

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

Stability of biofortified sweet potato flour

Autores | Authors

✉ Rosa Maria Vercelino ALVES

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Centro de Tecnologia de Embalagem
(CETEA)
Av. Brasil, 2880
CEP: 13070-178
Campinas/SP - Brasil
e-mail: rosa@ital.sp.gov.br

Danielle ITO

Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL)
Centro de Tecnologia de Embalagem
(CETEA)
Campinas/SP - Brasil
e-mail: danielle@ital.sp.gov.br

Jose Luiz Viana de CARVALHO

Embrapa Agroindústria de Alimentos
Rio de Janeiro/RJ - Brasil
e-mail: jlvc@ctaa.embrapa.br

Werito Fernandes de MELO

Embrapa Hortaliças
Gama/DF - Brasil
e-mail: werito@cnph.embrapa.br

Ronoel Luiz de Oliveira GODOY

Embrapa Agroindústria de Alimentos
Rio de Janeiro/RJ - Brasil
e-mail: ronoel@ctaa.embrapa.br

Resumo

A farinha de batata-doce, quando elaborada a partir de raízes com alto teor de β -caroteno, é fonte de pró-vitamina A, que apresenta efeitos benéficos na saúde humana. Visando contribuir com o suprimento de vitamina A na alimentação de populações carentes, a EMBRAPA tem selecionado e melhorado culturas via biofortificação, como da batata-doce, e pesquisado o desenvolvimento de produtos com esta matéria-prima biofortificada. Complementando esses desenvolvimentos, o objetivo deste estudo foi comparar o efeito do tipo de embalagem e do sistema de acondicionamento do produto na preservação de carotenoides de farinha de batata-doce biofortificada. A farinha foi acondicionada com e sem vácuo, em embalagens com diferentes barreiras ao oxigênio, vapor d'água e luz (PET/Al/PEBD, PETmet/PEBD, PEBD/PA/PEBD e PEBD) e estocada a 25 °C/75%UR com e sem exposição à luz por um ano. Perdas de 50% de carotenoides totais e β -caroteno ocorreram na farinha em PETmet/PEBD e PEBD sem vácuo, aos 50 dias de estocagem, em razão do teor de oxigênio residual presente no espaço livre e também da alta permeação de oxigênio pelo material no caso do PEBD, no qual a composição do ar foi mantida durante todo o estudo. Perdas de 50% de carotenoides ocorreram aos 90 dias com ou sem exposição à luz no produto em PEBD/PA/PEBD com vácuo, indicando que a reação de oxidação de carotenoides sob luz se restringe apenas à farinha em contato com a superfície da embalagem. Sob vácuo e em PETmet/PEBD, os teores de carotenoides na farinha diminuíram ligeiramente e foram mantidos no PET/Al/PEBD, até 360 dias de estocagem. Os resultados indicaram que a redução do teor de oxigênio no espaço livre da embalagem por meio da aplicação de vácuo aliada ao uso de materiais de embalagem com barreira ao oxigênio da ordem de grandeza de PET com metalização barreira são os fatores mais importantes na preservação de carotenoides em farinha de batata-doce biofortificada.

Palavras-chave: *Farinha de batata-doce biofortificada; Embalagens flexíveis; Propriedades de barreira; Teor de oxigênio do espaço livre; Retenção de carotenoides; Vida-de-prateleira.*

✉ Autor Correspondente | Corresponding Author

Recebido | Received: 10/12/2010

Aprovado | Approved: 02/06/2011

Publicado | Published: mar./2012

■ Summary

Sweet potato flour, when made from roots with high β -carotene contents, is a source of pro-vitamin A, presenting beneficial effects for human health. Thus aiming at contributing to the supply of vitamin A in the diet of more needy populations, EMBRAPA has selected and improved some crops via biofortification, such as the sweet potato, and developed products with the biofortified raw material. Complementing these developments, the purpose of this study was to correlate the effect of the type of package and packaging system on the product, in the preservation of the carotenoids in the biofortified sweet potato flour. The flour was packed with and without vacuum in packs with different oxygen, water vapour and light barriers (PET/Al/LDPE, PETmet/LDPE, LDPE/PA/LDPE and LDPE) and stored at 25 °C/75%RH with and without exposure to light. Losses of 50% of the total carotenoids and β -carotene occurred in the flour packed in PETmet/LDPE and LDPE without vacuum after 50 days of storage, due to the residual oxygen in the headspace and the high oxygen transmission rate in the case of LDPE, where the internal atmosphere showed the composition of air throughout the study. Losses of 50% carotenoids occurred after 90 days with and without exposure to light in the flour packed in LDPE/PA/LDPE with vacuum, indicating that in the presence of light, the carotenoid oxidation reaction is restricted to flour in contact with the surface of the package. Under vacuum and packed in PETmet/LDPE, the carotenoid contents of the flour reduced slightly, but were preserved for up to 360 days of storage when packed in PET/Al/LDPE. The results indicate that the key factors to preserve carotenoids in biofortified sweet potato flour are the reduction of the oxygen level in the headspace of the package by the application of vacuum, together with the use of packaging materials with an oxygen barrier as good as that of PET with a metalized barrier.

Key words: *Biofortified sweet potato flour; Flexible packaging; Barrier properties; Headspace oxygen content; Carotenoid retention; Shelf life.*

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

1 Introdução

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) é uma das hortaliças mais cultivadas na Região Nordeste do Brasil, onde o clima com longos períodos de estiagem restringe a produção de outros alimentos. Além de ser uma cultura rústica, de fácil manejo e adaptada aos sistemas de baixo nível tecnológico de pequenas propriedades de agricultura familiar, de hortas escolares e comunitárias, permite colheita prolongada (FONTES e VILELA, 2003).

A farinha de batata-doce, quando elaborada a partir de raízes com alto teor de β -caroteno, é fonte de pró-vitamina A, que apresenta efeitos benéficos na saúde humana, como melhoria da imunidade e diminuição de doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, catarata e degeneração macular (RODRIGUES-AMAYA, 2001; RODRIGUES-AMAYA et al., 2008; van JAARSVELD et al., 2006).

A farinha de batata-doce pode substituir parcialmente a farinha de trigo na confecção de bolos, biscoitos e outros produtos utilizados em alimentação escolar e de apoio maternoinfantil (RODRIGUES-AMAYA et al., 2011).

Produtos biofortificados estão sendo desenvolvidos no Brasil e em países da América Central, da África e da Ásia para combater o que é denominado "fome oculta", que é a carência de micronutrientes (vitamina A, ferro e zinco), que são essenciais para a saúde (NESTEL et al., 2006). Embora a população carente, principalmente de zonas rurais, alimente-se à base de milho, mandioca e batata-doce, se esses produtos não forem biofortificados, não haverá ingestão suficiente de micronutrientes essenciais; haverá carência de micronutrientes se também não forem ingeridos em quantidades suficientes alimentos mais nutritivos, como vegetais, frutas, carnes e produtos lácteos (BALL, 2010; KRISTOF, 2010).

Contribuindo para o suprimento de vitamina A de populações carentes em diferentes países, programas como AgroSalud e Harvest Plus, há vários anos, têm buscado o melhoramento de culturas, como batata-doce, mandioca, milho, arroz, feijão, trigo e abóbora, via seleção e cruzamento de genes chaves, de forma a obter biofortificação no campo. No Brasil, as atividades de âmbito desses programas são coordenadas pela EMBRAPA, que selecionou a cultivar de batata-doce alaranjada Beauregard, de origem americana, desenvolvida pela *Louisiana Agricultural Experiment Station* em 1981, dentre 46 clones introduzidos no Brasil do Centro Internacional de la Papa (CIP), Peru. As avaliações do germoplasma introduzido foram realizadas nos seguintes Estados: Maranhão, Sergipe, Minas Gerais, Goiás e Distrito Federal, considerando, entre outros caracteres, a produtividade de raízes, o teor de beta-

caroteno e a aceitação por consumidores. A cultivar Beauregard apresenta em média 115 μg de β -caroteno/g de raiz fresca (185 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de raiz fresca de carotenoides totais). Em batata-doce, a quantidade de β -caroteno varia de $<1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (raiz branca) a 130 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de raiz fresca (RODRIGUES-AMAYA et al., 2011). As cultivares de polpa branca ou creme não apresentam teores de vitaminas significativos e o seu conteúdo principal é o amido.

Uma vez definida a variedade de batata-doce com alto teor de carotenoides, iniciou-se o desenvolvimento de vários produtos a partir da batata-doce biofortificada, como farinha, pães, bolos, biscoitos etc.

Complementando esses desenvolvimentos, verificou-se a necessidade de levantar informações acerca do efeito da luz, da taxa de permeabilidade ao oxigênio e da presença de oxigênio no espaço livre da embalagem sobre a perda de carotenoides e de cor na farinha de batata-doce biofortificada, para definição da embalagem adequada.

Segundo a literatura (RODRIGUES-AMAYA, 1999; RODRIGUES-AMAYA et al., 2008; 2011), a perda de carotenoides durante o processamento e a estocagem de alimentos ocorre por remoção física (por exemplo, descascamento), isomerização geométrica e oxidação enzimática e não enzimática.

A transformação dos carotenoides *trans*, sua forma natural, para isômeros *cis* ocorre por contato com ácidos, tratamento térmico e exposição à luz, causando perda de cor e de atividade, como vitamina A.

A oxidação é a maior causa de perda de carotenoides e depende da disponibilidade de oxigênio e da estrutura química do carotenoide. A oxidação é estimulada pela presença de luz, calor, metais, enzimas e peróxidos, e inibida por antioxidantes. Essa degradação oxidativa é incrementada com: a destruição das estruturas celulares do alimento; o aumento da área superficial; a duração e o grau de severidade do processamento; a temperatura e o tempo da estocagem; a permeabilidade ao oxigênio, e a transmissão de luz da embalagem. Tipicamente, a perda por oxidação enzimática ocorre rapidamente durante as etapas de preparo da matéria-prima, logo após a ruptura das estruturas celulares e antes do tratamento térmico, e a não enzimática, em alimentos processados, o que é esperado no caso da farinha.

Vários trabalhos da literatura avaliam o efeito dos tipos de preparo (cozimento, fritura), das variações no formato dos pedaços submetidos à secagem e do método e das condições de secagem (no sol, sombra e/ou fornos, com ou sem circulação de ar forçado etc.) na retenção de carotenoides em batata-doce (BECHOFF et al., 2009; BENGTTSSON et al., 2008; van JAARSVELD et al., 2006; ÇINAR 2005; 2004).

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

Segundo Rodrigues-Amaya et al. (2011), a produção de farinha a partir de batata-doce aumenta a vida útil do produto e facilita sua incorporação em diversos produtos. Entretanto, existe a necessidade de otimizar as condições de processo e estocagem da farinha para reduzir a perda de carotenoides.

Entretanto, informações sobre perda de carotenoides em produtos embalados durante a estocagem são escassas e, às vezes, conflitantes, embora basicamente influam os seguintes aspectos: o tempo e a temperatura de estocagem; a transmissão de luz; a permeabilidade ao oxigênio, e o teor de oxigênio do espaço livre da embalagem, o qual pode ser minimizado pelo acondicionamento a vácuo ou com atmosferas inertes (RODRIGUES-AMAYA, 1999; LESKOVÁ et al., 2006).

Com base nas informações da literatura e nas obtidas neste estudo, será possível definir o tipo de embalagem e o sistema de acondicionamento mais adequados sob o ponto de vista de preservação das vitaminas da farinha de batata-doce, desde que economicamente viável.

A escolha dos tipos de embalagens que poderiam ser avaliadas para o acondicionamento da farinha baseou-se nas embalagens em uso no mercado para produtos similares. Assim, optou-se por avaliar os seguintes materiais de embalagens:

- PET [Poli(tereftalato de etileno)/Al (folha de alumínio)/PEBD (polietileno de baixa densidade)] - utilizado no mercado de café torrado e moído acondicionado a vácuo, de mistura em pó para refresco e em alguns tipos de sopas desidratadas, pelas excelentes características de barreira a umidade, oxigênio e luz;
- PETmet (metalizado)/PEBD - utilizado em leite em pó por apresentar barreira ao oxigênio e ao vapor d'água compatível com a vida útil do produto, principalmente quando integral;
- PA (poliamida)/PEBD - utilizado no mercado de produtos acondicionados a vácuo, como carnes e queijos e, recentemente, em grãos de maior valor agregado, como arroz especial. Nesse material, as barreiras ao oxigênio e ao vapor d'água são consideradas médias;
- PEBD - normalmente utilizado no mercado de farinhas, grãos e açúcar, com boa barreira ao vapor d'água.

Além disso, as diferentes embalagens selecionadas apresentavam as variações desejáveis para o estudo quanto à diferenciação em termos de barreira ao oxigênio, à umidade e à luz.

Visando avaliar a influência do oxigênio residual no espaço livre, também se optou pelo acondicionamento a vácuo, por ser um tipo de processo cada vez mais utilizado pelas empresas que necessitam reduzir as reações de oxidação de produtos, para aumentar o período de vida-de-prateleira, a exemplo do que é praticado no mercado de café torrado e moído.

Também foi avaliada a influência na estabilidade do produto a exposição à luz, por esta ser mencionada por vários autores como importante acelerador das reações de oxidação de produtos de atividade de água alta, intermediária e baixa, como é o caso de farinha de batata-doce. Além disso, a farinha de batata-doce será comercializada sob temperatura ambiente e exposta a luz fluorescente e/ou lâmpada incandescente, halógena, led etc., nos pontos de venda.

O objetivo deste estudo foi levantar informações acerca do efeito do tipo de embalagem e do sistema de acondicionamento do produto na preservação de carotenoides de farinha de batata-doce biofortificada.

2 Material e métodos

2.1 Produto

Batata-doce cultivar Beauregard, produzida no Campo Experimental da Embrapa Hortaliças, Gama-DF, foi descascada, cortada em filetes e/ou raspas, e seca à temperatura de 65 °C. Na sequência, procedeu-se a moagem das raspas secas em moinho de peneira com furos de 200 µm; a farinha de batata-doce apresentava, no início do estudo, um teor de 5,8% b.s. (base seca) de umidade e 185 µg de carotenoides totais por grama de raiz fresca.

2.2 Embalagens

Estudaram-se quatro tipos de materiais de embalagem, descritos e ilustrados na Tabela 1, sendo que todas as embalagens continham cerca de 110 g de farinha de batata-doce biofortificada.

Os materiais de embalagem foram caracterizados quanto à espessura e às taxas de permeabilidade ao oxigênio (TPO₂) e ao vapor d'água (TPVA).





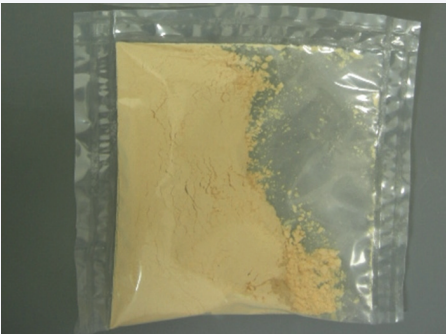
As espessuras total e parciais dos laminados foram determinadas em sistema de medição de espessura composto por base plana de granito e relógio comparador, ambos da marca Mitutoyo, com resolução de 0,5 µm. A separação dos materiais para a determinação da espessura parcial foi com solvente adequado. O ensaio foi conduzido em ambiente a 23 ± 2 °C e 50% ± 3%UR, após condicionamento das amostras nesse mesmo ambiente por no mínimo 48 h (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

As determinações de espessura total e de cada camada do filme coextrusado PA/PEBD foram feitas em

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

Tabela 1. Embalagens de farinha de batata-doce biofortificada avaliadas.

Identificação	Material da embalagem	Sistema de acondicionamento/ estocagem	Ilustração
PET/Al/PEBD Com vácuo	Laminado PET/Al /PEBD	Com vácuo Estocagem no escuro	
PETmet/PEBD Com e sem vácuo	Laminado PETmetalizado/PEBD	Com vácuo Estocagem no escuro	
		Sem vácuo Estocagem no escuro	
PA/PEBD Com vácuo/Escuro e Luz	Filme coextrusado transparente PEBD/PA/PEBD	Com vácuo Estocagem no escuro	
		Com vácuo Estocagem na luz	
PEBD Sem vácuo	Filme monocamada de PEBD	Sem vácuo Estocagem no escuro	

PET = poliéster; Al = folha de alumínio; PEBD = polietileno de baixa densidade; PA = poliamida (Nylon).

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

imagens capturadas por microscópio invertido Metaval operando com aumento de 500 vezes, utilizando o sistema de análise de imagem Axio Vision, ambos da empresa Zeiss (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

As taxas de permeabilidade ao oxigênio (TPO₂) foram determinadas por método coulométrico, segundo procedimento descrito na norma ASTM D 3985-05 - *Standard test method for oxygen gas transmission rate through plastic film and sheeting using a coulometric sensor* (ASTM, 2005), em equipamento OXTRAN, modelo 2/20, da MOCON, operando com oxigênio puro como gás permeante à temperatura de 23 °C e a seco. O condicionamento dos corpos-de-prova foi por 25 h a 23 °C em ambiente desumidificado com sílica gel (a seco), exceto o filme coex PEBD/PA/PEBD, que foi após 76 h de condicionamento a 25 °C/75%UR.

As taxas de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) a 38 °C/90%UR dos laminados e do filme coextrusado foram determinadas em um equipamento com sensor infravermelho PERMATRAN, Modelo W 3/31, da MOCON, segundo procedimento descrito na norma ASTM F1249-06 - *Standard test methods for water vapor transmission rate through plastic film and sheeting using a modulated infrared sensor* (ASTM, 2006).

A taxa de permeabilidade ao vapor d'água do filme de PEBD foi determinada a 38 °C/90%UR por meio do método gravimétrico, baseado na metodologia ASTM E 96/E 96 M-05 - *Standard test methods for water vapor transmission of materials* (ASTM, 2005). Utilizou-se balança analítica Mettler, modelo AT 400, com resolução de 10⁻⁴ g e o condicionamento foi feito em câmara Vötsch – VC 0033 com temperatura de 38,0 ± 0,1 °C e umidade relativa de 90 ± 2%UR.

2.3 Estudo da estabilidade da farinha de batata-doce biofortificada no escuro

A estabilidade da farinha de batata-doce biofortificada foi avaliada nas diferentes embalagens estocadas em ausência de luz (no escuro) a 25 ± 2°C/75 ± 5%UR.

Periodicamente, foram retiradas amostras para avaliação das embalagens quanto ao teor de oxigênio residual do espaço livre e avaliação do produto quanto à aparência, à atividade de água e ao teor de carotenoides.

O oxigênio do espaço livre foi quantificado em cromatográfico a gás Agilent, modelo 7890, operando com detector de condutividade térmica a 150 °C, coluna (Peneira Molecular 13X) a 50 °C e injetor a 70 °C, gás de arraste Argônio 99,99%, fluxo de 30 mL.min⁻¹. Os resultados de cromatografia foram analisados pelo programa Chemstation/Agilent, versão B 03.01, com base em curvas-padrão feitas com gás de calibração.

A atividade de água (A_a) da farinha de batata-doce foi determinada em um higrômetro baseado em psicrometria de marca Decagon – Aqualab, com resolução de 0,001A_a, sob temperatura de 24,0 ± 1,0 °C (DECAGON DEVICES).

A cor inicial da farinha de batata-doce foi avaliada externamente nas embalagens transparentes por uma equipe de cinco provadores treinados e após abertura de todas as embalagens avaliadas.

A determinação de carotenoides totais e β-caroteno foi realizada pela pesagem de 1 a 2 g de farinha de batata doce, macerados com celite e os carotenoides extraídos com acetona, e o extrato cetônico particionado em éter de petróleo, conforme descrito por RODRIGUES-AMAYA (2001). A quantificação de carotenoides totais foi por meio de leitura de absorvância a 450 nm em espectrofotômetro UV-VIS (Shimadzu modelo UV-1800).

A análise do extrato para quantificação do β-caroteno foi feita em cromatógrafo líquido de alta eficiência Waters, modelo W600, com coluna C30 (YMC Carotenoid S-3 250 × 4,6 mm, 3 μm), fase móvel metanol:éter metil-terc-butílico em eluição gradiente (éter variando de 20 a 90% em 28 min), fluxo 0,8 mL.min⁻¹, detector arranjo de fotodiodos com varredura de 300 a 550 nm, temperatura da coluna 33 °C e padronização externa.

2.4 Estudo da estabilidade da farinha de batata-doce sob luz

Embalagens de PEBD/PA/PEBD a vácuo contendo farinha de batata-doce biofortificada foram estocadas em laboratório climatizado (23 ± 2 °C/70 ± 5%UR) e expostas diariamente por 10 h a 200 lux (4 lâmpadas de 40 W fluorescente no teto do laboratório, distante cerca de 2 m das amostras). Foram realizados os mesmos ensaios descritos no estudo de estabilidade no escuro.

3 Resultados e discussão

3.1 Caracterização das embalagens

Os resultados apresentados na Tabela 2 caracterizam as espessuras totais e dos materiais barreiras ao oxigênio (AI e PA) e ao vapor d'água (PEBD) presentes em cada estrutura.

Na Tabela 3, verifica-se que o filme coex com PA apresenta taxas de permeabilidade ao oxigênio e ao vapor d'água 70 vezes e sete vezes superiores àquelas do laminado metalizado, respectivamente. No caso do filme coex com PA, a TPO₂ é função da espessura e do *grade* de PA utilizado. A TPVA, por outro lado, depende da espessura das camadas de PEBD do filme coex. O filme coex com PA utilizado no presente estudo apresentou TPO₂ e TPVA médios do mercado brasileiro, TPO₂ de 30

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

Tabela 2. Espessuras totais e parciais dos materiais de embalagens.

Material	Espessura	M (μm)	IV (μm)	CV (%)
PET/Al/PEBD	Total	86	82-93	2,5
	PET	11	11-12	2,3
	Al	9	6-11	16,6
	PEBD	66	63-72	3,8
PETmet/PEBD	Total	68	66-71	2,0
	PET	14	13-15	3,2
	PEBD	58	55-60	2,4
PA/PEBD	Total	59	58-59	0,6
	PEBD externo	23	22-23	2,3
	PA	16	14-17	4,8
	PEBD interno	20	19-22	3,9
PEBD	Total	80	75-85	2,8

Valores referentes a 25 determinações. M = média; IV = intervalo de variação; CV = coeficiente de variação.

Tabela 3. Caracterização dos materiais das embalagens.

Material de embalagem	Valor	TPO ₂ a 23 °C, 1 atm ⁽¹⁾ (mL (CNTP).m ⁻² .dia ⁻¹)	TPVA a 38 °C/90%UR ⁽²⁾ (g água.m ⁻² .dia ⁻¹)
PET/Al/PEBD	Média	<0,05 ⁽³⁾	<0,01 ⁽³⁾
	Intervalo de variação	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾
	Coeficiente de variação	⁽⁴⁾	⁽⁴⁾
PETmet/PEBD	Média	1,04	0,93
	Intervalo de variação	1,01-1,07	0,75-1,15
	Coeficiente de variação	4,3%	16,7%
PA/PEBD	Média	71,71*	7,04
	Intervalo de variação	63,17-80,24	6,60-7,27
	Coeficiente de variação	16,8%	4,3%
PEBD	Média	2.504	4,94**
	Intervalo de variação	2.479-2.529	4,80-5,18
	Coeficiente de variação	1,4%	2,9%

Valores TPO₂ referentes a ⁽¹⁾duas determinações e a seco, exceto (*) após condicionamento por 96 horas a 25 °C/75%UR. Valores TPVA referentes a ⁽²⁾quatro determinações, exceto (**) seis determinações. ⁽³⁾Correspondente ao limite de quantificação do método nas condições analíticas empregadas. ⁽⁴⁾Valores não aplicáveis.

a 100 mL (CNTP).m⁻².dia⁻¹. a 23 °C, 75%UR e 1 atm de gradiente de pressão parcial de gás permeante, e TPVA de 5 a 10 g água.m⁻².dia⁻¹ a 38 °C/90%UR.

Na embalagem laminada metalizada, as propriedades de barreira ao oxigênio e ao vapor d'água dependem da qualidade da metalização, que é função do tipo de filme de PET e do tratamento superficial recebido (superfície mais ou menos adequada para metalização, o que foi favorecido no filme analisado, pois a metalização foi aplicada diretamente sobre o filme de PET e não sobre a impressão). Também são fatores decisivos: a tecnologia da metalizadora utilizada, o nível de vácuo, a quantidade e a homogeneidade do alumínio depositado, e também a tecnologia do convertedor para evitar danos mecânicos à camada de alumínio quando da impressão externa do PET metalizado e da laminação com o filme de PE da estrutura.

O laminado PETmet/PEBD utilizado no estudo apresentava TPVA e TPO₂ da ordem de grandeza do limite inferior das faixas de permeabilidade observadas em amostras metalizadas de mercado, que são: TPVA entre 0,5 a 2,0 g água.m⁻².dia⁻¹ a 38 °C/90%UR e TPO₂ entre 0,5 a 3,0 mL(CNTP).m⁻².dia⁻¹ a 23 °C, a seco e 1 atm de gradiente de pressão parcial de oxigênio.

Os resultados do laminado PET/Al/PEBD comprovam sua excelente barreira a oxigênio e vapor d'água, motivo pelo qual é utilizado para produtos sensíveis à umidade e ao oxigênio.

Um filme de PEBD apresenta barreira ao vapor d'água em função da espessura e alta permeabilidade ao oxigênio. Esse material é uma das alternativas em avaliação por ser o material normalmente utilizado no segmento de farinhas e por apresentar o menor custo comparativamente às demais alternativas em estudo.

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

Tabela 4. Teor de oxigênio do espaço livre das embalagens (%v/v) na farinha de batata-doce biofortificada ao longo da estocagem a 25 °C/75%UR.

Embalagem		Tempo de estocagem (dias)							
		0	55	90	145	180	235	280	360
PET/Al/PEBD	M				(1)	-	(1)	-	(1)
Com vácuo	IV								
PETmet/PEBD	M		21,4		(1)	(1)	(1)	-	(1)
Com vácuo	IV		21,3-21,4						
PETmet/PEBD	M	21,0	15,8	12,9	12,9	12,2	10,8	10,0	8,7
Sem vácuo	IV		15,8-15,9	11,5-14,4	12,8-13,1	11,3-13,2	9,7-12,0	9,0-11,0	5,7-11,9
PA/PEBD	M		21,2	20,4	20,9		(1)	(1)	(1)
Com vácuo/Escuro	IV		21,0-21,4	20,3-20,4	20,8-21,0			(1)	(1)
PA/PEBD	M		21,6	21,7	21,6		(1)	(1)	-
Com vácuo/Luz	IV		21,5-21,6	21,6-21,7	21,5-21,6				(1)
PEBD	M		21,3	21,2	20,7		20,7	20,6	20,3
Sem vácuo	IV		21,0-21,6	21,2-21,2	20,6-20,9		20,7-20,8	20,3-20,8	20,3-20,4

Resultados médios (M) de duas embalagens de farinha de batata-doce; IV = intervalo de variação. ⁽¹⁾V < 0,6 ml = não foi possível quantificar o teor de oxigênio. - não determinado.

3.2 Estudo da estabilidade da farinha de batata-doce biofortificada

Os resultados de teor de oxigênio residual do espaço livre das embalagens ao longo da estocagem a 25 °C/75%UR (Tabela 4) indicam que, nas embalagens em que o acondicionamento da farinha foi a vácuo, o volume de oxigênio residual era pequeno e foi consumido nas reações de oxidação, mais rapidamente nas embalagens de menor permeabilidade ao oxigênio pelo material (PET/Al/PEBD, PETmet/PEBD) do que no filme coex PEBD/PA/PEBD. Quando o volume era menor que 0,6mL, não foi mais possível quantificar a porcentagem de oxigênio.

Por outro lado, nas embalagens em que a farinha foi acondicionada sem vácuo, a atmosfera interna manteve a composição do ar (21%O₂) durante todo o período estudado em razão da alta taxa de permeabilidade ao oxigênio no filme de PEBD (Tabela 3), tendo diminuído gradativamente no laminado PETmet/PEBD, porque parte do oxigênio consumido nas reações de oxidação não é repostada por permeação pelo material da embalagem, em função da boa propriedade de barreira ao oxigênio desse material, apresentada na Tabela 3.

Nas avaliações de atividade de água do produto apresentadas na Figura 1, observa-se um aumento da atividade de água nas farinhas acondicionadas nas embalagens com maior taxa de permeabilidade ao vapor d'água, que são o PEBD e o PEBD/PA/PEBD (Tabela 3). Nessas embalagens, a atividade de água de 0,43 foi atingida após 55 dias de estocagem a 25 °C/75%UR. Teor de atividade de água de 0,43 é descrito por Rodrigues-Amaya (1993; 1997) como o que melhor retém carotenoides em cenoura desidratada e, entre 0,31 e 0,54, por Lavelli et al. (2007). No PETmet/PEBD, a atividade de

água de 0,43 foi atingida após 235 dias de estocagem e, no laminado com alumínio, o teor de atividade de água da farinha de batata-doce praticamente não se alterou ao longo dos 360 dias de estocagem a 25 °C/75%UR.

Segundo Rahman e Labuza (1999), a atividade de água deve ser inferior a 0,7 para não haver risco de deterioração microbiana, o que foi observado na farinha de batata-doce em todas as embalagens, até 360 dias de estocagem a 25 °C/75%UR.

Na avaliação visual das amostras ao longo do estudo, verificou-se uma cor laranja muito semelhante nas farinhas de batata-doce acondicionadas nas embalagens PET/Al/PEBD e PETmet/PEBD, ambas com vácuo, em todas as épocas de estocagem avaliadas. Por outro lado, o PEBD (sem vácuo) foi o material que menos preservou a cor do produto em todas as avaliações efetuadas.

Ao longo da estocagem, as embalagens PEBD/PA/PEBD com vácuo e expostas ou não à luz preservaram ligeiramente mais a cor da farinha de batata-doce do que o PETmet/PEBD sem vácuo, demonstrando que o efeito do oxigênio residual no espaço livre da embalagem é mais crítico do que a permeação de oxigênio pelo material de embalagem, mesmo que a atividade de água da farinha acondicionada no filme coex PEBD/PA/PEBD fosse maior do que no laminado PETmet/PEBD, em razão da maior TPVA do PEBD/PA/PEBD comparativamente à do PETmet/PEBD.

Na Figura 2, é ilustrada a aparência da farinha de batata-doce biofortificada após 360 dias de estocagem.

As avaliações do produto quanto ao teor de carotenoides totais e β-caroteno estão apresentadas nas Figuras 3a e 4a, respectivamente. Nas Figuras 3b e 4b,

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

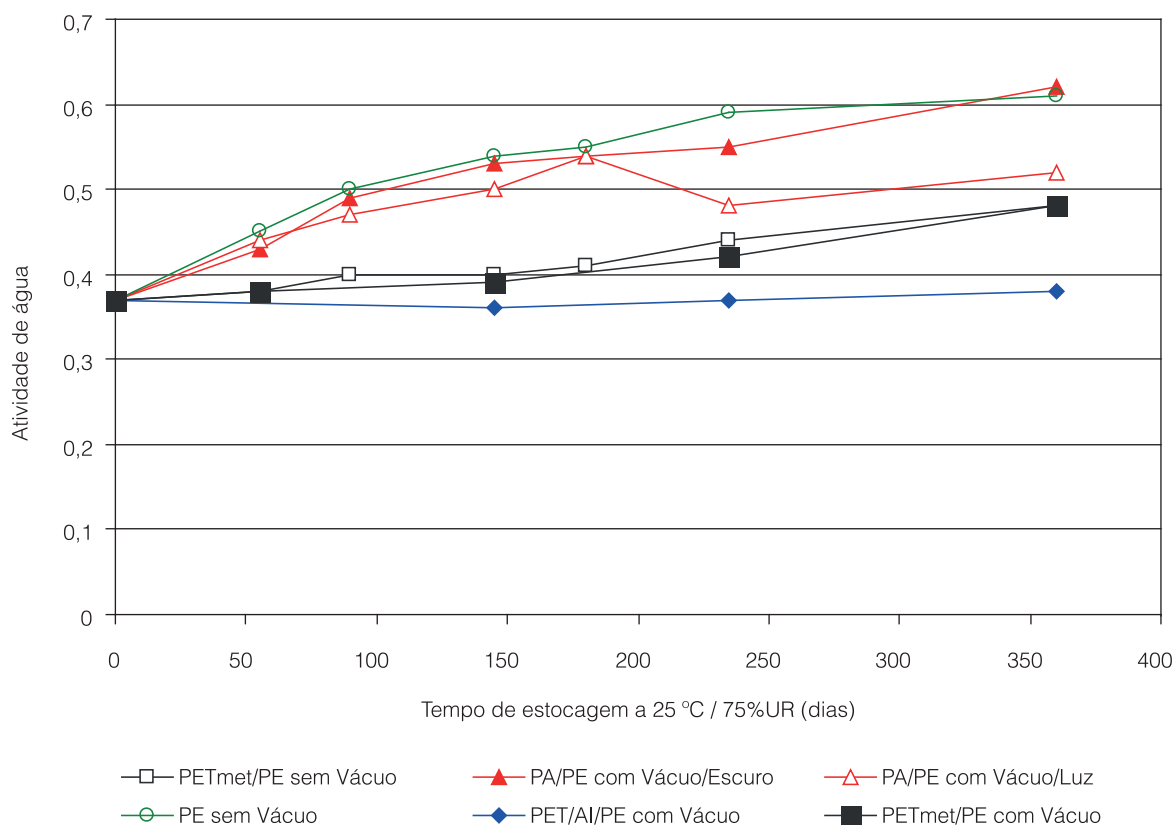


Figura 1. Atividade de água da farinha de batata-doce biofortificada ao longo da estocagem a 25 °C/75%UR.



Figura 2. Aparência da farinha de batata-doce biofortificada após 360 dias de estocagem a 25 °C/75%UR.

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

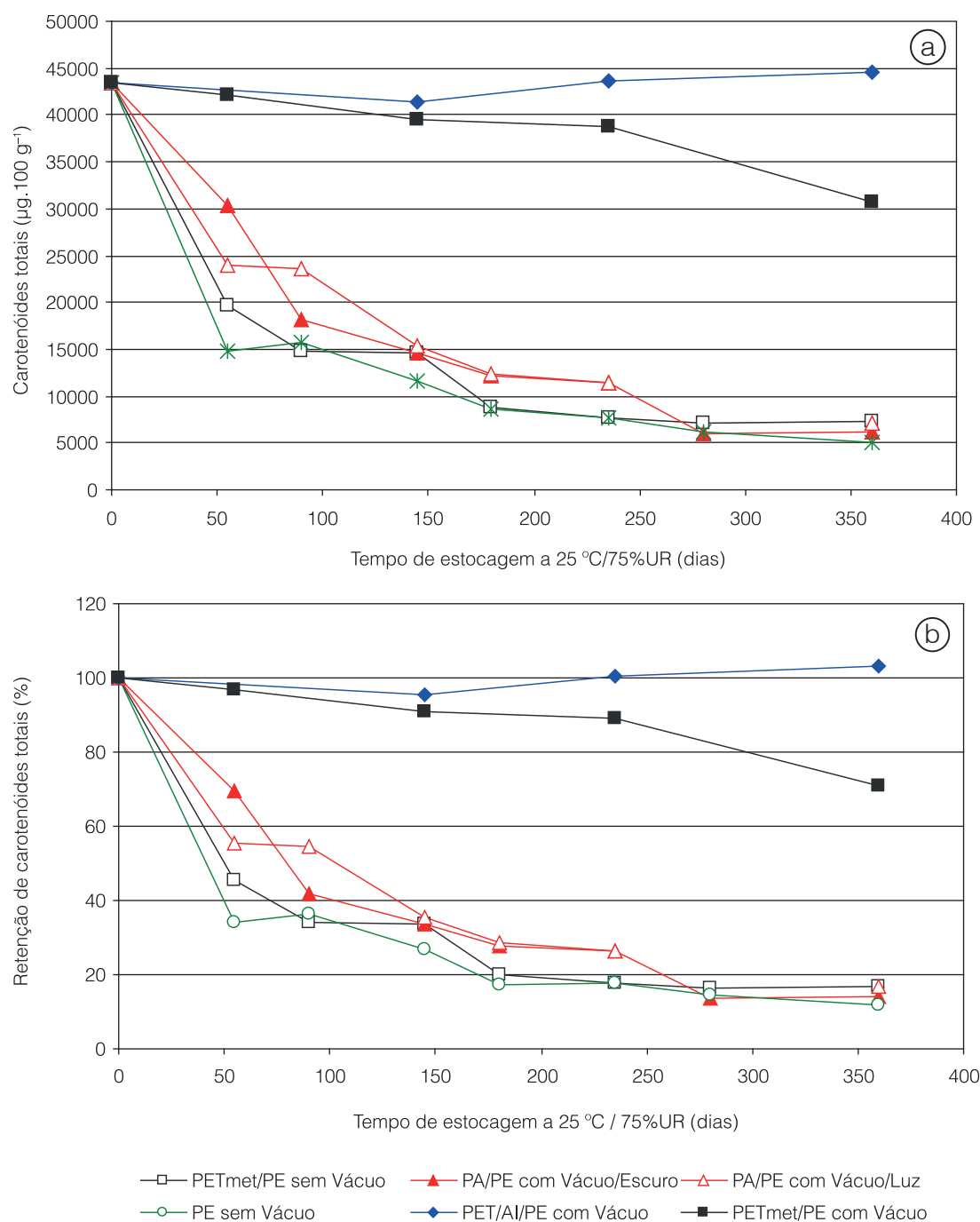


Figura 3. Carotenoides totais (a) e retenção de carotenoides totais (b) na farinha de batata-doce biofortificada ao longo da estocagem a 25 °C/75%UR.

são apresentados os resultados de retenção de carotenoides totais e de β -caroteno, respectivamente, calculados em relação à quantidade determinada no produto ao zero dia de estocagem.

Nas Figuras 3a e 4a, observa-se que, aos 50 dias de estocagem, ocorreu uma perda de aproximadamente 50% de carotenoides totais e de β -caroteno nas embalagens PEBD e PETmet/PEBD sem vácuo, respectivamente. Esses resultados estão de acordo com os verificados por MACEDO et al. (2009), que observaram perda de

50% de carotenoides totais em farinha de batata-doce biofortificada acondicionada em PEBD e estocada no escuro à temperatura ambiente.

Perdas de 50% de carotenoides totais e de β -caroteno foram observadas também no filme coex PEBD/PA/PEBD em cerca de 90 dias de estocagem a 25 °C/75%UR. Embora na embalagem coex fosse observada uma perda de cor do produto em contato com a superfície da embalagem por causa da ação da luz, ao homogeneizar todo o produto da embalagem, as

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

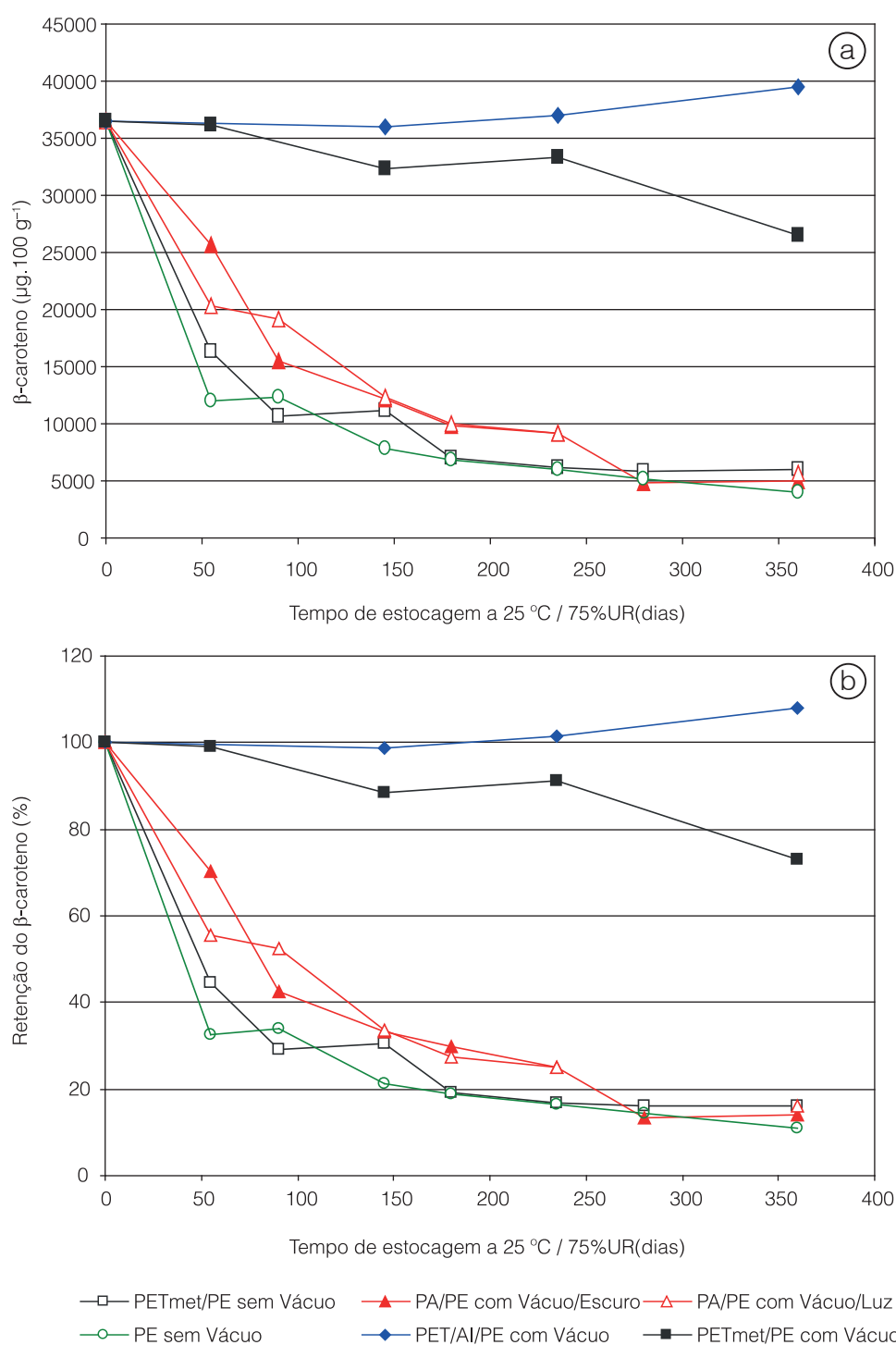


Figura 4. β caroteno (a) e retenção de β caroteno (b) na farinha de batata-doce biofortificada ao longo da estocagem a 25 °C/75%UR.

avaliações de carotenoides demonstraram, em geral, que o teor foi levemente maior no produto estocado na luz do que no escuro, provavelmente porque a temperatura do laboratório (situação de estocagem sob luz) oscilou entre 21 e 25 °C, enquanto que, na câmara climática (situação estocagem no escuro), oscilou entre 23 e 27 °C. A luz também não teve influência significativa

na perda de pigmento carotenóide liofilizado extraído de batata-doce, cenoura e casca de laranja durante 120 dias de estocagem sob luz fluorescente a 25 °C, comparativamente às amostras mantidas no escuro (ÇINAR, 2004; 2005). A não influência da luz também foi verificada por Kopas e Warthensen (1995) em espinafre e cenoura crus.

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. et al.

No PETmet/PEBD com vácuo, os teores de carotenoides diminuíram ligeiramente e foram mantidos no laminado PET/Al/PEBD com vácuo até 360 dias de estocagem a 25 °C/75%UR.

Assim, com base nos resultados obtidos, a retenção de 50% de carotenoides em farinha de batata-doce biofortificada, acondicionada nos diferentes materiais de embalagem/sistema de acondicionamento, ocorreu após os seguintes períodos, quando estocadas a 25 °C/75%UR:

- 50 dias em PEBD e PETmet/PEBD sem vácuo;
- 90 dias em PEBD/PA/PEBD com vácuo com e sem exposição à luz (200 lux por 10 h diárias);
- Superior a 360 dias em PETmet/PEBD e PET/AL/PEBD com vácuo.

4 Conclusões

Com base nas avaliações de diferentes embalagens e sistemas de acondicionamento para farinha de batata-doce biofortificada, verificou-se que são fatores determinantes para a preservação do teor de carotenoides por períodos superiores a 3-4 meses: a redução do volume de oxigênio no espaço livre da embalagem por meio da aplicação de vácuo e a utilização de materiais de embalagem com alta barreira ao oxigênio (TPO₂ ao redor de 1,0 mL (CNTP).m⁻².dia⁻¹, a 23 °C, 75%UR e 1 atm de gradiente de pressão parcial de gás permeante).

Agradecimentos

Ao Fundo de Pesquisa Embrapa-Monsanto, pelo suporte financeiro.

Referências

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM D 3985-05: Standard Test Method for Oxygen Gas Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Coulometric Sensor**. Philadelphia: ASTM, 2005. 7 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM E 96/E 96M-05: Standard Test Methods For Water Vapor Transmission of Materials**. Philadelphia: ASTM, 2005. 11 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM F1249 – 06: Standard Test Methods For Water Vapor Transmission Rate Through Plastic Film and Sheeting Using a Modulated Infrared Sensor**. Philadelphia: ASTM, 2006. 5 p.
- BALL, A.-M. **Biofortificação: Novas Culturas Contra a Fome Oculta**. Disponível em: <http://spore.cta.int/index.php?option=com_home&id_publication=11&lang=pt>. Acesso em: 29 nov. 2010.
- BECHOFF, A.; DUFOUR, D.; DHUIQUE-MAYER, C.; MAROUZÉ, C.; REYNES, M.; WESTBY, A. Effect of hot air, solar and

sun drying treatments on provitamin A retention in orange-fleshed sweetpotato. **Journal of Food Engineering**, Oxford, v. 92, n. 2, p.164-171, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.10.034>

BENGTSSON, A.; NAMUTEBI, A.; ALMINGER, M. L.; SVANBERG, U. Effects of various traditional processing methods on the all-trans-β-carotene content of orange-fleshed sweet potato. **Journal of Food Composition and Analysis**, Oxford, v. 21, n. 2, p. 134-143, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2007.09.006>

ÇINAR, I. Carotenoid pigment loss of freeze-dried plant samples under different storage conditions. **Lebensmittel – Wissenschaft und -Technologie**, Oxford, v. 37, n. 3, p. 363-367, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2003.10.006>

ÇINAR, I. Stability studies on the enzyme extracted sweet potato carotenoproteins. **Food Chemistry**, New York, v. 89, n. 3, p. 397-401, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.02.048>

DECAGON DEVICES. **Aqua Lab - Model CX-2-Water Activity Meter**. 73 p. (Operator's Manual Version 3.0).

FONTES, R. R.; VILELA, N. J. The current status of brazilian vegetable crops and future opportunities. **Acta Horticulturae**. Disponível em: <<http://www.actahort.org/books/607>>. Acesso em: 22 mar. 2008.

KOPAS, L. M.; WARTHESEN, J. J. Caronoid photostability in raw spinach and carrots during cold storage. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 4, p. 773-776, 1995. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.1995.tb06226.x>

KRISTOF, N. D. Bless the Orange Sweet Potato. **The New York Times**, Reprints, 24 nov., 2010. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2010/11/25/opinion/25kristof.html?_r=1&scp=1&sq=bless%20the%20orange%20sweet%20potato&st=cse>. Acesso em: 1 dez. 2010.

LESKOVÁ, E.; KUBÍKOVÁ, J.; KOVÁČIKOVÁ, E.; KOSICKÁ, M.; PORUBSKÁ, J.; HOLCÍKOVÁ, K. Vitamin losses: retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 19, n. 4, p. 252-276, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2005.04.014>

LAVELLI, V.; ZANONI, B.; ZANIBONI, A. Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots. **Food Chemistry**, Oxford, v. 104, n. 4, p. 1705-1711, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.033>

MACEDO, J.R.; CARVALHO, P.G.B.; LEASTRO, D.A.; ALVES, N.S.; SILVA, J.B.C.; NUTTI, M.; CARVALHO, J.L.V. Carotenoid retention in sweet potato flour during storage. In: MEETING OF MICRONUTRIENT FORUM, 2., 2009, Beijing. **Proceedings...** Beijing, 2009. 2 p.

NESTEL, P.; BOUIS, H. E.; MEENAKSHI, J. V.; PFEIFFER, W. Biofortification of staple food crops. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 136, n. 4, p.1064-1067, 2006.

Estabilidade de farinha de batata-doce biofortificada

ALVES, R. M. V. *et al.*

RAHMAN, M. S.; LABUZA, T. P. Water activity and food preservation. In: RAHMAN, M. S. (Ed.). **Handbook of Food Preservation**. New York: Marcel Dekker Inc, 1999. p. 339-382.

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

RODRIGUES-AMAYA, D. B. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Venezuela, v. 49, n. 1-S, p. 38-47, 1999.

RODRIGUES-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed, and stored foods**. 1997. 99 p. Disponível em: <<http://www.mostproject.org/PDF/carrots2.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2010.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B.; NUTTI, M. R.; CARVALHO, J. L. V. Carotenoids of sweet potato, cassava, and maize and their use in bread and flour fortification. In: PREEDY, R. R.; WATSON, R. R.; PATEL, V. B. (Eds.). **Flour and breads and their fortification in health and disease prevention**. London; Burlington; San Diego: Academic Press; Elsevier, 2011. chap. 28, p. 301-311.

RODRIGUES-AMAYA, D. B. Stability of carotenoids during the storage of foods. In: CHARALAMBOUS, G. **Shelf life Studies of Foods and Beverages: Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1993, p.591-627.

RODRIGUES-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**, San Diego, v. 21, n. 6, p. 445-463, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2008.04.001>

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M. V.; GARCIA, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis: Principais Polímeros e Avaliação de Propriedades**. Campinas: CETEA/ITAL, 2002. 267 p.

VAN JAARVELD, P. J.; MARAIS, D. W.; HARMSE, E.; NESTEL, P.; RODRIGUES-AMAYA, D. B. Retention of β -carotene in boiled, mashed orange-fleshed sweet potato. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 19, n. 4, p. 321-329, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2004.10.007>