

# Composição, atividade antioxidante e qualidade do maracujá-amarelo durante armazenamento

## Composition, antioxidant capacity and quality of yellow passion fruit during storage

Maria Cristina Copello Rotili<sup>1</sup>; Sidiane Coutro<sup>2</sup>; Viviane Marcela Celant<sup>3</sup>;  
Jessica Ariane Vorpapel<sup>4</sup>; Fabiane Karine Barp<sup>4</sup>;  
Ariane Busch Salibe<sup>5</sup>; Gilberto Costa Braga<sup>6\*</sup>

### Resumo

Neste trabalho, os conteúdos de compostos fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno, ácido ascórbico e a atividade antioxidante (pelos métodos DPPH e TEAC) foram determinados no suco do maracujá-amarelo durante o armazenamento a 5 e 24 °C, em intervalos de 10 dias, durante 40 dias. A qualidade dos frutos foi determinada durante o armazenamento, tomando como parâmetros as variáveis perda de massa, enrugamento, cor da casca e o índice de degradação por patógenos. Amostras de frutos em estágio de maturação com a cor da casca predominantemente verde, em início de amarelecimento, foram utilizadas nos ensaios. Os teores de compostos fenólicos totais e  $\beta$ -caroteno, e a atividade antioxidante do suco do maracujá-amarelo não foram influenciados pela temperatura de armazenamento. O conteúdo de compostos fenólicos totais do suco aumentou com o tempo de armazenamento. Os efeitos da temperatura de armazenamento foram mais evidentes e impactantes na aparência do fruto do que na qualidade nutricional do suco. A atividade antioxidante do suco, expressada em seqüestro do radical DPPH, diminuiu durante o armazenamento. Com base na qualidade microbiológica, a vida útil do maracujá-amarelo se estendeu até 20 dias no armazenamento refrigerado.

**Palavras-chave:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg., refrigeração, ácido ascórbico, fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno, qualidade microbiológica

### Abstract

In this work, the contents of phenolic compounds,  $\beta$ -carotene, ascorbic acid and antioxidant activity (DPPH and TEAC methods) were determined in the yellow passion fruit juice during storage at 5 and 24 °C, at intervals of 10 days. The fruit quality during storage was determined, and the parameters weight loss, wrinkles, skin color and pathogenic degradation index were used. Samples of fruit at maturity stage with the skin color predominantly green were used for the tests. The results showed that total phenolic compounds,  $\beta$ -carotene and antioxidant activity of the yellow passion fruit juice were not affected by storage temperature and the content of total phenolic compounds of the juice increased with storage

<sup>1</sup> Discente de Mestrado em Agronomia, Centro de Ciências Agrárias-CCA, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Rua Pernambuco, 1777, 85960-000, Marechal Cândido Rondon, PR. E-mail: crotili@ig.com.br

<sup>2</sup> Discente de Mestrado em Agronomia, CCA, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, PR. E-mail: scoltr@hotmail.com

<sup>3</sup> Discente de Doutorado em Agronomia, CCA, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, PR. E-mail: vivicelant@hotmail.com

<sup>4</sup> Discente(s) em Agronomia, CCA, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, PR. E-mail: vorpapel@hotmail.com; fabybarp@hotmail.com

<sup>5</sup> Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>, Dept<sup>o</sup> de Biotecnologia Vegetal, Universidade Federal de São Carlos, Campus de Araras, Rodovia Anhanguera, Km 174, s/n, 13600-970, Araras, São Paulo, SP. E-mail: absalibe@ig.com.br

<sup>6</sup> Prof. Dr., CCA, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon, PR. E-mail: gcb1506@gmail.com

\* Autor para correspondência

time. It was demonstrated that the effects of high temperature during storage is much more evident and impacting the appearance of the fruit, which in the nutritional quality of the juice. The antioxidant activity of juice, expressed in kidnapping DPPH decreased during storage. Based on the microbiological quality, the shelf life of yellow passion fruit was extended to 20 days in refrigerated storage.

**Key words:** *Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg., refrigerated storage, ascorbic acid, total phenolics,  $\beta$ -carotene, microbiological quality

## Introdução

O maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa* Degener) é uma fruta muito cultivada e explorada em todo o território brasileiro, com ótimo retorno econômico e despertando interesse dos fruticultores perante sua rápida produção em relação às demais frutíferas e pela grande aceitação no mercado (SAMPAIO et al., 2008). Os frutos do maracujá-amarelo são ricos em minerais, vitaminas (LIMA, 2002), compostos fenólicos (TALCOTT et al., 2003) e carotenoides (SOUZA et al., 2004). A presença de  $\beta$ -caroteno no maracujá-amarelo é responsável pela cor amarelada típica do suco (UENOJO; MARÓSTICA-JUNIOR; PASTORE, 2007). O acúmulo de vitaminas, compostos fenólicos e carotenoides em frutos é variável e depende, entre muitos fatores, do estágio de maturação e das condições de armazenamento (VEBERIC; COLARIC; STAMPAR, 2008). Tais compostos são sintetizados por vias metabólicas durante o desenvolvimento e maturação de frutos com diferentes funções bioquímicas e físicas no órgão, participando em mecanismos de defesa, atratividade e como antioxidantes (KADER, 2002; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

O consumo de frutas tropicais tem aumentado em nível nacional e internacional devido ao crescente reconhecimento de seu valor nutricional e terapêutico. Neste aspecto, tem sido dado grande destaque a atividade antioxidante de compostos presentes nas frutas, por possuírem potencial de reduzir o nível de estresse oxidativo celular (RUFINO et al., 2010; HASSIMOTTO; GENOVESE; LAJOLO, 2005). Segundo Pietta (2000) os antioxidantes são substâncias que reduzem o dano oxidativo das células, bloqueando os

radicais livres e prevenindo a formação de algumas doenças. A capacidade antioxidante tem sido expressa utilizando diferentes metodologias *in vitro*, incluindo, entre outras, a capacidade sequestradora de radicais peroxil (ORAC- *oxygen radical absorbance capacity*), capacidade de redução do metal (FRAP-*ferric reducing antioxidant power*), capacidade sequestradora de radical orgânico ABTS (*2,2'-azino-bis-(3-ethylbenz-thiazoline-6-sulfonic acid)*) e capacidade sequestradora do radical oxidante DPPH (*2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl*), e pelo menos dois desses ensaios (ou mesmo todos), devem ser combinados para prover uma análise confiável da capacidade antioxidante total em uma matriz alimentícia (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2008).

A manutenção da qualidade de frutos depende de uma série de fatores, como estágio de maturação na colheita e condições de armazenamento. A temperatura de armazenamento apresenta grande influência no metabolismo respiratório do fruto (DURIGAN et al., 2004) e na atividade microbiana (CHITARRA; CHITARRA, 2005), determinando diretamente a sua vida útil pós-colheita. Segundo Souza et al. (2004), o uso da refrigeração é necessária como medida de controle da respiração e da transpiração do fruto durante o armazenamento pós-colheita, reduzindo as taxas respiratórias e retardando o amadurecimento. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o fenômeno de alteração pós-colheita mais conhecido no maracujá é o enrugamento dos frutos, que ocorre quando as perdas de água atingem de 3 a 6%, afetando a sua qualidade. Diversas pesquisas têm sido realizadas sobre o armazenamento de frutos de espécies de *Passiflora*, mas nenhum trabalho abordou ainda a atividade antioxidante como um parâmetro de

resposta ao estresse fisiológico pós-colheita do maracujá-amarelo. Desta forma, este trabalho objetivou determinar o efeito da temperatura e do tempo de armazenamento na atividade antioxidante, nos teores de fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno e ácido ascórbico do suco e na qualidade física e microbiológica do fruto do maracujá-amarelo.

## Material e Métodos

### *Obtenção e preparo dos frutos*

Foram avaliados frutos de maracujá-amarelo provenientes de um pomar comercial no município de Corumbataí do Sul, PR, colhidos em abril de 2011. A área de cultivo está localizada a 24°06'03" de latitude sul e 52°07'12" de longitude oeste, estando a uma altitude de 601 m. Foram colhidos frutos em estágio fisiológico em início de amadurecimento, ou seja, cor da casca predominantemente verde. Depois de criteriosa seleção, foram escolhidos para o experimento frutos de tamanho e cor uniformes, sadios e sem defeitos ou danos físicos. Os frutos foram higienizados através de lavagem com água corrente e sanitizados com solução de hipoclorito de sódio a 0,1 mL L<sup>-1</sup>, por imersão durante 3 minutos em temperatura ambiente e depois secos com papel toalha.

### *Armazenamento e amostragem*

Os frutos foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido contendo dois frutos cada e sob atmosfera normal (não embalados com filme plástico), num total de cinco bandejas para cada condição de armazenamento. Depois foram armazenados nas temperaturas de 5 e 24 °C ( $\pm 2$  °C) e avaliados em intervalos de 10 dias, num período de 40 dias. O delineamento inteiramente casualizado foi utilizado no planejamento experimental, com cinco repetições. A cada período de avaliação, amostragens de grupos destrutivos foram realizadas para a extração do suco e análises bioquímicas. Na extração do suco, um corte transversal foi feito nos

frutos com faca de aço inoxidável, sendo a polpa retirada e o suco separado da semente com peneira plástica. As amostras de suco foram acondicionadas em tubos plásticos de 15 mL e armazenadas sob congelamento a -24 °C. Outro grupo não destrutivo foi considerado para análises físicas e microbiológicas.

### *Compostos fenólicos totais*

O método utilizado para determinação dos fenóis totais seguiu metodologia de Singleton, Orthofer e Lamuela (1999). Amostras de 2,2 mL de suco do maracujá foram transferidas para tubos de ensaio, onde foram adicionados 8,0 mL de etanol. Os tubos foram submetidos à agitação por 2 minutos e depois centrifugados a 2000 g durante 10 minutos. Depois, os extratos foram filtrados em filtro de papel qualitativo (15  $\mu$ m). Uma alíquota de 0,5 mL da amostra foi transferida para tubo de ensaio e adicionado 2,5 mL da solução de Folin-Ciocalteu 10 % (10:90; v/v), e deixado em repouso durante 5 minutos. Em seguida, foram adicionados 2,0 mL da solução carbonato de sódio 4% (4:96; m/v) e os tubos deixados em repouso por 2 horas, no escuro. A absorbância foi medida em espectrofotômetro BEL Photonics SP1105 a 740 nm. O ácido gálico, nas concentrações que variaram de 5 a 80  $\mu$ g mL<sup>-1</sup>, foi utilizado como padrão. Os resultados foram expressos em equivalente ácido gálico (mg EAG 100 mL<sup>-1</sup> suco).

### *$\beta$ -caroteno*

O conteúdo de  $\beta$ -caroteno foi determinado conforme método de Nagata e Yamashita (1992). Uma amostra de 1,0 mL de suco foi adicionada a 10 mL do solvente (6 mL de hexano/4 mL de acetona). Depois, o extrato foi homogeneizado com Ultraturax durante um minuto e centrifugado a 2000 g durante 10 minutos. O sobrenadante foi recolhido para leitura. Para calcular os teores presentes na amostra, utilizou-se a seguinte equação:

$$\beta\text{-caroteno} = 0,216A_{663} - 1,22A_{645} - 0,304A_{505} + 0,452A_{453}$$

Onde:  $A_{663}$ ,  $A_{645}$ ,  $A_{505}$  e  $A_{453}$  são as absorvâncias da leitura da amostra a 663, 645, 505 e 453 nm, respectivamente. Os resultados foram expressos em mg 100 mL<sup>-1</sup> de suco.

### Ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado por titulação com 2,6-dicloro-fenol-indofenol (DCFI), com modificações propostas por Benassi e Antunes (1988). Os resultados foram expressos em mg 100 mL<sup>-1</sup> de suco.

### Atividade antioxidante

#### Obtenção do extrato

O extrato foi preparado com a adição de 2,0 mL de suco em 7,0 mL do solvente etanol 80% em água (v/v). Depois o extrato foi homogeneizado em Vortex por 30 seg e, em seguida, dispersado com Ultraturrax por um minuto. Depois foi centrifugado a 2000 g por 10 min e filtrado em filtro de papel qualitativo (15 µm). Todo o procedimento ocorreu no escuro e em triplicata. Ao final, os extratos foram armazenados a -24 °C aguardando as análises.

#### Método DPPH

A atividade antioxidante do suco do maracujá-amarelo foi avaliada por meio da sua capacidade de sequestro de radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), baseada no método proposto por De Ancos et al. (2002). Em ambiente escuro, a alíquota de 150 µL do extrato foi adicionada a 850 µL da solução de DPPH (60 µmol L<sup>-1</sup>), e deixado em repouso por 30 minutos no escuro. Procedeu-se a leitura da absorvância em espectrofotômetro a 515 nm. Utilizou-se como padrão o ácido ascórbico nas concentrações de 10, 15, 24, 37, 56 e 85 µg mL<sup>-1</sup> para construir a curva de calibração. A partir da equação

ajustada, realizou-se o cálculo da concentração de atividade antioxidante, expressa em equivalente ácido ascórbico EAA (mg EAA 100 mL<sup>-1</sup> de suco).

#### Método TEAC ('Trolox Equivalent Antioxidant Capacity')

A atividade antioxidante pelo método TEAC estima a capacidade da amostra em sequestrar o radical ABTS<sup>+</sup> [2,2'-azino-bis-(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] e foi realizada conforme metodologia descrita por Re et al. (1999), com algumas modificações. O radical ABTS<sup>+</sup> foi formado pela reação de 140 mmol L<sup>-1</sup> de persulfato de potássio com 7 mmol L<sup>-1</sup> de ABTS<sup>+</sup>, armazenado no escuro a temperatura ambiente, por 16 horas. Depois, o radical ABTS<sup>+</sup> foi diluído com etanol até a obtenção do valor de absorvância entre 0,700 e 0,734 nm (± 0,05 nm). Em ambiente escuro transferiu-se uma alíquota de 30 µL de cada diluição do extrato para tubos de ensaio e adicionou-se 3,0 mL do radical ABTS<sup>+</sup>. Realizou-se a leitura a 734 nm após 6 minutos da reação e foi utilizado o etanol como branco. A curva padrão foi ajustada com Trolox [(+/-)-6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethyl-chroman-2-carboxylic acid] nas concentrações 0,02; 0,12; 0,25; 0,37 e 0,50 µg mL<sup>-1</sup>. Os resultados da atividade antioxidante do suco foram calculados de acordo com a equação ajustada com o padrão e expressos em equivalente Trolox (µg ETrolox 100 mL<sup>-1</sup>).

#### Qualidade física

A qualidade física do fruto do maracujá-amarelo foi avaliada de acordo com as variáveis perda de massa fresca, enrugamento e cor da casca do fruto. A perda de massa foi determinada através da diferença entre a massa fresca inicial das unidades experimentais e a massa no dia da amostragem, expressa em %. O enrugamento foi determinado subjetivamente, através de exame visual utilizando um índice numérico de escalas de

notas onde: 1= casca totalmente lisa; 2= mais lisa do que enrugada, 3= porções de casca igualmente lisa e enrugada; 4=mais enrugada do que lisa; 5= totalmente enrugada. A variação da cor da casca foi determinada subjetivamente através de um índice de escala numérica variando de 1 (100% da casca verde) até 5 (100% amarela).

#### *Índice de degradação patogênica*

O índice de degradação patogênica foi determinado de acordo com Cao et al. (2011). As amostras de cada repetição foram avaliadas visualmente e a incidência de patógenos foi estimada por um índice de acordo com uma escala de quatro pontos, onde 0 = sadio ou nenhum fruto atacado, 1 = leve incidência, < 25% da superfície dos frutos atacados, 2 = incidência moderada, cobrindo superfície > 25%, mas inferior a 50% da superfície dos frutos, 3 = incidência severa, cobrindo mais de 50% da superfície dos frutos. O índice de degradação por patógenos foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

Índice de degradação patogênica =

$$(1 \times N_1 + 2 \times N_2 + 3 \times N_3) \times [100 \div (3 \times N)]$$

Onde  $N$  é o número total de frutos avaliados (10 frutos) e  $N_1$ ,  $N_2$  e  $N_3$  o número de frutos atacados por nota de incidência (1, 2 ou 3). A identificação de fungos foi realizada por microscopia segundo Franco e Landgraf (1996).

#### *Análise Estatística*

Foi aplicada a análise de variância e aos parâmetros que apresentaram efeito significativo pelo teste F, suas médias ( $n=5$ ) foram comparadas pelo teste Fisher-LSD. A análise de correlação linear de Pearson foi aplicada entre as variáveis. O nível de significância a  $p<0,05$  foi utilizado em todas as análises. O pacote estatístico GENES (CRUZ, 2006) foi utilizado nas análises.

#### **Resultados e Discussão**

Frutos em estágio de maturação verde-amarelo (predominantemente verde) foram utilizados. Por isto, considerações sobre o padrão respiratório climatérico, típico das espécies de *Passiflora*, foram relevantes neste estudo, pois refletem as reações metabólicas do amadurecimento do fruto, conduzindo a mudanças físicas e químicas no órgão que, irreversivelmente, levam à sua senescência (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Na análise de variância foram considerados apenas os resultados obtidos até o período de 20 dias de armazenamento, pois nas avaliações aos 30 e 40 dias e a 24 °C, os frutos se apresentaram impróprios para análises devido ao elevado índice de degradação. Assim, a Tabela 1 mostra os coeficientes de significância para os efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento. Não foi aplicada a análise de variância nos resultados de índice de degradação patogênica, cujos valores calculados são meramente descritivos.

**Tabela 1.** Coeficientes de significância da análise de variância para os efeitos da temperatura (5 e 24 °C) e tempo de armazenamento (até 20 dias) do maracujá-amarelo.

Fonte de variação	Fenólicos totais	$\beta$ -caroteno	Ácido ascórbico	AA <sup>a</sup> DPPH	AA <sup>a</sup> TEAC	Perda de massa	Índice de enrugamento	Índice de cor
Temperatura	ns	ns	*	ns	ns	**	**	**
Tempo	**	ns	ns	*	ns	**	**	**
Temperatura x tempo	ns	ns	*	ns	ns	**	**	**
CV <sup>b</sup> , %	1,76	31,95	20,67	9,80	10,23	20,30	11,70	19,24

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; ns não significativo a  $p < 0,05$

<sup>a</sup> Atividade antioxidante; <sup>b</sup> Coeficiente de variação.

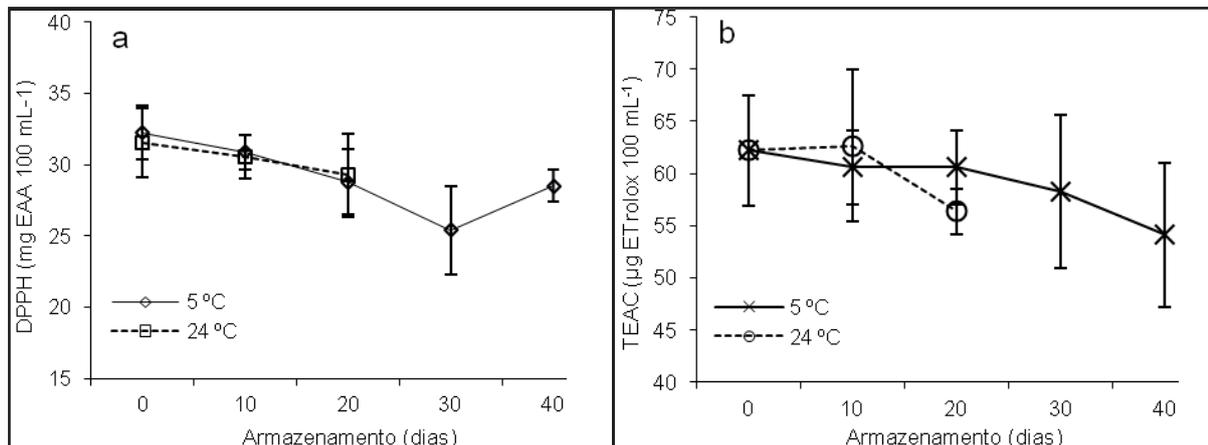
Fonte: Elaboração dos autores.

### Atividade antioxidante

A atividade antioxidante do suco do maracujá-amarelo foi determinada pelos métodos DPPH e TEAC, conforme resultados apresentados na Figura 1. De acordo com os resultados da análise de variância (Tabela 1), não foi detectado efeito significativo da temperatura sobre a atividade

antioxidante do suco do maracujá-amarelo nas duas metodologias utilizadas, e o tempo de armazenamento foi significativamente capaz de influenciar a atividade antioxidante apenas no método DPPH. De acordo com a Figura 1a, a capacidade do suco em sequestrar o radical DPPH decresceu durante o armazenamento até 30 dias.

**Figura 1.** Atividade antioxidante DPPH (a) e TEAC (b) do suco do maracujá-amarelo armazenado em diferentes temperaturas. As linhas verticais representam o desvio padrão (n=5). Na Figura a, EAA = equivalente ácido ascórbico.



Fonte: Elaboração dos autores.

Correlações significativas foram verificadas entre a atividade antioxidante DPPH e compostos fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno e ácido ascórbico (Tabela 2), porém os coeficientes foram negativos

e com valores baixos (-0,55, -0,33 e -0,40, respectivamente), não dando indícios claros da relação dos compostos antioxidantes com os resultados encontrados pelo método DPPH.

Também foi verificado que não houve correlações significativas da atividade antioxidante medida pelo método TEAC, com os compostos antioxidantes analisados. No entanto, os resultados da Figura

1b sugerem diminuições na atividade antioxidante TEAC, nas duas temperaturas de armazenamento, mas os elevados desvios das médias não validam estatisticamente esta tendência, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 2.** Coeficientes de correlação linear de Pearson para as combinações entre as variáveis químicas e físicas do maracujá-amarelo durante o armazenamento.

Variáveis	$\beta$ -caroteno	Ácido ascórbico	DPPH	TEAC	Perda de massa	Índice de enrugamento	Índice de degradação	Índice de cor
Fenólicos totais	0,07 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-0,55**	-0,16 <sup>ns</sup>	0,62**	0,65**	0,35*	0,48**
$\beta$ -caroteno		0,21 <sup>ns</sup>	-0,33*	0,00 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>
Ácido ascórbico			-0,40**	0,01 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,33*	0,44**
DPPH				0,10 <sup>ns</sup>	-0,55**	-0,53**	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,41*
ABTS					-0,35*	-0,36*	-0,36*	-0,01 <sup>ns</sup>
Perda de massa						0,99**	0,78**	0,31*
Índice de enrugamento							0,78**	0,25 <sup>ns</sup>
Índice de degradação								-0,22 <sup>ns</sup>

\*  $p < 0,05$ ; \*\*  $p < 0,01$ ; <sup>ns</sup> não significativo a  $p < 0,05$ .

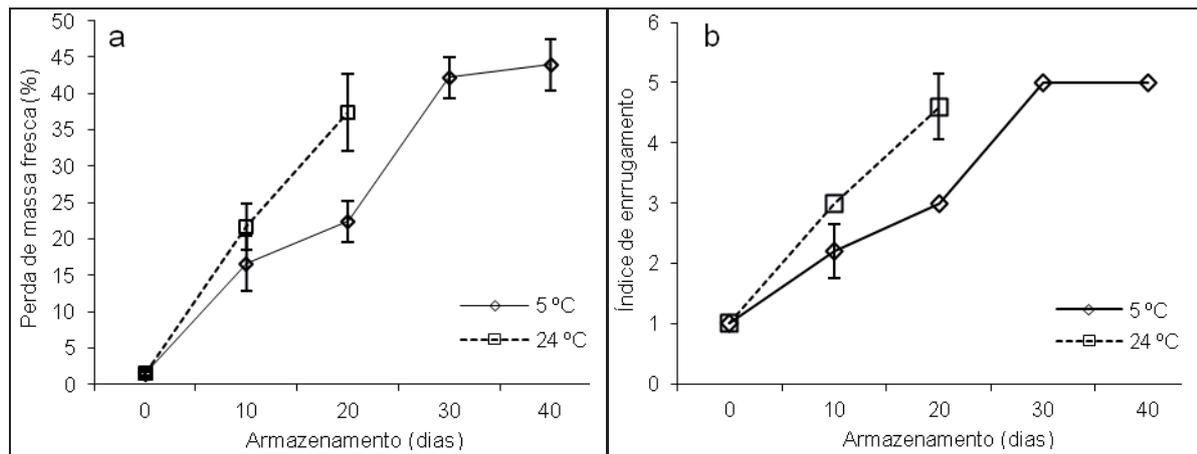
**Fonte:** Elaboração dos autores.

A atividade antioxidante em vegetais é devida a ação de uma grande variedade de compostos antioxidantes, que são degradados ou sintetizados de acordo com o estado fisiológico e com os níveis de estresses abióticos e bióticos sofridos pelo órgão durante o armazenamento. No caso do maracujá-amarelo, a refrigeração não foi favorável à manutenção da atividade antioxidante, com resultados semelhantes aos encontrados para o armazenamento a 24 °C. Em contraste, Javanmardi e Kubota (2006), em trabalho similar com armazenamento de tomates, encontraram aumento na atividade antioxidante (TEAC) dos frutos durante o armazenamento refrigerado.

### Qualidade física

Os efeitos da temperatura e do tempo de armazenamento do maracujá-amarelo foram significativos ( $p < 0,01$ ) para a perda de massa e para o enrugamento (Tabela 1), mostrando a alta suscetibilidade dos frutos a esses danos físicos, conforme verificado também por Mota et al. (2003), Mota et al. (2006) e Hafle et al. (2010). Foi verificado que os frutos armazenados a 24 °C começaram um rápido processo de desidratação, com conseqüente perda de massa fresca (Figura 2a) e enrugamento (Figura 2b). Tais processos depreciam a aparência visual do fruto, reduzindo seu valor comercial. Frutos armazenados a 5 °C apresentaram maior retenção de massa fresca, mantendo-se mais túrgidos e com melhores condições de comercialização. Resultados semelhantes também foram verificados por Mota et al. (2006) e Hafle et al. (2010).

**Figura 2.** Perda de massa fresca (a) e índice de enrugamento (b) do fruto do maracujá-amarelo armazenado em diferentes temperaturas. As linhas verticais representam o desvio padrão (n=5). No índice de enrugamento, 1= casca totalmente lisa; 2= mais lisa do que enrugada, 3= porções de casca igualmente lisa e enrugada; 4=mais enrugada do que lisa; 5= totalmente enrugada.

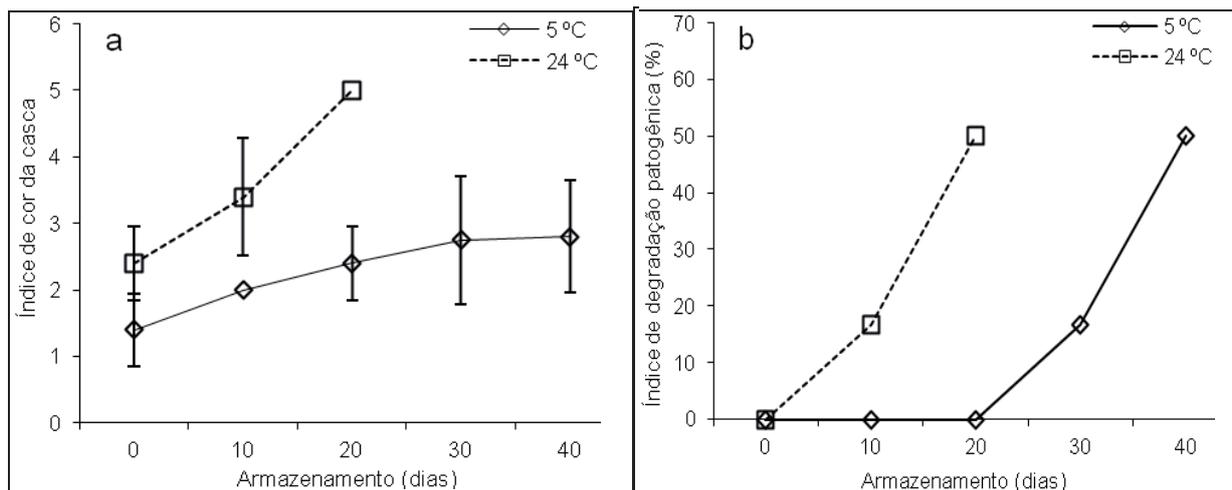


Fonte: Elaboração dos autores.

Os resultados da Figura 2b mostram que o enrugamento aumentou durante o armazenamento, mas a 24 °C os níveis foram mais elevados até 20 dias de armazenamento. Embora a temperatura de 5 °C tenha desacelerado o processo de enrugamento da casca, o índice máximo (5) foi alcançado aos 30 dias de armazenamento. O enrugamento da casca do fruto é um critério comercial importante, pois o maracujá é comercializado a granel, e o consumidor compra os frutos pela aparência. A perda de água do fruto, que leva ao enrugamento, é influenciada por vários fatores, entre eles o estágio de maturação, relação superfície/volume, temperatura e umidade relativa do ambiente (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A redução da perda de massa é possível pelo uso de tecnologias das mais diversas complexidades e custos, a exemplo do uso de filmes plásticos associados ao uso de ceras e refrigeração (HAFLE et al., 2010). Porém, essas tecnologias podem elevar os custos de comercialização, necessitando de outras investigações sobre sua viabilidade econômica.

Houve aumento significativo no índice de cor da casca (amarelecimento) do maracujá-amarelo armazenado a 24 °C, refletindo o amadurecimento em níveis mais elevados comparado ao armazenamento a 5 °C (Figura 3a). A temperatura é o principal fator de influência no metabolismo fisiológico pós-colheita de frutos e, no caso do maracujá, que apresenta padrão climatérico, o aumento da temperatura induz níveis elevados de atividade metabólica (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Neste caso, no armazenamento a 24 °C, as vias metabólicas com níveis mais elevados de oxidação enzimática de clorofila da casca, levaram a um aumento da tonalidade amarela. A mudança de cor em folhas e frutos ocorre devido à degradação da clorofila, revelando os pigmentos amarelos de compostos carotenoides preexistente ou sintetizados (UENOJO; MARÓSTICA-JUNIOR; PASTORE, 2007). A presença da cor amarela no maracujá é importante para o seu comércio, pois é um dos atributos por meio do qual o consumidor avalia a maturidade e a qualidade dos frutos.

**Figura 3.** Índice de cor da casca (a) e índice de degradação patogênica (b) do fruto do maracujá-amarelo armazenado em diferentes temperaturas. Na Figura a, índice de cor varia de 1 (100% da casca verde) até 5 (100% amarela) e as linhas verticais representam o desvio padrão (n=5). Na Figura b, os valores observados são calculados de 10 frutos.



**Fonte:** Elaboração dos autores.

Os resultados do índice de degradação patogênica do maracujá-amarelo durante o armazenamento são apresentados na Figura 3b. Os dados observados refletem o nível de degradação por patógenos de acordo com a severidade de ataque superficial em cada fruto e com o número de frutos atacados. Os frutos armazenados a 24 °C apresentaram índices de degradação de 16,7 % aos 10 dias, enquanto que a 5 °C os mesmos índices foram encontrados aos 30 dias de armazenamento, evidenciando o efeito inibidor da refrigeração sobre o desenvolvimento de patógenos no maracujá-amarelo. Os maiores índices de degradação patogênica (50%) foram encontrados nos frutos armazenados a 24 °C aos 20 dias e a 5 °C aos 40 dias. O fungo *Penicillium* ssp. foi identificado nos frutos por análise microscópica e foi responsável pelos sintomas de degradação.

Temperaturas elevadas induzem aumento na velocidade de reações metabólicas em frutos, com transformações químicas e físicas que tornam os tecidos mais suscetíveis à perda de umidade e ao ataque de patógenos (KADER, 2002). Assim, o controle do metabolismo dos frutos com a refrigeração a 5 °C foi determinante na manutenção da qualidade e proporcionou maior

vida útil dos maracujás, que não apresentaram sintomas de degradação por patógenos até 20 dias de armazenamento refrigerado (Figura 3b). Isso comprova a importância do ambiente refrigerado na manutenção da qualidade dos frutos armazenados.

Em relação a qualidade física dos frutos, observou-se alta correlação (0,99) entre a perda de massa fresca e o enrugamento (Tabela 2), indicando que existe uma relação altamente dependente entre essas duas variáveis. O índice de degradação por patógeno apresentou correlação significativa com a perda de massa fresca (0,78;  $p < 0,01$ ) e com o enrugamento (0,78;  $p < 0,01$ ), mas foi não significativo com o índice de cor da casca (-0,22), indicando que os níveis de incidência ou severidade dos sintomas patogênicos nos frutos têm estreita relação com reações que envolvem a transpiração dos frutos.

Fica evidente, com os resultados, que a vida útil comercial do maracujá-amarelo pode ser comprometida no armazenamento em temperatura ambiente e que as alterações durante o armazenamento são muito mais evidentes e comprometedoras na aparência do fruto do que na

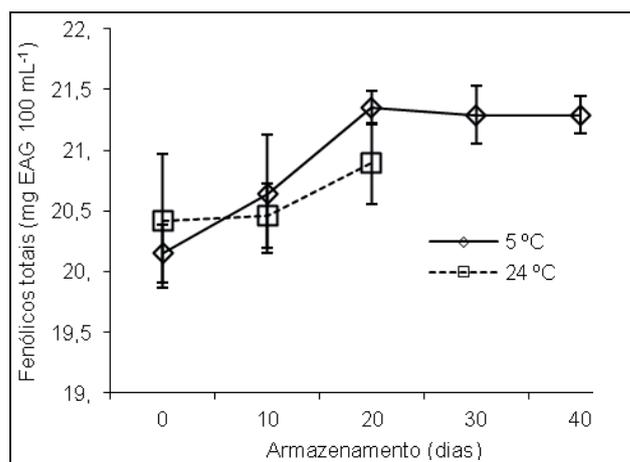
qualidade do suco, e uma análise microbiológica do suco pode evidenciar outras considerações. Ficou demonstrada também a elevada sensibilidade dos frutos de maracujá-amarelo aos processos de degradação física relacionados à perda de massa fresca e desenvolvimento de patógenos.

### Compostos antioxidantes

A composição antioxidante do suco do maracujá-amarelo foi avaliada para os conteúdos de fenólicos totais,  $\beta$ -caroteno e ácido ascórbico. Esses compostos foram quantificados nas frações do suco e estão relacionados com o seu mecanismo bioquímico antioxidante (PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2008). De

acordo com a Tabela 1, houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) da temperatura apenas para o ácido ascórbico e o tempo de armazenamento influenciou significativamente ( $p < 0,01$ ) apenas no conteúdo de fenólicos totais. Acréscimos no conteúdo de compostos fenólicos totais foram verificados até 20 dias de armazenamento nas duas temperaturas testadas (Figura 4). Esses acréscimos podem estar relacionados com o amadurecimento dos frutos, uma vez que houve correlação significativa (0,48;  $p < 0,01$ ) entre compostos fenólicos totais e índice de cor da casca (Tabela 2), ou seja, houve correlação com o aumento da cor amarela da casca do fruto, que expressa o seu amadurecimento.

**Figura 4.** Compostos fenólicos totais do suco do maracujá-amarelo armazenado em diferentes temperaturas. As linhas verticais representam o desvio padrão ( $n=5$ ).



Fonte: Elaboração dos autores.

Compostos fenólicos são substâncias do metabolismo secundário vegetal, com diferentes funções fisiológicas. Respostas fisiológicas do fruto devido ao metabolismo normal da maturação (TAIZ; ZEIGER, 2006) ou devido a estresses pós-colheita envolvendo temperatura, transpiração, oxigênio e patógenos (ROUSSOS et al., 2007), estão relacionados à expressão gênica do órgão na síntese de compostos fenólicos. Adicionalmente, a

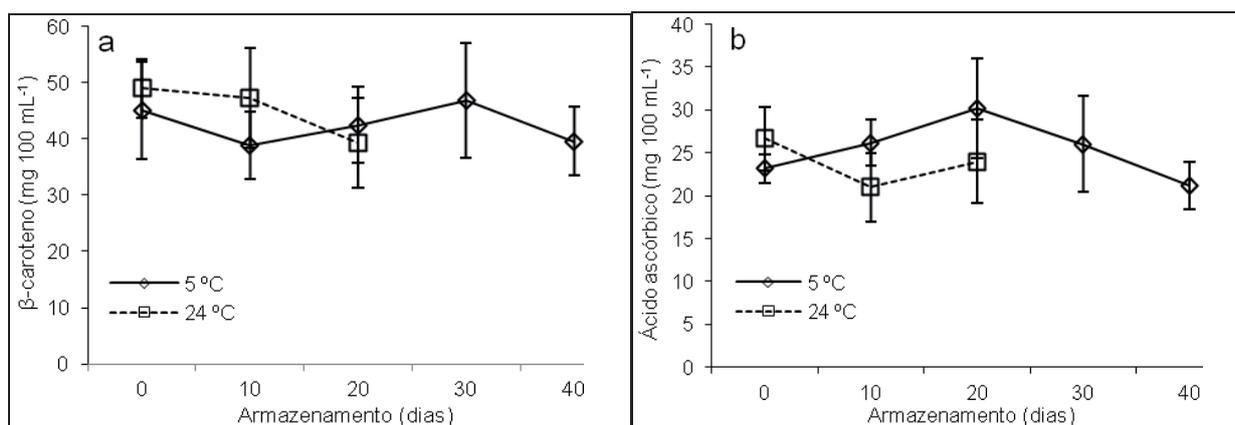
elevação no conteúdo de fenólicos totais contribui para aumentar a ingestão de antioxidantes na dieta humana, que varia, em uma dieta normal, entre 0,15 e 1,0 g dia<sup>-1</sup> (RIBEIRO et al., 2007).

A composição fenólica de frutos é determinada por fatores genéticos e ambientais, mas podem ser modificados através de reações oxidativas durante o armazenamento de frutos. Dois dos processos mais importantes relacionados a composição fenólica

estão envolvidos com atividade antioxidante dos fenóis e com escurecimento oxidativo (ROBARDZ et al., 1999), ambos os processos relacionados a estresses fisiológicos. No entanto, considerando o caráter ácido do suco do maracujá-amarelo, com pH entre 3,5 e 3,8 (REOLON; BRAGA; SALIBE, 2009), os mecanismos envolvidos nas alterações de compostos antioxidantes do suco, frente aos estresses pós-colheita bióticos e abióticos, devem ser melhor esclarecidos, uma vez que muitas reações bioquímicas são inibidas em baixo pH, sobretudo em nível enzimático.

O conteúdo de  $\beta$ -caroteno no suco do maracujá-amarelo (Figura 5) não sofreu influência significativa da temperatura ou do tempo de armazenamento do fruto (Tabela 1). Esses resultados não significativos foram influenciados pelo elevado coeficiente de variação (31,95 %). Isso mostra que apesar da condição estressante devido a perda de massa fresca (Figura 2a) e desenvolvimento de patógenos no fruto (Figura 3b), bem como devido às reações oxidativas do metabolismo de amadurecimento nas etapas iniciais de armazenamento, houve retenção de  $\beta$ -caroteno no suco, com conteúdo médio total ao redor de 44 mg 100 mL<sup>-1</sup> durante o armazenamento.

**Figura 5.** Conteúdos de  $\beta$ -caroteno (a) e ácido ascórbico (b) do suco do maracujá-amarelo armazenado em diferentes temperaturas. As linhas verticais representam o desvio padrão (n=5).



**Fonte:** Elaboração dos autores.

De acordo com Uenojo, Maróstica-Junior e Pastore (2007), os níveis de carotenoides em células de frutas são mantidos relativamente constantes até o início da senescência e que dois tipos de enzimas são responsáveis pela oxigenação e degradação dos carotenoides: as lipoxigenases, advindas dos cloroplastos, que catalisam a conversão de lipídios insaturados a compostos de aroma; e peroxidases, da mitocôndria. A retenção de  $\beta$ -caroteno no suco do maracujá-amarelo durante o armazenamento revela o benefício vantajoso sob o aspecto de manutenção de sua fitodisponibilidade nutricional. O  $\beta$ -caroteno

desempenha papel fundamental na saúde humana, sendo precursor da vitamina A e essencial para a visão. Outros efeitos benéficos dos carotenoides contra certos tipos de câncer e doenças do coração foram reconhecidos e estimularam intensas investigações sobre o papel desses compostos como antioxidantes e como reguladores de resposta do sistema imune (DELGADO-VARGAS; JIMÉNEZ; PAREDES-LÓPEZ, 2000).

O tempo de armazenamento não causou efeito significativo no conteúdo de ácido ascórbico, mas foi significativamente influenciado ( $p < 0,05$ ) pela

temperatura (Tabela 1), no entanto, a interação significativa entre os fatores sugere que a temperatura de armazenamento tenha influenciado resultados diferentes, o que pode ser verificado até os 10 dias de armazenamento, quando houve decréscimo de ácido ascórbico do suco a 24 °C e acréscimo a 5 °C (Figura 5b).

Sintomas de amadurecimento dos frutos foram observados durante o armazenamento, através dos aumentos de cor amarela da casca (Figura 3a), sobretudo para os frutos armazenados a 24 °C. Níveis de temperatura entre 20 e 25 °C são considerados fisiologicamente ideais para frutos climatéricos (CHITARRA; CHITARRA, 2005) e, neste caso, a maior intensidade de reações metabólicas dos frutos a 24 °C pode ter influenciado na diminuição do conteúdo de ácido ascórbico no início do armazenamento (Figura 5b). Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Coelho, Cenci e Resende (2010), que relataram diminuição de ácido ascórbico nos estágios iniciais de amadurecimento do maracujá a 22 °C. Os mesmos autores reportaram níveis de ácido ascórbico similar aos encontrados neste trabalho, com variações entre 25 e 30 mg 100 mL<sup>-1</sup>. Segundo Lee e Kader (2000), o conteúdo de ácido ascórbico em frutos sofre forte influência do metabolismo normal (maturação e senescência) e de outros estresses pós-colheita.

A manutenção dos níveis de ácido ascórbico em órgãos vegetais é rigidamente controlada por níveis de síntese, degradação, reciclagem e transporte dentro da célula (STEVENS et al., 2008). Devido ao papel antioxidante do ácido ascórbico, a via de reciclagem no fruto é especialmente importante durante a resposta do órgão a estresses oxidativos, quando o ácido ascórbico reduzido é oxidado para sua forma instável de ácido deidroascórbico, que pode ser facilmente degradado. De acordo com Smirnoff e Wheeler (2000), a forma reduzida do ácido ascórbico pode ser esgotada se as formas oxidadas não forem recuperadas por enzimas redutases (monodeidroascorbato e deidroascorbato redutase), expressas geneticamente em resposta

a estresses oxidativos. Os processos de síntese e reciclagem podem explicar a manutenção e os aumentos no conteúdo de ácido ascórbico até 20 dias de armazenamento para os maracujás armazenados a 5 °C e dos 10 aos 20 dias no armazenamento a 24 °C (Figura 5b). A partir de 20 dias de armazenamento, a diminuição do ácido ascórbico sugere a prevalência de processos degradativos.

## Conclusões

Os efeitos da temperatura de armazenamento são mais evidentes e impactantes na aparência do fruto do que na qualidade nutricional do suco de maracujá-amarelo. Os teores de compostos fenólicos totais e  $\beta$ -caroteno, e a atividade antioxidante do suco não foram influenciados pela temperatura de armazenamento. O conteúdo de compostos fenólicos totais do suco aumentou com o tempo de armazenamento. A atividade antioxidante do suco, expressada em sequestro do radical DPPH, diminuiu durante o armazenamento. Com base na qualidade microbiológica, a vida útil do maracujá-amarelo se estendeu até 20 dias no armazenamento refrigerado.

## Agradecimentos

À CAPES, pelo auxílio financeiro.

## Referências

- BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 31, n. 4, p. 507-513, 1988.
- CAO, S.; HU, Z.; ZHENG, Y.; YANG, Z.; LU, B. Effect of BTH on antioxidant enzymes, radical-scavenging activity and decay in strawberry fruit. *Food Chemistry*, Barking, v. 125, n. 1, p. 145-149, 2011.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio*. Lavras: ESALQ/FAEPE, 2005. 785 p.

- COELHO, A. A.; CENCI, S. A.; RESENDE, E. D. Qualidade do suco de maracujá-amarelo em diferentes pontos de colheita e após o amadurecimento. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 3, p. 722-729, 2010.
- CRUZ, C. D. *Programa genes: biometria*. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.
- DE ANCOS, B.; SGROPPO, S.; PLAZA, L.; CANO, M. P. Possible nutritional and health-related value promotion in orange juice preserved by high-pressure treatment. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Oxford, v. 82, n. 8, p. 790-796, 2002.
- DELGADO-VARGAS, F.; JIMÉNEZ, A. R.; PAREDES-LÓPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains- characteristics, biosynthesis, processing, and storage. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Raton, v. 40, n. 3, p. 173-289, 2000.
- DURIGAN, J. F.; SIGRIST, J. M. M.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; VIEIRA, G. Qualidade e tecnologia pós-colheita do maracujá. In: LIMA, A. A.; CUNHA, M. A. P. *Maracujá: produção e qualidade na passicultura*. Cruz das Almas: Embrapa, 2004. p. 283-303.
- FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. *Microbiologia de alimentos*. São Paulo: Atheneu, 1996. 182 p.
- HAFLE, O. M.; COSTA, A. C.; SANTOS, V. M.; SANTOS, V. A.; MOREIRA, R. A. Características físicas e químicas do maracujá-amarelo tratado com cera e armazenado em condição ambiente. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Fortaleza, v. 5, n. 3, p. 341-346, 2010.
- HASSIMOTTO, N. M. A.; GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Antioxidant activity of dietary fruits, vegetables, and commercial frozen fruit pulps. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Washington, v. 53, n. 8, p. 2928-2935, 2005.
- JAVANMARDI, J.; KUBOTA, C. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, Oxford, v. 41, n. 2, p. 151-155, 2006.
- KADER, A. A. *Postharvest technology of horticultural crops*. 3. ed. Oakland: University of California, 2002. 519 p.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, Oxford, v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.
- LIMA, A. A. *Maracujá produção: aspectos técnicos*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 104 p. (Frutas do Brasil, 15).
- MOTA, W. F.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R.; FINGER, F. L. Waxes and plastic film in relation to the shelf life of yellow passion fruit. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 51-57, 2003.
- MOTA, W. F.; SALOMÃO, L. C. C.; NERES, C. R. L.; MIZOBUTSI, G. P.; NEVES, L. L. M. Uso de cera-de-carnaúba e saco plástico poliolefinico na conservação pós-colheita do maracujá-amarelo. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 190-193, 2006.
- NAGATA, M.; YAMASHITA, I. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology*, Kyoto, v. 39, n. 10, p. 928-928, 1992.
- PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; ARRANZ, S.; TABERNERO, M.; DÍAZ-RUBIO, M. E.; SERRANO, J.; GOÑI, I.; SAURA-CALIXTO, F. Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, Essex, v. 41, n. 3, p. 274-285, 2008.
- PIETTA, P. G. Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, Cincinnati, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000.
- RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, New York, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999.
- REOLON, C. A.; BRAGA, G. C.; SALIBE, A. B. Características físico-químicas da casca do maracujá amarelo em diferentes estádios de maturação. *Boletim CEPPA*, Curitiba, v. 27, n. 2, p. 305-312, 2009.
- RIBEIRO, S. M. R.; QUEIROZ, J. H.; QUEIROZ, M. E. L. R.; CAMPOS, F. M.; SANT'ANA, H. M. P. Antioxidant in mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *Plant Foods for Human Nutrition*, Dordrecht, v. 62, n. 1, p. 13-17, 2007.
- ROBARDS, K.; PRENZLER, P. D.; TUCKER, G.; SWATSITANG, P.; GLOVER, W. Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food Chemistry*, Barking, v. 66, n. 4, p. 401-436, 1999.
- ROUSSOS, P. A.; MATSOUKIS, A.; PONTIKIS, C. A.; CHRONOPOULOU-SERELI, A. Relations of environmental factors with the phenol content and oxidative enzyme activities of olive explants. *Scientia Horticulturae*, Scottsville Pietermaritzburg, v. 113, n. 1, p. 100-102, 2007.

- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, Barking, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.
- SAMPAIO, A. C.; FUMIS, T. F.; ALMEIDA, A. M.; PINOTTI, R. N.; GARCIA, M. J. M.; PALLAMIN, M. L. Manejo cultural do maracujazeiro-amarelo em ciclo anual visando à convivência com o vírus do endurecimento dos frutos: um estudo de caso. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 343-347, 2008.
- SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, Orlando, v. 299, n. 1, p. 152-178, 1999.
- SMIRNOFF, N.; WHEELER, G. L. Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, Boca Raton, v. 35, n. 4, p. 291-314, 2000.
- SOUZA, S. L.; MOREIRA, A. P. B.; SANTANA, H. M. P.; ALENCAR, E. R. Conteúdo de carotenos e provitamina A em frutas comercializadas em Viçosa, Estados de Minas Gerais. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 26, n. 4, p. 453-459, 2004.
- STEVENS, R.; PAGE, D.; GOUBLE, B.; GARCHERY, C.; ZAMIR, D.; CAUSSE, M. Tomato fruit ascorbic acid content is linked with monodehydroascorbate reductase activity and tolerance to chilling stress. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 31, n. 8, p. 1086-1096, 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Plant physiology*. 4. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2006. 705 p.
- TALCOTT, S. T.; PERCIVAL, S. S.; PITTET-MOORE, J.; CELORIA, C. Phytochemical composition and antioxidant stability of fortified yellow passion fruit (*Passiflora edulis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Washington, v. 51, n. 4, p. 935-941, 2003.
- UENOJO, M.; MARÓSTICA-JUNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenóides: propriedades, aplicações e biotransformação para formação de compostos de aroma. *Química Nova*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.
- VEBERIC, R.; COLARIC, M.; STAMPAR, F. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food Chemistry*, Barking, v. 106, n. 1, p. 153-157, 2008.