \pm 13,23 ^c	3,04 \pm 1,28 ^a	427,82 \pm 16,49 ^b
TSI	747,45 \pm 12,23 ^b	2,67 \pm 0,49 ^a	420,57 \pm 17,36 ^b

NOTA: (PT) Pasta de Tomate *in natura*; (TSP) Tomate Seco Processado; (TSI) Tomate Seco Industrializado; (¹) Expressos em base seca, (100 - Umidade), onde: Umidade = $95,57 \pm 0,11 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para PT; $32,25 \pm 4,18 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ TSP; $63,82 \pm 0,86 \text{ g} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ para TSI; (²) CT = Carotenoides totais; (³) AnT = Antocianinas totais; (⁴) PET = Polifenóis extraíveis totais; Letras minúsculas sobrescritas (^a, ^b, ^c) distintas na mesma coluna indicam diferença significativa a 5% ($p < 0,05$).

Das amostras em estudo, a que se destacou em termos de carotenoides foi a PT, que apresentou 1425,04 μg de licopeno. g^{-1} de amostra, diferindo significativamente ($p < 0,05$) do TSP e do TSI. Este resultado foi 4,85 e 1,9 vezes superior aos encontrados nas amostras de TSP e TSI, respectivamente, como mostra a Tabela 1. Pode-se então afirmar que houve perda significativa ($p < 0,05$) de carotenoides, de 79,38%, durante o processamento na amostra de TSP, frente à PT. Comparando-se com a amostra industrializada (TSI), observou-se que esta apresentou maior concentração de carotenoides que a processada nesse trabalho (TSP).

Sabe-se que a concentração de carotenoides em matérias-primas é variável, dependente de fatores como: cultivar, variedade, maturidade na colheita, clima, local geográfico de produção, estação do ano, condições durante a produção agrícola, manuseio pós-colheita, processamento e condições de armazenamento

(RODRIGUEZ-AMAYA *et al.* 2008) e, portanto, não se pode afirmar que os tomates utilizados para a fabricação do TSI possuíam a mesma concentração de carotenoides que os tomates *in natura* aqui utilizados. A menor redução de carotenoides no produto industrializado pode ser atribuída à distinção de matérias-primas, às diferentes temperaturas e condições de secagem empregadas na obtenção dos produtos desidratados. Entretanto, apenas para fins de comparação, consideraram-se as matérias-primas do TSP e TSI como sendo a mesma, que é a PT.

Ringeisen *et al.* (2014) obtiveram resultados análogos ao presente estudo, ao trabalharem com o desenvolvimento de um secador solar de baixo custo, avaliando a sua eficiência na secagem de tomates Roma, e a sua qualidade com e sem o uso de concentrador solar. Os autores também identificaram decréscimos nos teores de licopeno, quando comparados com os tomates frescos, onde observaram perdas de 39 e 7%, com e sem o uso do concentrador solar côncavo, respectivamente. A menor degradação de licopeno pode estar fortemente relacionada à temperatura empregada na secagem dos tomates, visto que os autores supracitados utilizaram temperaturas que variaram de 24,1 a 33,3 °C por 8 horas, enquanto que neste estudo empregou-se temperatura mais elevada, de 65 °C (± 2 °C) por 24 horas.

Sahlin *et al.* (2004) estudaram o efeito do cozimento em água e do tratamento com óleo em duas cultivares de tomate (Aranca e Excell), cultivadas comercialmente na Nova Zelândia, onde uma amostra foi fervida em água durante 15 minutos; a outra, cozida por 18 minutos, e a última, frita por 4 minutos em azeite, com temperaturas internas e externas de 83 e 100 °C, 87 e 200 °C e, 75 e 110 °C, respectivamente, tomando uma amostra de tomate cru como referência. Os autores verificaram que a fervura e o cozimento promoveram pequena redução na concentração de ácido ascórbico, fenólicos totais, licopeno e antioxidante em ambas as cultivares. Entretanto, no processo de fritura perdas significativas dos compostos avaliados foram observadas comparado com a respectiva cultivar crua, constatando mais uma vez que a temperatura empregada no processamento é um fator determinante na concentração de licopeno no produto. Os autores obtiveram teores de licopeno para as diferentes variedades e tratamentos variando de 23,6 a 47,9 mg.100 g⁻¹ (em base seca), valores esses inferiores aos encontrados para carotenoides totais no presente trabalho para as amostras de PT e TSI, como mostrados na Tabela 1.

Entretanto, estudos apontam que o processamento térmico de tomates pode influenciar positivamente na disponibilidade dos carotenoides. Tal fato foi observado nos estudos de Stahl e Sies (1992), onde uma maior absorção de carotenoides ocorreu em um suco de tomate processado termicamente; e nas investigações de Porrini *et al.* (1998), que constataram através de testes *in vivo* que o processamento industrial de tomate (por exemplo, homogeneização e aquecimento) melhorou a disponibilidade de licopeno no organismo.

Shi *et al.* (2008) observaram que temperaturas entre 60 e 80 °C favorecem a formação e o acúmulo de isômeros *cis* e, o tempo de aquecimento mais longo, a 100 °C ou superior (120 °C), podem aumentar o rendimento de extração de licopeno em purê de tomate, por favorecem o rompimento das paredes celulares, aumentando assim a sua extração.

Diante dessas informações, mesmo com as perdas de carotenoides apresentadas frente à PT, as amostras TSP e TSI (Tabela 1) podem apresentar maior biodisponibilidade, tornando-as uma fonte mais valiosa de licopeno. Além disso, o processamento confere palatabilidade ao “fruto tomate”, o que faz com que esses produtos se tornem alternativas ao consumo de tomate *in natura*, aproveitando seus benefícios, como a redução do risco de doenças associadas ao *stress* oxidativo.

Alguns autores sugerem que uma ingestão diária variando de 5 a 10 mg (CAMPOS *et al.*, 2017; RAO; SHEN, 2002) de licopeno pode ser suficiente para obter os benefícios desse nutriente. Nesse sentido, nas porções de consumo de 60 g para a PT *in natura* e 40 g para os tomates secos (TSP e TSI), porções essas indicadas pela Resolução RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003 (BRASIL, 2003), as amostras de tomate forneceriam respectivamente 3,72, 8,06 e 10,96 mg de licopeno total/dia, contribuindo muito para a ingestão diária recomendada desse carotenoide na PT e, fornecendo acima de 100% da necessidade diária desse carotenoide as amostras de tomates secos (TSP e TSI), apresentando-se como alimentos ricos em licopeno.

COMPOSTOS BIOATIVOS: ANTOCIANINAS TOTAIS (AnT)

De acordo com a Tabela 1, pode-se inferir que das três amostras analisadas, a PT apresentou o menor teor de antocianinas totais (AnT), com 1,65 mg.100 g⁻¹, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) do TSP e TSI. A amostra que se destacou no teor de antocianinas foi o TSP, com 3,04 mg.100 g⁻¹ de antocianinas, mas foi semelhante estatisticamente ($p > 0,05$) ao TSI.

Apesar de estatisticamente semelhantes, o maior teor de AnT no TSP pode estar associado ao tipo de processamento aplicado ao tomate, bem como ao estágio de maturação da matéria-prima (tomate *in natura*), já que as antocianinas são pigmentos responsáveis pela coloração dos vegetais, conferindo diferentes tonalidades de cor de acordo com o estágio de maturação do vegetal (SEYMOUR *et al.*, 1993). A quantidade e o tipo das antocianinas nos vegetais também sofrem influência de alguns determinantes, como as condições de cultivo, tempo de plantio, exposição à luz UV e método de colheita (CARDOSO *et al.*, 2011).

O processamento promoveu a concentração das antocianinas, visto que os tomates secos processados (TSP) e industrializados (TSI) apresentaram 84,24 e 61,81% a mais de antocianinas (Tabela 1), respectivamente, em relação ao teor obtido para a PT *in natura*.

Borges (2011) analisou os bagaços de frutas em pó, e encontrou teores relevantes de antocianinas, que variaram de 1,67 mg.100 g⁻¹ para pitanga, até 377 mg.100 g⁻¹ para jamelão. Tal trabalho mostrou teores elevados de antocianinas em produtos desidratados, semelhante aos resultados encontrados no trabalho em questão.

COMPOSTOS BIOATIVOS: POLIFENÓIS EXTRAÍVEIS TOTAIS (PET)

De acordo com os resultados obtidos para os Polifenóis Extraíveis Totais (PET) (Tabela 1), verificou-se que a PT apresentou valor médio de 526,15 mg.100 g⁻¹, sendo este expressivo, e diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) dos tomates secos

(processado e industrializado). Com isso, constatou-se que os polifenóis não permaneceram estáveis nos tomates secos (processado e industrializado).

O TSP e o TSI apresentaram valores médios de 427,82 e 420,57 mg.100 g⁻¹, respectivamente (Tabela 1), não diferido estatisticamente entre si ($p > 0,05$), com perdas consideráveis de polifenóis, maiores ou iguais a 18,68%. Esse nível de degradação de polifenóis pode ser relacionado ao processamento térmico (secagem) ao qual os tomates foram submetidos e/ou pode ter havido perdas desse composto para o óleo, já que as amostras de tomate seco (TSP e TSI) foram drenadas.

Resultados superiores ao do presente trabalho para a PT, que apresentou $23,26 \pm 0,51$ mg ácido gálico.100g⁻¹ em base úmida (dados não mostrados), foram observados por Rocha e Silva (2011), que avaliando a atividade antioxidante total em tomates produzidos por cultivos orgânico e convencional, obtiveram valores de polifenóis correspondentes a 59,89 e 45,99 mg.100 g⁻¹ para as cultivares Débora e Alambra, respectivamente, em base úmida.

Cabe salientar que essas diferenças nos teores de polifenóis totais podem ser decorrentes da diferença de cultivares, além de outros fatores que devem ser considerados, como condições climáticas e de manejo, que influenciam na quantidade dos fitoquímicos presentes. Segundo Kaur e Kapoor (2002) a composição de polifenóis extraíveis totais em frutas pode ser modificada pelo ambiente e fatores pós-colheita, incluindo armazenamento e processamento, pois quando estes últimos são prolongados, promovem oxidação dos polifenóis extraíveis totais, contribuindo para a sua redução.

Cruz *et al.* (2012) determinaram a composição química, cor e qualidade sensorial do tomate seco a diferentes temperaturas, e verificaram teores de compostos fenólicos totais de 27,30 mg.100 g⁻¹ nas amostras processadas a 65 °C, em base úmida. Valores superiores foram obtidos no trabalho em questão para os TSP (mesma temperatura de secagem) e TSI.

CAPACIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*: CAPACIDADE ANTIOXIDANTE TOTAL (TEAC) PELO MÉTODO ABTS^{•+}

A TEAC equivalente ao Trolox (TEAC), pelo método da captura do radical ABTS^{•+} nas amostras de tomate estudadas, apresentou diferença estatística entre si ($p < 0,05$) (Tabela 2).

O maior valor de TEAC obtido foi para o TSP, com 16,44 μM de Trolox.g⁻¹, diferindo do TSI, com 13,38 μM de Trolox.g⁻¹, e da PT, com 1,53 μM de Trolox.g⁻¹. Constatou-se que o processamento dos tomates secos (processado e industrializado) afetou positivamente na concentração de antioxidantes totais pelo método da captura do radical ABTS^{•+}.

De acordo com Vallderdú-Queralt *et al.* (2012), os compostos fenólicos são liberados de dentro das células quando são submetidos ao aquecimento brando e sofrem degradação com o aumento do tempo de exposição ao calor e a altas temperaturas. Além disso, essas moléculas podem sofrer oxidação, sendo rapidamente transformadas em outros compostos. Isso pode explicar o aumento da atividade antioxidante no TSP, já que o produto foi exposto a altas temperaturas por um curto espaço de tempo, e posteriormente foi submetido a esterilização a

100 °C por 15 minutos após envase. Esses processos podem ter contribuído para aumento da atividade antioxidante nos mesmos.

Tabela 2. Efeito do processamento do tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sobre a capacidade antioxidante *in vitro* pelo método ABTS^{•+} e DPPH[•].

Amostras de tomate	Capacidade antioxidante <i>in vitro</i> ¹	
	TEAC ($\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$) ²	AAT (EC_{50} em g.g^{-1} DPPH [•]) ³
PT	1,53 ± 0,01 ^c	54285,98 ± 3070,21 ^b
TSP	16,44 ± 0,25 ^a	3379,93 ± 19,29 ^c
TSI	13,38 ± 0,86 ^b	383338,79 ± 93949,73 ^a

NOTA: (PT) Pasta de Tomate *in natura*; (TSP) Tomate Seco Processado; (TSI) Tomate Seco Industrializado; (¹) Expressos em base úmida; (²) TEAC = Capacidade Antioxidante Total, pelo método ABTS^{•+}; (³) AAT = Atividade Antioxidante Total, pelo método DPPH[•]; Letras minúsculas sobrescritas (^{a, b, c}) distintas na mesma coluna indicam diferença significativa a 5% ($p < 0,05$).

Um estudo feito por Santana-Neta (2014) revelou que a desidratação adiabática (estufa de ventilação forçada) preservou as concentrações de compostos funcionais (antioxidantes e fenólicos) em amostras de jenipapos. Essa desidratação foi semelhante à aplicada nos tomates no presente estudo (amostra de TSP).

Tiveron (2010) analisou a atividade antioxidante pelo método ABTS^{•+} de algumas verduras e hortaliças consumidas no Brasil, e encontrou quantidades de antioxidantes bem discrepantes entre si. Por exemplo: 6,1 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ para vagem; 16,1 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ para repolho (valor bem próximo ao encontrado no TSP na presente pesquisa); 18,0 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ para rúcula; quantidades bem expressivas, como 96,5 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ para alface. Ainda de acordo com o autor, o método usado na determinação influencia de forma direta na quantificação dessa atividade, sendo o método ABTS^{•+} um dos mais rápidos e que oferece resultados reprodutíveis.

CAPACIDADE ANTIOXIDANTE *IN VITRO*: ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TOTAL (AAT) PELO MÉTODO DPPH[•]

Os resultados das análises de Atividade Antioxidante Total (AAT) utilizando o método do radical DPPH[•] nas amostras de tomates se encontram na Tabela 2. Os resultados foram expressos em EC_{50} , que equivale à quantidade de amostra em g, necessária para reduzir em 50% a quantidade inicial, também em g, do radical DPPH[•]. Portanto, quanto menor o valor do EC_{50} , maior é a atividade antioxidante da amostra analisada.

O TSP se destacou por apresentar a maior AAT, diferindo significativamente ($p < 0,05$) da PT e do TSI. Ainda, comparando-se os dois métodos para avaliação de atividade antioxidante aplicados, verificou-se que o TSP apresentou as melhores atividades antioxidantes em ambas as metodologias. Em contrapartida, comportamentos divergentes foram observados entre as amostras de PT e TSI ao se comparar as metodologias: enquanto o valor TEAC da PT foi menor que o do TSI, o valor da AAT da PT foi maior do que o TSI.

Apesar de o método de determinação da atividade antioxidante total utilizando o radical DPPH* ser considerado um recurso fácil e preciso, o uso de protocolos diferentes em várias pesquisas dificulta a comparação dos resultados (SHARMA; BHAT, 2009).

Vários estudos têm relatado o aumento da atividade antioxidante total em tomates processados, decorrente das condições de tempo e temperatura utilizadas no seu processamento. Takeoka *et al.* (2001) observaram atividade antioxidante em três amostras estudadas, tomate cru *in natura*, suco após ser escaldado a quente com sementes e peles, e pasta de tomate processada (~ 28 °Brix), sendo esta última a que apresentou a maior atividade antioxidante. Os autores desconhecem as razões do aumento da atividade antioxidante, mas sugerem que pode estar relacionada à produção de novos antioxidantes durante o processamento.

Gahler *et al.* (2003) também obtiveram resultados semelhantes, ao estudar a capacidade antioxidante de suco de tomate, tomate assado, molho de tomate e sopa de tomate, onde constataram um aumento na concentração total de fenóis e na capacidade antioxidante solúvel em água, nos produtos de tomate. Os autores sugerem que o aumento da capacidade antioxidante hidrofílica se baseia principalmente no aumento dos compostos fenólicos. Outra razão sugerida para esse fato é a formação de produtos Maillard, que são substâncias antioxidantes ativas, formadas a altas temperaturas. Eles podem equilibrar a perda de vitamina C ou até mesmo levar a um aumento da capacidade antioxidante hidrofílica (GRAZIANI *et al.*, 2003; NICOLI *et al.*, 1997).

Dewanto *et al.* (2002) também obtiveram resultados semelhantes ao do presente trabalho ao estudarem o efeito do processamento sobre o valor nutricional e atividade antioxidante de amostras de tomates: pasta de tomate (controle); pasta de tomate cozida a 88 °C durante 2 minutos; pasta de tomate cozida a 88 °C durante 15 minutos e, pasta de tomate cozida a 88 °C durante 30 minutos. Os autores obtiveram resultados que mostraram claramente que o teor de licopeno e a atividade antioxidante total aumentaram significativamente com o processamento térmico. Os autores atribuíram o aumento da atividade antioxidante total dos tomates processados termicamente ao aumento da quantidade de licopeno, o principal fitoquímico nos tomates e, a outros fitoquímicos conjugados, que foram liberados da matriz com o processamento térmico a 88 °C, aumentando assim o valor nutricional dos tomates ao aumentar o teor de licopeno bioacessível e a atividade antioxidante total.

Observou-se indícios da influência das diferentes condições de tratamento (tempo/temperatura de secagem) e do tempo de armazenamento dos produtos nas atividades antioxidantes das amostras de tomate seco do presente trabalho, ocasionando variação no seu poder antioxidante. O tempo de armazenamento pode ser um fator determinante, visto que os TSP foram avaliados após três dias de maturação, ao abrigo de luz em temperatura ambiente (~ 30 °C), enquanto as embalagens dos tomates secos industrializados não se encontravam ao abrigo da luz, o que pode ter levado à redução de compostos antioxidantes. Isso pode explicar, dentre outros fatores, o fato de o TSI ter apresentado AAT inferior à PT.

Os valores de r da análise de correlação de Pearson dos compostos bioativos (carotenoides totais, antocianinas totais e polifenóis extraíveis totais) e capacidade antioxidante *in vitro* pelos métodos ABTS^{•+} e DPPH[•] das médias dos três tipos de amostras estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Matriz de correlação de Pearson (valor de r) dos compostos bioativos (carotenoides totais, antocianinas totais e polifenóis extraíveis totais) e capacidade antioxidante *in vitro* pelo método ABTS^{•+} e DPPH[•].

Matriz de correlação	CT	AnT	PET	TEAC	AAT
CT	1				
AnT	-0,60 [↓]	1			
PET	0,87 [↓]	-0,52 [↓]	1		
TEAC	-0,97 [↓]	0,59 [↓]	-0,94 [↓]	1	
AAT	0,00 [↑]	0,04 [↑]	-0,42 [*]	0,20 [#]	1

NOTA: (CT) Carotenoides totais; (AnT) Teor de antocianinas totais; (PET) Polifenóis extraíveis totais; (TEAC) Capacidade Antioxidante Total, pelo método ABTS^{•+}; (AAT) Atividade Antioxidante Total, pelo método DPPH[•]; (↑) Indica uma correlação muito forte ($0,90 \leq \rho < 1,00$); (#) Indica uma correlação moderada ($0,40 \leq \rho < 0,69$); (*) Indica uma correlação fraca ($0,20 \leq \rho < 0,39$); (↓) Indica uma correlação bem fraca ($0,00 < \rho < 0,19$).

Para isso, utilizou-se a estatística descritiva, atribuindo-se: correlação muito forte ($0,90 \leq \rho < 1,00$); correlação forte ($0,70 \leq \rho < 0,89$); correlação moderada ($0,40 \leq \rho < 0,69$); correlação fraca ($0,20 \leq \rho < 0,39$); correlação bem fraca ($0,00 < \rho < 0,19$), de acordo com Shimakura (2006).

As amostras de tomate apresentaram correlação bem fraca entre as determinações de compostos bioativos CT, PET e AnT (Tabela 3). Houve ainda correlação negativa bem fraca (proporcional) entre as análises de CT e AnT, apresentando valor de $r = -0,60$, e $\rho = 0,08$. O mesmo comportamento foi observado entre as análises de PET e AnT, com $\rho = 0,14$.

Como os valores de ATT, expressos em EC₅₀, utilizados para analisar a correlação entre os parâmetros, representam o inverso da atividade antioxidante, os valores r da Correlação de Pearson apresentados na Tabela 3 também devem ser avaliados de forma inversa para a ATT. Assim, houve correlação entre a AAT e os compostos bioativos, com destaque para CT ($r = 0,009$ e $\rho = 0,98$) e AnT ($r = 0,04$ e $\rho = 0,91$), que apresentaram correlação negativa muito forte; já a análise de PET apresentou correlação positiva ($r = -0,42$ e $\rho = 0,25$), porém mais fraca.

A atividade antioxidante total pelo método ABTS^{•+} (TEAC) apresentou correlação negativa moderada ($\rho = 0,59$) com a AAT. Apesar disso, a TEAC apresentou comportamento inverso ao observado para a AAT, para a correlação entre os compostos bioativos, uma vez que a TEAC apresentou correlação bem fraca entre os compostos bioativos.

Pode-se inferir que a atividade antioxidante dos produtos avaliados está mais relacionada à capacidade de estabilizar radicais livres por meio das moléculas de carotenoides e antocianinas.

CONCLUSÕES

O processamento térmico propiciou a concentração de antocianinas, e ocasionou perdas de carotenoides e polifenóis totais nos produtos de tomate avaliados, entretanto conferiu aumento da atividade antioxidante total, que está diretamente relacionada à capacidade, principalmente de carotenoides e de antocianinas presentes nessas amostras, de estabilizar radicais livres.

Os tomates secos podem ser considerados produtos com elevada atividade antioxidante, que pode substituir o tomate *in natura*, facilitando assim o acesso a compostos antioxidantes, além de ser uma rica fonte de licopeno.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à FUNCAP pela bolsa de estudos do primeiro autor (Mestrado/IFCE), bem como à CAPES por seu suporte financeiro à pesquisa, além das bolsas de estudos do segundo e terceiro autores (Mestrado/IFCE).

Effect of processing on bioactive composition and antioxidant capacity of tomatoes

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the processing effects on the antioxidant capacity of Processed Dried Tomatoes (PDT) by comparison with Fresh Tomato Paste (FTP) and Industrialized Dried Tomatoes (IDT). The analyzes performed were: Total Carotenoids (TC), total anthocyanin content, Total Extractable Polyphenols (TEP), Total Antioxidant Activity (DPPH[•]) and Total Antioxidant Capacity (ABTS⁺). The data obtained were evaluated by Pearson's correlation. Losses of bioactive compounds were observed in the dried tomatoes, except for anthocyanins, where PDT (3.04 mg.100 g⁻¹) and IDT (2.67 mg.100 g⁻¹) showed statistically higher levels than FTP (1.65 mg.100 g⁻¹), showing that the processing promoted the concentration of anthocyanins. PDT and IDT provided over 100% of the recommended daily total lycopene requirement (8.06 and 10.96 mg/day, respectively), in the 40 g consumption portion, thereby presenting as being rich in this carotenoid. In comparing the two methods by assessing total antioxidant activity by DPPH and ABTS⁺, it was found that PDT showed the best antioxidant activities (3379.93 EC₅₀ in g.g⁻¹ DPPH and 16.44 microM Trolox.g⁻¹) in both methodologies compared to IDT and FTP. Pearson's correlation showed that the antioxidant activity of the evaluated products is more related to the presence of carotenoids and anthocyanins. Thermal processing showed variable responses in the retention and loss of the different bioactive compounds, but it increased the total antioxidant activity. Dried tomatoes are products with a high content of antioxidant compounds which can replace fresh tomatoes, in addition to being a rich source of lycopene.

KEYWORDS: *In vitro* antioxidant activity; bioactive compounds; dehydration.

REFERÊNCIAS

AHMED, F. A.; ALI, R. F. M. Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fresh and Processed White Cauliflower. **BioMed Research International**, v. 2013, p. 1–9, 2013. Article ID 367819.

BORGES, K. C. **Estudo das características físico-químicas e funcionalidade de bagaços de frutas tropicais desidratadas em leito de jorro**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT – Food Science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). (2003, dezembro 23). Aprova o regulamento técnico de porções de alimentos embalados para fins de rotulagem nutricional (Resolução RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 26 de dezembro de 2003. Seção 1. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2003/anexo/anexo_res0359_23_12_2003.pdf>. [Acessado em: 30, Abr. 2020].

BRITTON, G. UV/visible spectroscopy. In Britton, G., Liaaen-Jensen, S., Pfander, H. (eds), **Carotenoids: spectroscopy**, vol 1B. Birkhäuser Verlag, Basel, pp 13–63, 1995.

BUGIANESI, R.; SALUCCI, M.; LEONARDI, C.; FERRACANE, R.; CATASTA, G; AZZINI, E, MAIANI, G. Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and carotene in cherry tomatoes. **European Journal of Nutrition**, v. 43, n. 6, p. 360–366, 2004.

CAMPOS, K. K. D.; ARAÚJO, G. R.; MARTINS, T. L.; BANDEIRA, A. C. B.; COSTA, G. P.; TALVANI, A.; GARCIA, C. C. M.; OLIVEIRA, L. A. M.; COSTA, D. C.; BEZERRA, F. S. The antioxidant and anti-inflammatory properties of lycopene in mice lungs exposed to cigarette smoke. **Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 48, p. 9–20, 2017.

CARDOSO, L. M.; LEITE, J. P. V.; PELUZIO, M. C. G. Efeitos biológicos das antocianinas no processo aterosclerótico. **Revista Colombiana de Ciências Químico Farmacéuticas**, v. 40, n. 1, p. 116–138, 2011.

ÇELIK, Ö.; AYAN, A.; ATAK, Ç. Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. **Botanical Studies**, v. 58, n. 32, p. 32–44, 2017.

CRUZ, P. M. F. da; BRAGA, G. C.; GRANDI, A. M. de. Composição química, cor e qualidade sensorial do tomate seco a diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 4, p. 1475–1486, 2012.

DAVOODI, M. G.; VIJAYANAND, P.; KULKARNI, S. G.; RAMANA, K. V. R. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 10, p. 1832–1840, 2007.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K. K.; LIU, R. H. Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010–3014, 2002.

FAGUNDES, A. F.; ONUK, N. S.; RAUPP, D. S.; GARDINGO, J. R.; BORSATO, A. V. Influência do grau de umidade na textura de tomate seco refrigerado ou envasado em óleo. **Revista da UEPG Ciências Exatas Terra, Ciências Agrárias Engenharia**, v. 11, n. 1, p. 35–42, 2005.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición**. 1997, 335 p. Universidad de Chile - Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos - Santiago, Chile. AMAYA, D. R. Analisis de carotenoides, Capitulo. 18, p. 231-241, 1997. Disponível em: < <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/Ah833s20.htm> >. [Acessado em: 30 de Abr. de 2020].

FULEKI T.; FRANCIS F. J. Quantitative Methods for anthocyanins: 2. Determination of total anthocyanin and degradation index for cranberries juices. **Journal of Food Science**, v. 33, n. 1, p. 78–83, 1968.

GAHLER, S.; OTTO, K.; BOHM, V. Alterations of Vitamin C, Total Phenolics, and Antioxidant Capacity as Affected by Processing Tomatoes to Different Products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 27, p. 7962–7968, 2003.

GAMEIRO, A. H.; FILHO, J. V. C.; ROCCO, C. D.; RANGEL, R. Modelagem e gestão das perdas no suprimento de tomates para processamento industrial. **Revista Gestão e Produção**, v. 15, n. 1, p. 101–115, 2008.

GRAZIANI, G.; PERNICE, R.; LANZUISE, S.; VITAGLIONE, P.; ANESE, M.; FOGLIANO, V. Effect of peeling and heating on carotenoid content and antioxidant activity of tomato and tomato-virgin olive oil systems. **European Food Research and Technology**, v. 216, n. 2, p. 116–121, 2003.

GRUNERT, K. G. European consumers' acceptance of functional foods. **Annals of The New York Academy of Sciences**, v. 1190, p. 166–173, 2010.

GÜMÜŞAYA, Ö. A.; BORAZANB, A. A.; ERCALC, N.; DEMIRKOL, O. Drying effects on the antioxidant properties of tomatoes and ginger. **Food Chemistry**, v. 173, p. 156–162, 2015.

HALLIWELL, B. Free radicals and antioxidants – quo vadis?. **Trends in Pharmacological Sciences**, v. 32, n. 3, p. 125–130, 2011.

HEREDIA, A.; PEINADO, I.; ROSA, E.; ANDRÉS, A. Effect of osmotic pré-treatment and microwave heating on lycopene degradation and isomerization in cherry tomato. **Food Chemistry**, v. 123, n. 1, p. 92–98, 2010.

IAL – Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. (4^o ed.). Brasília: Ministério da Saúde, 2008, 1020 p.

KAUR, C.; KAPOOR, H. C. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 37, n. 2, p. 153–161, 2002.

KAUR, R.; KAUR, K.; AHLUWALIA, P. Effect of drying temperatures and storage on chemical and bioactive attributes of dried tomato and sweet pepper. **LWT - Food Science and Technology**, 117, 108604, 2020.

KEENAN, D. F.; TIWARI, B. K.; PATRAS, A.; GORMLEY, R.; BUTLER, F.; BRUNTON, N. P. Effect of sonication on the bioactive, quality and rheological characteristics of fruit smoothies. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, n. 4, p. 827–836, 2012.

LARRAURI, J. A.; RUPÉREZ, P.; SAURA-CALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 4, p. 1390–1393, 1997.

MELO, P. C. T.; VILELA, N. J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v.23, n. 1, p. 154–157, 2005.

MILLER, N. J.; DIPLOCK, A. T.; RICE-EVANS, C.; DAVIES, M. J.; GOPINATHAN, V.; MILNER, A. A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. **Clinical Science**, v. 84, n. 4, p. 407–412, 1993.

NICOLI, M. C.; ANESE, M.; PARPINEL, M. T.; FRANCESCHI, S.; LERICI, C. R. Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage. **Cancer Letters**, v. 114, n. 1-2, p. 71–74, 1997.

OBANDA, M.; OWUOR, P. O.; TAYLOR, S. J. Flavanol Composition and Caffeine Content of Green Leaf as Quality Potential Indicators of Kenyan Black Teas. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 74, n. 2, p. 209–215, 1997.

PERVEEN, R.; SULERIA, H. A. R.; ANJUM, F. M.; BUTT, M. S.; PASHA, I.; AHMAD, S. Tomato (*Solanum lycopersicum*) Carotenoids and Lycopenes Chemistry; Metabolism, Absorption, Nutrition, and Allied Health Claims—A Comprehensive Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 55, n. 7, p. 919-929, 2015.

PORRINI, M.; RISO, P.; TESTOLIN, G. Absorption of lycopene from single or daily portions of raw and processed tomato. **British Journal of Nutrition**, v. 80, n. 4, p. 353–361, 1998.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018.

RAO, A.V.; SHEN, H. Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress. **Nutrition Research**. v. 22, p. 1125–1131, 2002.

RATNAM, D. V.; ANKOLA, D. D.; BHARDWAJ, V.; SAHANA, D. K.; E KUMAR, M. N. V. R. Role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. **Journal of Controlled Release**, v. 113, n. 3, p. 189–207, 2006.

RINGEISEN, B.; BARRETT, D. M.; STROEVE, P. Concentrated solar drying of tomates. **Energy for Sustainable Development**, v. 19, p. 47–55, 2014.

ROCHA, C. B.; SILVA, J. Atividade antioxidante total em tomates produzidos por cultivos orgânico e convencional. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 1, p. 27–30, 2011.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M.; GODOY, H. T.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, n. 6, p. 445–463, 2008.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PEREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa**

Agroindústria Tropical, 2007b. 4 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado Técnico, 127).

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS^{•+}. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2007a. 4 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 128).

SAHLIN, E.; SAVAGE, G. P.; LISTER, C. E. Investigation of the antioxidant properties of tomatoes after processing. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 17, n. 5, p. 635–647, 2004.

SALEHI, B.; SHARIFI-RAD, R.; SHAROPOV, F.; NAMIESNIK, J.; ROOINTAN, A.; KAMLE, M.; KUMAR, P.; MARTINS, N.; SHARIFI-RAD, J. Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. **Nutrition**, v. 62, p. 201–208, 2019.

SANTANA-NETA, L. G. **Caracterização e avaliação do potencial de bioativos e atividades antioxidantes de genipa americana l desidratado**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência de alimentos). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of fruit ripening**. 1. ed. London: Chapman & Hall, 1993. p. 454.

SOUSA, A. D.; RIBEIRO, P. R. V.; CANUTO, K. M.; ZOCOLO, G. J.; PEREIRA, R. C. A.; FERNANDES, F. A. N.; BRITO, E. S. Drying kinetics and effect of air-drying temperature on chemical composition of *Phyllanthus amarus* and *Phyllanthus niruri*. **Drying Technology**, v. 36, n. 5, p. 609–616, 2018.

SHARMA, O. P.; BHAT, T. K. DPPH antioxidant assay revisited. **Food Chemistry**, v. 113, n. 4, p. 1202–1205, 2009.

SHI, J.; DAI, Y.; KAKUDA, Y.; MITTAL, G.; XUE, S. J. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée. **Food Control**, v. 19, n. 5, p. 514–520, 2008.

SHIMAKURA, S. E. Atividades de Ensino: (CE-003 Estatística II). **Interpretação do coeficiente de correlação**. [Data de publicação: 2006-08-30]. Departamento de Estatística-Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2006. Disponível em: < <http://leg.ufpr.br/~silvia/> >. [Acesso em: 25 de Abr. de 2020].

SILVA, S. R. **Extração e estabilidade de pigmentos antocianicos de frutos de Maria-Pretinha (*Solanum americanum*. Mili.)**. Tese de Mestrado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 76 p., 1996.

STAHL, W.; SIES, H. Uptake of lycopene and its geometrical isomers is greater from heat-processed than from unprocessed tomato juice in humans. **Journal of Nutrition**, v. 122, n. 11, p. 2161–2166, 1992.

TAKEOKA, G. R.; DAO, L.; FLESSA, S.; GILLESPIE, D. M.; JEWELL, W. T.; HUEBNER, B.; BERTOW, D.; EBELER, S. E. Processing Effects on Lycopene Content and Antioxidant Activity of Tomatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 8, p. 3713–3717, 2001.

TEIXEIRA, L. N.; STRINGHETA, P. C.; OLIVEIRA, F. A. de. Comparação de métodos para quantificação de antocianinas. **Revista Ceres**, v. 55, n. 4, p. 297–304, 2008.

TILAHUN, S.; PARK, D. S.; TAYE, A. M.; JEONG, C. S. Effect of ripening conditions on the physicochemical and antioxidant properties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Food Science and Biotechnology**, v. 26, n. 2, p. 473–479, 2017.

TIVERON, A. P. **Atividade antioxidante e composição fenólica de legumes e verduras consumidos no Brasil**. 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2010.

VALLVERDÚ-QUERALT, A.; REMÓN, A. M.; CASALS-RIBES, I.; ANDRES-LACUERVA, C.; WATERHOUSE, A. L.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M. Effect of tomato industrial processing on phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity. **LWT-Food Science and Technology**, v. 47, n. 1, p. 154–160, 2012.

Recebido: 06 abr. 2019.

Aprovado: 11 mai. 2020.

DOI: 10.3895/rebrapa.v10n2.9948

Como citar:

BARCELOS, S. C. et al. Efeito do processamento na composição bioativa e na capacidade antioxidante de tomates. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v. 10, n. 2, p. 122-142, abr./jun. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpr.edu.br/rebrapa>

Correspondência:

Virna Luiza de Farias

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Câmpus Limoeiro do Norte, Rua Estevão Remígio de Freitas, 1145, Monsenhor Otávio, Limoeiro do Norte, CEP 62930-000, Ceará, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

