

Atividade antioxidante e características físico-químicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense*) cultivados no Brasil

Jessica Cristina Urbanski Laureth^{1*}; Bianca Pierina Carraro¹; Cristiane Paulus¹; Noélie

Khristinne Cordeiro²; Gilberto Costa Braga²

¹Curso de Agronomia, Centro Universitário Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, Paraná.

^{1*}jeh_urbanski@hotmail.com

²Doutorado em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, Paraná.

Resumo: As culturas subutilizadas têm conquistado o mercado devido suas características nutricionais e antioxidantes. O lulo pode ser considerado uma cultura subutilizada, pois é cultivado em pequena escala na Colômbia e possui elevado valor nutricional. As condições edafoclimáticas de cultivo desta frutífera podem influenciar suas características pós-colheita. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a atividade antioxidante e as características físico-químicas de frutos de lulo obtidos do cultivo no Brasil. As variáveis pós-colheita analisadas foram atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH, FRAP, compostos fenólicos, flavonoides, licopeno, β -caroteno, ácido ascórbico, e características físico-químicas de acidez, sólidos solúveis e ratio. As análises foram realizadas no mês de novembro de 2020. O método FRAP apresentou a maior atividade antioxidante (81,40 mg Sulfato Ferroso g^{-1} , massa seca), seguido pelo ABTS (57,00 mg Trolox g^{-1} , massa seca), fenólicos (24,55 mg Ácido Gálico g^{-1} , massa seca) e DPPH (14,40 mg Trolox g^{-1} , massa seca). A atividade dos flavonoides foi baixa (1,00 mg Quercetina g^{-1} , massa seca). Mostraram ser uma boa fonte de β -caroteno (7,00 mg 100 g^{-1}) e licopeno (3,57 mg 100 g^{-1}), além de possuírem fontes boas de ácido ascórbico (57,71 mg 100 g^{-1}). Os frutos são ácidos (2,29 g Ácido Cítrico 100 mL^{-1}), com baixo teor de sólidos solúveis (5,12 °Brix) e baixo índice de maturação (2,25 ratio). Este trabalho mostrou que os frutos de lulo obtidos do cultivo em São Paulo (Brasil) são fontes potenciais de antioxidantes naturais e podem ser interessantes para o processamento e diversificação de produtos brasileiros.

Palavras-chave: pós-colheita, Naranjilla, São Paulo.

Antioxidant activity and physicochemical characteristics of lulo fruits (*Solanum quitoense*) cultivated in Brazil

Abstract: Underutilized crops have conquered the market due to their nutritional and antioxidant characteristics. The lulo can be considered an underutilized crop because it is grown on a small scale in Colombia and has high nutritional value. The edaphoclimatic conditions of cultivation of this fruit can influence its postharvest characteristics. Thus, the objective of the work was to evaluate the antioxidant activity and the physicochemical characteristics of lulo fruits obtained from cultivation in Brazil. The post-harvest variables analyzed were antioxidant activity by the ABTS, DPPH, FRAP methods, phenolic compounds, flavonoids, lycopene, β -carotene, ascorbic acid, and physical-chemical characteristics of acidity, soluble solids and ratio. The analyzes were carried out in November 2020. The FRAP method showed the highest antioxidant activity (81.40 mg Ferrous Sulfate g^{-1} , dry mass), followed by ABTS (57.00 mg Trolox g^{-1} , dry mass), phenolic (24.55 mg Gallic Acid g^{-1} , dry mass) and DPPH (14.40 mg Trolox g^{-1} , dry mass). Flavonoid activity was low (1.00 mg Quercetin g^{-1} , dry mass). They proved to be a good source of β -carotene (7.00 mg 100 g^{-1}) and lycopene (3.57 mg 100 g^{-1}), in addition to having medium sources of ascorbic acid (57.71 mg 100 g^{-1}). The fruits are acidic (2.29 g Citric Acid 100 mL^{-1}), with low content of soluble solids (5.12 ° Brix) and low ripeness index (2.25 ratio). This work showed that the lulo fruits obtained from cultivation in São Paulo (Brazil) are potential sources of natural antioxidants and can be interesting for the processing and diversification of Brazilian products.

Keywords: postharvest, Naranjilla, São Paulo.

Introdução

A demanda crescente por alimentos benéficos do ponto de vista nutracêutico está criando mercado para culturas subutilizadas. Estas culturas são cultivadas em pequenas escalas, reconhecidas pelos usos tradicionais em áreas autóctones, além de apresentarem fatores nutricionais e antioxidantes elevados (GANCEL *et al.*, 2008). Uma das culturas subutilizadas é o fruto conhecido como lulo (*Solanum quitoense*), assim, o conhecimento da composição e valor nutricional deste fruto é importante.

Sua planta perene é pertencente à família Solanaceae. Também conhecida como Naranjilla, nativa da América do Sul, sendo muito consumida na Colômbia (FLÓREZ-VELASCO, BALAGUERA-LÓPEZ e RESTREPO-DÍAZ, 2015). Sua distribuição geográfica estende-se da Venezuela ao Peru, onde é cultivada a uma altura entre 1000 e 1900 m acima do nível do mar (IGUAL *et al.*, 2014).

Em 2015 a produção de lulo na Colômbia alcançou 82.000 ton, ocupando área de aproximadamente 10.000 ha (MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, 2015).

Duas variedades geográficas de *Solanum quitoense* são conhecidas. A var. *quitoense*, encontrada no Sul da Colômbia e Equador, que não possui espinhos e var. *septentrionale*, que contém espinhos, encontrada no centro da Colômbia, Panamá e Costa Rica (HEISER, 1972).

Seus frutos são esféricos com casca de coloração amarelo-laranja quando na maturidade fisiológica, cobertos com pelos. A polpa é verde, succulenta, com sabor ácido e pequenas sementes (HUYSKENS *et al.*, 2001), sendo consumido principalmente em sucos e geleias (ACOSTA, PÉREZ e VAILLANT, 2009).

O lulo apresenta elevado valor nutricional possuindo ácido cítrico, minerais como o fósforo, cálcio e ferro, e vitaminas como niacina, tiamina, riboflavina e vitaminas A e C. Além disso, é fonte de antioxidantes (GANCEL *et al.*, 2008).

Mertz *et al.* (2009) identificaram os compostos fenólicos como os principais contribuintes antioxidantes em Naranjilla, descreveram também que o principal carotenoide presente no fruto é o β -caroteno. Os autores concluíram que o potencial antioxidante do lulo é maior que na maioria das frutas.

O crescimento e desenvolvimento desses frutos tropicais são dependentes das condições ambientais, podendo citar fatores como temperatura, altitude e precipitação. Ramírez, Kallarackal

e Davenport (2018) citam que as diferenças do crescimento de frutos de lulo observados em diferentes estudos podem ser atribuídas principalmente a amplitude de temperatura; sendo que, temperaturas médias mais altas aceleram a taxa de crescimento dos frutos, enquanto temperaturas médias mais baixas tendem a causar aumento de tempo para o crescimento e maturação.

Muitos estudos apresentam a caracterização química, física, físico-química (ACOSTA, PÉREZ e VAILLANT, 2009; MATARAZZO *et al.*, 2013) e antioxidante (CONTRERAS-CALDERÓN *et al.*, 2011; MERTZ *et al.*, 2009) dos frutos de lulo, porém, são encontrados poucos estudos desses compostos para os frutos cultivados no Brasil.

Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a atividade antioxidante e as características físico-químicas pós-colheita de frutos de lulo obtidos do cultivo no Brasil.

Material e métodos

Material vegetal

As amostras de lulo foram obtidas em pomar comercial localizado no município de Socorro (São Paulo, Brasil), no mês de setembro de 2020, localizado na região Leste do Estado de São Paulo, com latitude 22°35'29" Sul e longitude 46°31'44" Oeste, estando a uma altitude de 752 metros. De acordo com Rolim e Aparecido (2016) a classificação de Camargo, Köppen e Thornthwaite para o local caracteriza-se pelo clima subtropical úmido. As mesmas foram encaminhadas para a cidade de Marechal Cândido Rondon (Paraná, Brasil) em condições de armazenamento, e chegaram após cinco dias de transporte.

Foram selecionados frutos no padrão de maturação (totalmente com a cor laranja), de tamanho homogêneo, sem defeitos e sadios. Os frutos foram lavados com água e sanitizados por imersão com solução de hipoclorito de sódio a 0,2 mL L⁻¹, em temperatura ambiente por um min, e secos ao ar. Após, permaneceram congelados (-18 °C) até o momento das análises. As amostras possuíam diâmetro equatorial médio de 4 cm e média de 13,72% de massa seca.

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Alimentos pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), *Campus* de Marechal Cândido Rondon (Paraná, Brasil), durante o mês de novembro de 2020.

Extratos vegetais

Os extratos etanólicos foram preparados para as análises de atividade antioxidante (ABTS, DPPH e FRAP), compostos fenólicos e flavonoides. Amostras da polpa dos frutos foram pesadas e maceradas com etanol P.A., na proporção 1:10 (m/v). Posteriormente, foram colocadas em banho ultrassônico (UNIQUE, USC-2850A) por 15 min e centrifugadas a 20.000 g em centrífuga (MPW 350-350R) a 4 °C, por 20 min. Após a centrifugação, os extratos foram filtrados em papel filtro qualitativo e transferidos para tubos de ensaio. Os extratos foram armazenados a -18 °C até o momento das análises.

Para a determinação de licopeno e β -caroteno, amostras da casca dos frutos foram pesadas e maceradas em acetona P.A. (NELLIS, CORREIA e SPOTO, 2017), na proporção 0,5:10 (m/v). Posteriormente, seguiram as mesmas etapas descritas acima de banho ultrassônico, centrifugação e filtração.

Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos ABTS, DPPH e FRAP. O método ABTS estima a capacidade da amostra em sequestrar o radical ABTS [2,2'-AZINO-BIS(3-etilbenzo-tiazolina-6-ácido sulfônico)], e foi realizado conforme Rufino *et al.* (2007). Em 30 μ L de extrato etanólico foi adicionado 3 mL do reagente ABTS (5 mL da solução estoque ABTS 7 mM acrescidos 88 μ L da solução persulfato de potássio 140 mM, mantida por 16 h no escuro e diluída em etanol até absorvância de $0,700 \pm 0,05$ nm a 734 nm). Após 6 min em ambiente escuro as leituras foram feitas a 734 nm em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-1800, Japão). Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de massa fresca e seca, em equivalente Trolox (T), por meio da curva de calibração para Trolox nas concentrações de 0,025 a 0,325 mg ($y = -0,6747x + 0,4654$, R² 0,99).

O método DPPH mede a capacidade de sequestro do radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), e foi realizado conforme De Ancos *et al.* (2002). Em 3 mL de etanol foram adicionados 0,5 mL de extrato etanólico e 0,3 mL da solução de DPPH (0,5 mmol L⁻¹), com reação por 60 min ao abrigo de luz. Após, a absorvância foi medida em espectrofotômetro a 517 nm. Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de massa fresca e seca, em equivalente Trolox (T), por meio de uma curva de calibração para Trolox nas concentrações 0,005 a 0,035 mg ($y = -0,0809x + 0,0417$, R² 0,99).

O método FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) determina a redução dos íons ferro em uma amostra, e foi realizado conforme Rufino *et al.* (2006). Em 90 µL de extrato etanólico foram adicionados 270 µL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP (25 mL de tampão acetato 0,3 M, 2,5 mL de uma solução de TPTZ 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20 mM). Após 30 min em ambiente escuro e mantido à 37 °C, as leituras foram feitas a 595 nm em espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de massa fresca e seca, em equivalente Sulfato Ferroso (SF), por meio da curva de calibração para Sulfato Ferroso nas concentrações 0,05 a 0,35 mg (y= 0,676x - 0,18, R² 0,99).

Os compostos fenólicos foram determinados conforme Georgé *et al.* (2005). Uma alíquota de 0,5 mL de extrato etanólico foi adicionada a 2,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu:água (1:10 v/v) e 2,0 mL da solução de carbonato de sódio 7,5% (m/v). Após 15 min a 50 °C, a absorbância foi medida em espectrofotômetro a 760 nm. Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de massa fresca e seca, em equivalente Ácido Gálico (AG), por meio da curva de calibração para Ácido Gálico nas concentrações de 0,005 a 0,08 mg mL⁻¹ (y= 0,186x - 0,0152, R² 0,99).

Os flavonoides foram determinados de acordo com Chang *et al.* (2002). Em 0,5 mL do extrato etanólico foram adicionados 4,3 mL de etanol 80% em água (v/v), 0,1 mL de cloreto de alumínio 10% (m/v) e 0,1 mL de acetato de potássio 1 M. Após 40 min, no escuro e à temperatura ambiente, a absorbância foi medida a 415 nm. Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ de massa fresca e seca, em equivalente Quercetina (Q), por meio da curva de calibração para Quercetina nas concentrações de 0,01 a 0,07 mg (y= 0,2787x + 0,0018, R² 0,99).

A partir dos extratos obtidos da extração com acetona foram medidos a 470 nm em espectrofotômetro, para determinação do licopeno, e 450 nm para β-caroteno (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA; KIMURA, 2004). Deste modo, os carotenoides foram determinados de acordo com a Equação 1:

$$\text{Teor de carotenoides (mg 100 g}^{-1}\text{)} = \frac{A \times V \times 1.000.000}{A \frac{1\%}{1\text{cm}} \times M \times 100} \quad (1)$$

Em que: A é a absorbância da solução no comprimento de onda de 470 nm para o licopeno e de 450 nm para o β-caroteno, V é o volume final da solução, $A \frac{1\%}{1\text{cm}}$ é o coeficiente de extinção molar (3450 para o licopeno e 2592 para o β-caroteno) e M é a massa fresca da amostra.

O ácido ascórbico dos frutos foi determinado por titulação com 2,6-diclorofenol-indofenol conforme Benassi e Antunes (1998), com modificações. Uma amostra de 5 g foi pesada e

adicionada em 50 mL da solução de ácido oxálico 2%. Após, titulou-se com a solução de 2,6-diclorofenol-indofenol 0,01% até a coloração rosa persistente. Um padrão de ácido ascórbico foi utilizado. Os resultados foram expressos em mg 100 g⁻¹.

Características físico-químicas

A acidez titulável foi obtida pela titulação de 5 g da polpa dos frutos, diluída em 95 mL de água, com solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 N, utilizando como indicador a fenolftaleína 1%. Os resultados foram expressos em g de ácido cítrico por 100 mL⁻¹ (IAL, 2008).

O teor de sólidos solúveis foi determinado pela leitura da polpa em refratômetro digital, com resultados expressos em °Brix.

O ratio foi obtido pelo quociente sólidos solúveis e acidez titulável.

Análise estatística

Para verificar a normalidade dos dados foi aplicado o teste Shapiro-Wilk (95% de confiabilidade) através do pacote estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014). Foram utilizadas 20 repetições para cada variável, incluindo três replicatas nas análises antioxidantes (ABTS, DPPH, FRAP, fenólicos, flavonoides) e duas replicatas para os carotenoides. Cada repetição se constitui de um fruto. Os cálculos da média e desvio padrão foram obtidos no programa Excel.

Resultados e discussões

Atividade antioxidante

Os métodos ABTS, DPPH, FRAP, compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides (licopeno e β -caroteno) e ácido ascórbico foram mensurados para estimar a atividade antioxidante dos frutos de lulo (Tabela 1). Todas as variáveis estudadas apresentaram dados normais através do teste Shapiro-Wilk ($p < 0,05$).

Tabela 1 – Atividade antioxidante pelos métodos ABTS, DPPH, FRAP, compostos fenólicos, flavonoides, carotenoides (licopeno e β -caroteno) e ácido ascórbico de frutos de lulo (*Solanum quitoense*) produzidos em Socorro, São Paulo, Brasil.

Análises	Massa fresca	Massa seca	CV (%)
ABTS (mg T g ⁻¹)	7,82 $\pm$ 0,43	57,00 $\pm$ 3,12	5,47
DPPH (mg T g ⁻¹)	1,98 $\pm$ 0,28	14,40 $\pm$ 2,01	13,94
FRAP (mg SF g ⁻¹)	11,17 $\pm$ 1,05	81,40 $\pm$ 7,66	9,41

Fenólicos (mg AG g ⁻¹)	3,37 ± 0,35	24,55 ± 2,54	10,34
Flavonoides (mg Q g ⁻¹)	0,14 ± 0,02	1,00 ± 0,13	13,08
Licopeno (mg 100 g ⁻¹)	3,57 ± 0,37	-	10,36
β-caroteno (mg 100 g ⁻¹)	7,00 ± 0,54	-	7,77
Ácido ascórbico (mg 100 g ⁻¹)	57,71 ± 4,50	-	7,80

Fonte: autores. Notas: Média ± Desvio Padrão (n=20); T: equivalente Trolox; SF: equivalente Sulfato Ferroso; AG: equivalente Ácido Gálico; Q: equivalente Quercetina; CV: Coeficiente de Variação.

Recomenda-se a utilização de mais de um método para estimar a atividade antioxidante do complexo de amostras (OZGEN *et al.*, 2006). Entre os métodos utilizados, o FRAP apresentou a maior média, seguido pelo ABTS e o DPPH. O FRAP se baseia na capacidade de redução do ferro e não no sequestro de radicais livres, como nos métodos ABTS e DPPH. Além disso, mede a atividade antioxidante de amostras com natureza hidrofílica, enquanto o ABTS e DPPH medem compostos hidrofílicos e lipofílicos. Portanto, a natureza majoritária hidrofílica das amostras pode ter influenciado nestas diferenças, devido às diferentes sensibilidades dos métodos aos compostos que podem estar presentes. De acordo com Mertz *et al.* (2009) a atividade antioxidante e pró-oxidante do lulo é resultado da interação de seus componentes livres solúveis em água (ácidos orgânicos), alguns compostos fenólicos solúveis em água e carotenoides.

Hinestroza-Córdoba *et al.* (2020), em trabalho com bagaço seco de lulo, relataram que o método ABTS foi mais sensível quando comparado com o DPPH, o que corrobora com nossos resultados. Llerena *et al.* (2020) encontraram atividade antioxidante maior em frutos de lulo do Equador pelo método ABTS (19,12 mg Trolox g⁻¹), seguido por compostos fenólicos (7,75 mg Ácido Gálico g⁻¹) e DPPH (5,32 mg Trolox g⁻¹), expressos em massa seca. Porém, os resultados obtidos no nosso estudo são maiores, podendo estar associado às diferentes condições edafoclimáticas no cultivo desta frutífera. Resultados inferiores de ABTS (3,05 mg Trolox g⁻¹, massa fresca), em comparação com os encontrados, também foram observados por Contreras-Calderón *et al.* (2011) em frutos de lulo da Colômbia. Os métodos indicaram a presença de diferentes compostos antioxidantes, sendo os frutos considerados fontes potenciais de antioxidantes naturais, com resultados superiores aos citados para cupuaçu, mamão e pera (CONTRERAS-CALDERÓN *et al.*, 2011).

Os compostos fenólicos apresentaram maior média de atividade antioxidante em relação aos flavonoides e DPPH (Tabela 1). Os fenólicos são metabólitos secundários com propriedades antioxidantes, encontrando-se em seu grupo os flavonoides (VUOLO, LIMA E MARÓSTICA

JÚNIOR, 2019). Gancel *et al.* (2008) encontraram valores para fenólicos de 10,08 mg Ácido Gálico g⁻¹ (massa seca) em frutos de lulo obtidos no Equador, classificando-os com atividade antioxidante intermediária. Nossos resultados foram superiores (24,55 mg g⁻¹), o que pode ser explicado pela biossíntese dos compostos fenólicos, provenientes principalmente da via dos fenilpropanóides, que direciona compostos aromáticos da via do ácido chiquímico. O desencadeamento do metabolismo é associado à exposição da planta ou do órgão vegetal a estresses ambientais, resultando estresses oxidativos (LIU *et al.*, 2015).

Chang, Alasalvar e Shahidi (2019) relatam que através do alto teor de fenólicos, entre 1,13 e 16,20 mg Ácido Gálico g⁻¹ (massa fresca), é possível classificar uma fruta em superfruta. Assim, o lulo (3,37 mg Ácido Gálico g⁻¹) pode ser considerado uma superfruta. De acordo com Gancel *et al.* (2008) os fenólicos do lulo se devem à presença de ácidos clorogênicos, seus hexosídeos e dihidrocafeoil espermidinas.

Os frutos apresentaram baixa atividade antioxidante medida pelos flavonóides. Andrade *et al.* (2017) encontraram valor de aproximadamente 0,58 mg Quercetina g⁻¹ (amostra fresca) para flavonoides em frutos de lulo, resultados superiores ao estudo. Sua ação ocorre através da varredura de radicais livres, por quelação de íons metálicos ou por supressão das reações de formação de espécies de oxigênio reativo, podendo ainda regular defesas antioxidantes endógenas, mostrando benefícios potenciais para a saúde (PIETTA, 2000). O principal fator que altera sua presença e distribuição nos vegetais é a luminosidade, pois sua formação é acelerada pela luz (DEGÁSPARI e WASZCZYNSKYJ, 2004). Portanto, fatores edafoclimáticos podem influenciar na composição desses compostos. O principal flavonoide relatado em frutos de lulo é o dicaffeoylquinic (MERTZ *et al.*, 2009).

Com relação aos carotenoides, Acosta, Pérez e Vaillant (2009) descreveram que o β -caroteno é o principal carotenoide encontrado em frutos de naranjilla, possuindo atividade provitamina A, podendo ser convertido no corpo em retinol. Os teores de carotenoides encontrados nas cascas dos frutos mostraram maiores médias para o β -caroteno, seguido do licopeno. Gancel *et al.* (2008) relataram que a casca do lulo possui maior quantidade de carotenoides em relação à polpa e o tecido placentário. Além disso, os autores apresentaram média de 7,45 mg 100 g⁻¹ para β -caroteno na casca dos frutos, resultado similar ao nosso estudo. Embora a casca não seja consumida, recomenda-se sua utilização no processamento de produtos, devido sua boa fonte desses compostos.

Não foram encontrados trabalhos que relatassem o teor de licopeno em frutos de lulo. Porém, foi observado que esse carotenoide apresentou metade do teor de β -caroteno encontrado na casca. Dias *et al.* (2017) observaram teor de licopeno de $3,54 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ em tomates cultivados no Brasil, principal carotenoide do fruto. De acordo com Liu *et al.* (2015) a ação antioxidante dos carotenoides é uma característica particularmente importante do licopeno que inibe o potencial oxidativo de radicais livres, indicando ser um considerável carotenoide nas cascas de frutos de lulo.

Outros compostos, como o ácido ascórbico, podem contribuir para a capacidade antioxidante de frutas. Assim, o teor de ácido ascórbico foi avaliado. De acordo com Franco *et al.* (2002) os frutos podem ser classificados com fontes altas de ácido ascórbico (100 a $300 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), médias (50 a $100 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), baixas (25 a $50 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) e extremamente baixas (menores que $25 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Assim, pode-se classificar as amostras avaliadas em fontes médias para ácido ascórbico. Os teores deste composto podem variar em decorrência de vários fatores como variedades, condições edafoclimáticas, maturação, incidência solar e outros. Gomes, Perecin e Martins (2002) relataram que a incidência solar parece estimular a síntese do ácido ascórbico, pois, o ácido L-ascórbico (principal forma ativa da vitamina C), no mecanismo fotossintético, dissipa o excesso de energia luminosa absorvida sob a forma de calor, além da eliminação de ERO's (Espécies Reativas de Oxigênio). Acosta, Pérez e Vaillant (2009) citam média de $12,5 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$ para ácido ascórbico, abaixo do resultado do estudo. Os autores relataram que o valor encontrado é inferior ao observado por outras pesquisas.

Características físico-químicas

A caracterização físico-química dos frutos é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Características físico-químicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense*) produzidos em Socorro, São Paulo, Brasil.

Análises	Média $\pm$ Desvio Padrão (n= 20)	CV (%)
Acidez titulável (g AC 100 mL^{-1})	$2,29 \pm 0,17$	7,47
Sólidos Solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$)	$5,12 \pm 0,32$	6,35
Ratio	$2,25 \pm 0,23$	10,43

Fonte: autores. Notas: AC: Ácido Cítrico; CV: Coeficiente de Variação.

A acidez encontrada foi de 2,29 g de ácido cítrico 100 mL⁻¹, similar aos trabalhos de Rotili *et al.* (2018) para frutos de dovyalis (2,35 g de ácido cítrico 100 mL⁻¹) e Medeiros *et al.* (2009) para maracujás amarelos (2,84% ácido cítrico) e roxos (2,71% ácido cítrico). Seu teor classifica esses frutos com acidez média (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Gancel *et al.* (2008) descreveram que o ácido cítrico representa o principal ácido orgânico do lulo (97% do total).

Acosta, Perez e Vaillant (2009) observaram acidez de 2,63 g ácido cítrico 100 g⁻¹ para frutos de lulo da Costa Rica e 3,65 g ácido cítrico 100 g⁻¹ para frutos da Colômbia, indicando que os frutos da Colômbia em comparação com os da Costa Rica apresentam acidez mais elevada. Nossos resultados de acidez são inferiores. A época de produção, as cultivares utilizadas e o ambiente interferem na concentração dos ácidos (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Os frutos de lulo apresentaram baixo teor de sólidos solúveis (Tabela 2). Resultado semelhante (6,05 °Brix) foi observado por Andrade-Cuvi *et al.* (2016) para a variedade Baeza. Outros autores mostraram médias superiores para a variável em frutos de lulo de diferentes localidades, sendo, 7,30 °Brix em frutos do Equador (GANCEL *et al.*, 2008), 8,00 a 9,50 °Brix (respectivamente) para frutos do Equador e Colômbia (ACOSTA, PEREZ e VAILLANT, 2009), e 10,30 °Brix em frutos da Colômbia (MEJÍA *et al.*, 2012). Essas diferenças são dependentes da espécie, da taxa de assimilação de dióxido de carbono (CO₂) das folhas, do número de folhas e frutos e das condições climáticas durante o crescimento e maturação dos frutos (CASIERRA-POSADA, GARCÍA e LÜDDERS, 2004).

Durante o processo de maturação há aumento dos sólidos solúveis, o que possivelmente ocorre devido à translocação da sacarose das folhas, por hidrólise de polissacarídeos nas paredes celulares, produzindo açúcares solúveis que aumentam durante a maturação de frutas climatéricas como resultado enzimático, como a sacarose fosfato sintase (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Conforme Gancel *et al.* (2008) os ácidos orgânicos contribuem com 40% deste valor em frutos de lulo.

O ratio indica o equilíbrio de açúcares e ácidos orgânicos, relacionado ao sabor e amadurecimento dos frutos, refletindo no aumento de açúcares e redução de ácidos (PEREIRA *et al.*, 2019). Os resultados apresentados indicam que os frutos são ácidos, já que o ratio é maior em frutas doces, e com baixo índice de maturação. Andrade-Cuvi *et al.* (2016) observaram ratio variando de 2,30 a 3,90 para diferentes variedades e estados de maturação de lulos.

O lulo é consumido principalmente processado (ACOSTA, PÉREZ e VAILLANT, 2009), pois, são frutos ácidos e com baixo teor de sólidos solúveis, conforme resultados apresentados. Assim, pode ser interessante para o mercado brasileiro de frutas, apresentando potencial na diversificação de produtos (PEREIRA *et al.*, 2019). Portanto, estudos voltados para o processamento desses frutos são sugeridos.

Conclusões

Os métodos utilizados mostraram a presença de diferentes compostos antioxidantes nos frutos de lulo obtidos do cultivo no Brasil, destacando-se o FRAP, seguido pelos compostos fenólicos, ABTS e DPPH, sendo considerados fontes potenciais de antioxidantes naturais.

Com base nos valores encontrados de fenólicos, os frutos foram classificados como uma superfruta. A atividade antioxidante medida pelos flavonoides foi baixa. Os frutos são boa fonte de β -caroteno e licopeno, além de possuírem fontes boas de ácido ascórbico. Apresentaram acidez média, baixo teor de sólidos solúveis e baixo índice de maturação, tornando-os apropriados para o processamento.

Referências

- ACOSTA, O.; PÉREZ, A. M.; VAILLANT, F. Chemical characterization, antioxidant properties, and volatile constituents of naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) cultivated in Costa Rica. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, v. 59, n. 1, p. 88-94, 2009.
- ANDRADE, A. L. M. **Caracterización del fruto de lulo (*Solanum quitoense* Lam) y efecto de las altas presiones de homogeneización sobre las propiedades de su zumo**. 2017. Trabajo Fin de Máster Universitario (Ciencia e Ingeniería de los Alimentos) – Universitat Politècnica de València, Valencia, 2017.
- ANDRADE-CUVI, M. J.; MORENO-GUERRERO, C.; BRAVO-VÁSQUEZ, J.; GUIJARRO-FUERTES, M.; MONAR-BÓSQUEZ, V.; CEVALLOS-NAVARRETE, C.; CONCELLÓN, A. Efecto del estado de madurez sobre la calidad de tres variedades de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam). **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 17, n. 2, p. 1-25, 2016.
- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Archives of Biology and Technology**, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.
- CASIERRA-POSADA, F.; GARCÍA, E. J.; LÜDDERS, P. Determinación del punto óptimo de cosecha en el lulo (*Solanum quitoense* Lam. var. *quitoense* y *septentrionale*). **Agronomía Colombiana**, v. 22, n. 1, p. 32-39, 2004.

CHANG, C. C.; YANG, M. H.; WEN, H. M.; CHERN, J. C. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 10, n. 3, p. 178-182, 2002.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Superfruits: phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects – a comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1580-1604, 2019.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 783 p.

CONTRERAS-CALDERÓN, J.; CLADERÓN-JAIME, L.; GUERRA-HERNÁNDEZ, E.; GARCÍA-VILLANOVA, B. Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. **Food Research International**, v. 44, p. 2047-2053, 2011.

DE ANCOS, B.; SGROPPO, S.; PLAZA, L.; CANO, M. C. Possible nutritional and health-related value promotion in orange juice preserved by high-pressure treatment. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 82, p. 790-796, 2002.

DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N. Propriedades antioxidantes de compostos fenólicos. **Visão Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 33-40, 2004.

DIAS, M. G.; OLMEDILLA-ALONSO, B.; HORNERO-MÉNDEZ, D.; MERCADANTE, A. Z.; OSORIO, C.; VARGAS-MURGA, L.; MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J. Tabla de contenido en carotenoides de alimentos iberoamericanos. In: Meléndez, A. (coord.). **Carotenoides en agroalimentación y salud**. México: Editorial Terracota, 2017. v. 1, cap. 18, p. 354-429.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

FLÓREZ-VELASCO, N.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E.; RESTREPO-DÍAZ, H. Effects of foliar urea application on lulo (*Solanum quitoense* cv. *septentrionale*) plants grown under different waterlogging and nitrogen conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 186, p. 154-162, 2015.

FRANCO, G.; BERNAL, E. J.; GIRALDO, C. M. J.; TAMAYO, M. P. J.; CASTAÑO, P. O.; TAMAYO, V. A.; GALLEGOS, D. J. L.; BOTERO, O. M. J.; RODRÍGUEZ, O. J. E.; GUEVARA, M. N. J.; MORALES, M. J. E.; LONDOÑO, B. M. L.; RÍOS, G. G.; RODRÍGUEZ, M. J. L.; CARDONA, A. J. H.; ZULETA, O. J.; CASTAÑO, Z. J.; RAMÍREZ, G. M. C. **El cultivo del lulo: manual técnico**. Manizales: Corpoica, 2002. 103 p.

GANCEL, A.; ALTER, P.; DHUIQUE-MAYER, C.; RUALES, J.; VAILLANT, F. Identifying carotenoids and phenolic compounds in naranjilla (*Solanum quitoense* Lam. Var. Puyo Hybrid), an Andean fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 24, p. 11890-11899, 2008.

GEORGÉ, S.; BRAT, P.; ALTER, P.; AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 5, p. 1370-1373, 2005.

GOMES, J. E.; PERECIN, D.; MARTINS, A. B. G. Correlações entre os caracteres físico-químicos de frutos da aceroleira com variáveis meteorológicas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 111-114, 2002.

HEISER, C. B. The relationships of the naranjilla, *Solanum quitoense*. **Biotropica**, v. 4, n. 2, p. 77-84, 1972.

HINESTROZA-CÓRDOBA, L. I.; SERNA, S. D.; SEGUÍ, L.; BARRERA, C.; BETORET, N. Characterization of powdered lulo (*Solanum quitoense*) bagasse as a functional food ingredient. **Foods**, v. 9, n. 723, p. 1-16, 2020.

HUYSKENS, K. S.; PRONO-WIDAYAT, H.; SCHREINER, M.; PETERS, P. Effect of surface coating and film packaging on the keeping quality of solanaceous crops (*Solanum muricatum* Ait., *Solanum quitoense* Lam.). **Acta Horticulturae**, v. 553, p. 621-625, 2001.

IAL – Instituto Adolfo Lutz, 2008. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz. 1020 p.

IGUAL, M.; RAMIRES, S.; MOSQUERA, L. H.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. **Powder Technology**, v. 256, p. 233-238, 2014.

LLERENA, W.; SAMANIEGO, I.; NAVARRO, M.; ORTÍZ, J.; ANGÓS, I.; CARRILLO, W. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) in the antioxidant capacity of arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) and tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from Ecuador. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 10, p. 1-., 2020.

LIU, C.; LIU, W.; CHEN, W.; YANG, J.; ZHENG, L. Feasibility in multispectral imaging for predicting the content of bioactive compounds in intact tomato fruit. **Food Chemistry**, v. 173, n. 1, p. 482-488, 2015.

MATARAZZO, P. H. M.; SIQUEIRA, D. L.; SALOMÃO, L. C. C.; SILVA, D. F. P.; CECON, P. R. Desenvolvimento dos frutos de lulo (*Solanum quitoense* LAM), em Viçosa-MG. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 131-142, 2013.

MEDEIROS, S. A. F.; YAMANISHI, O. K.; PEIXOTO, J. R.; PIRES, M. C.; JUNQUEIRA, N. T. V.; RIBEIRO, J. G. B. L. Caracterização físico-química de progênies de maracujá-roxo e maracujá-azedo cultivados no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 2, p. 492-499, 2009.

MEJÍA, C. M. D.; GAVIRIA, D. A.; DUQUE, A. L. C.; RENGIFO, L. R.; AGUILAR E. F.; ALEGRÍAS, A. H. S. Physicochemical characterization of the lulo (*Solanum quitoense* Lam.) Castilla variety in six ripening stages. **Revista de la Facultad de Química Farmacéutica**, v. 19, n. 2, p. 157-135, 2012.

MERTZ, C.; GANCEL, A.; GUNATA, Z.; ALTER, P.; DHUIQUE-MAYER, C.; VAILLANT, F.; PEREZ, A. M.; RUALES, J.; BRAT, P. Phenolic compounds, carotenoids and antioxidant activity of three tropical fruits, **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 22, p. 381-387, 2009.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE COLOMBIA. **Evaluaciones agropecuarias municipales**, 2015. Disponível em: <<https://www.agronet.gov.co/Documents/Lulo2015.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2020.

NELLIS, S. C.; CORREIA, A. F. K.; SPOTO, M. H. F. Extração e quantificação de carotenoides em minitomate desidratado (*Sweet Grape*) através da aplicação de diferentes solventes. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1-5, 2017.

OZGEN, M.; REESE, R. N.; JR. TULIO, A. Z.; SCHEERENS, J. C.; MILLER, A. R. Modified 2,2-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) method to measure antioxidant capacity of selected small fruits and comparison to ferric reducing antioxidant power (FRAP) and 2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 4, p. 1151–1157, 2006.

PEREIRA, A. P. A.; ANGOLINI, C. F. F.; PAULINO, B. N.; LAURETTI, L. B. C.; ORLANDO, E. A.; SILVA, J. G. S.; NERI-NUMA, I. A.; SOUZA, J. D. R. P.; PALLONE, J. A. L.; EBERLIN, M. N.; PASTORE, G. M. A comprehensive characterization of *Solanum lycocarpum* St. Hill and *Solanum oocarpum* Sendtn: chemical composition and antioxidant properties. **Food Research International**, v. 124, p. 61-69, 2019.

PIETTA, P. Flavonoids as antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000.

RAMÍREZ, F.; KALLARACKAL, J.; DAVENPORT, T. L. Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) reproductive physiology: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 238, p. 163-176, 2018.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: International Life Sciences Institute Press, 2001. 64 p.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; KIMURA, M. **Handbook for carotenoid analysis**. Washington: HarvestPlus, 2004. 58 p. (HarvestPlus Technical Monograph, 2).

ROLIM, G. S.; APARECIDO, L. E. O. Camargo, Köppen and Thornthwaite climate classification systems in defining climatical regions of the state of São Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 36, p. 636–643, 2016.

ROTILI, M. C. C.; VILLA, F.; BRAGA, G. C.; FRANÇA, D. L. B.; ROSANELLI, S.; LAURETH, J. C. U.; SILVA, D. F. Bioactive compounds, antioxidant and physic-chemical characteristics of the dovyalis fruit. **Acta Scientiarum**, v. 40, p. 1-8, 2018.

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 pelo método de redução do ferro (FRAP). Fortaleza: Embrapa, 2006. 1-4 p. (Embrapa. Comunicado Técnico *on line*, 125).

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, 2007. 1-4 p. (Embrapa. Comunicado Técnico *on line*, 128).

VUOLO, M. M.; LIMA, V. S.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R. Phenolic Compounds: structure, classification, and antioxidant power. In: CAMPOS, M. R. S. (ed.). **Bioactive compounds: health benefits and potential applications**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019. 33-50 p.