



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

CINÉTICA DE SECAGEM DE DIFERENTES FRUTAS COM AR QUENTE COMBINADO COM MICRO-ONDAS

VARGAS, P. O¹, MATIAS, T. G¹, GONÇALVES, L. T¹, MUSSI, L. P¹, PRATES, L. O¹ e PERREIRA, N.R.

¹ Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Departamento de Tecnologia de Alimentos
E-mail para contato: pamela_21vargas@hotmail.com

RESUMO – A secagem é considerada uma das mais importantes operações unitárias na engenharia de alimentos, sendo uma maneira possível de aumentar a vida de prateleira de alimentos com alto teor de umidade, em especial frutas. Dentre os processos de secagem, a secagem com ar quente combinado com micro-ondas é um método que possibilita obtenção de produtos com boas características em reduzido tempo de secagem em comparação com a secagem convectiva. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a cinética de secagem de diferentes frutas como: maçã, abacaxi, goiaba, manga e banana em secador convectivo combinado com micro-ondas. A cinética de secagem foi ajustada aos principais modelos empíricos da literatura, os quais apresentaram ajustes satisfatórios considerando os coeficientes de determinação, representando bem a cinética de secagem. Dentre as frutas analisadas, a maçã apresentou a maior taxa de secagem, com consequente reduzido tempo de secagem.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude do elevado teor de umidade, geralmente acima de 80 %, as frutas são altamente perecíveis. Uma forma de conservação deste alimento consiste no controle de umidade da mesma, que pode ser feito através da retirada de água do alimento. A estabilidade e a segurança desses produtos aumentam quando a atividade de água decresce. Este parâmetro influencia a multiplicação, a atividade metabólica, resistência e sobrevivência dos microrganismos presentes nos alimentos (SOUZA FILHO et al., 1999).

Dessa forma, a desidratação de frutas se torna uma maneira de conservação e industrialização dessa fruta. Atualmente a indústria de alimentos desidratados constitui um setor muito importante dentro da indústria alimentícia, em virtude, principalmente, da resistência dos consumidores ao uso de conservantes químicos e pelo aumento da popularidade de produtos desidratados de rápido preparo e de alta qualidade (RAMOS et al., 2008).

A desidratação de alimentos proporciona produtos compactos, fáceis de transportar e com valor nutricional concentrado, já que neste processo a água é removida. A retirada da água, através de secagem, é um método eficaz de controle de desenvolvimento microbiano, consequentemente, apresenta estabilidade no armazenamento (PANI et al., 2008).

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

A secagem é a eliminação da água do material por evaporação. Existem dois métodos de secagem: a natural, feita pelo sol ou vento (método mais antigo); e a artificial, a qual necessita de fornecimento de energia. As vantagens de se utilizar o processo de secagem são várias, dentre as quais: a facilidade na conservação do produto; a estabilidade dos componentes aromáticos à temperatura ambiente por longos períodos de tempo; a proteção contra degradação enzimática e oxidativa; a redução do peso do produto; a economia de energia por não necessitar de refrigeração e a disponibilidade do produto durante qualquer época do ano (PARK et al., 2001; FEMENIA et al., 2009).

A secagem por micro-ondas convectiva vem se destacando dentre os métodos de secagem, se apresentando como uma excelente alternativa no que diz respeito a uma melhor qualidade do produto final seco, juntamente com um menor consumo de energia e uma maior taxa de secagem (SOYSAL et al., 2009). A complexidade dos fenômenos, existentes durante a secagem, conduz os pesquisadores a proporem numerosas teorias e múltiplas equações empíricas para prever a taxa de secagem. Entre os modelos semiteóricos, o modelo de Dois Termos, o de Henderson e Pabis, o de Lewis, o de Page e o de Page Modificado, têm sido amplamente utilizados (PANCHARIYA et al., 2002).

Portanto existe a necessidade de investigações experimentais da secagem de alimentos devido à complexidade desta operação. Sendo importante o estudo de modelos matemático, para o estudo dos fenômenos de transferência de calor e massa, durante a etapa de secagem, a fim de alcançar um melhor domínio deste processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Processamento da matéria prima

As frutas (maçãs, goiaba, banana, manga e abacaxi) foram adquiridas no supermercado na cidade de Campos dos Goytacazes-RJ, em seu completo estágio de maturação, livres de danos físicos e defeitos fisiológicos e encaminhadas para o Laboratório de Operações Unitárias na Universidade Estadual do Norte Fluminense. Os frutos foram selecionados, lavados e em seguida foram fatiados em forma de palito com aproximadamente 0,5cm largura; 0,5cm altura e 3 cm de comprimento.

2.2. Secagem com ar quente combinada com micro-ondas

A secagem com ar quente combinado com micro-ondas foi conduzida em um forno de micro-ondas doméstico da marca Brastemp (modelo BMC38-A) com 900 W de potência nominal máxima e cavidade com 38 litros de volume, adaptado a um sistema de ar quente instalado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA/ CCTA/ UENF).

Aproximadamente 100g das amostras foram distribuídas em bandeja e colocadas na cavidade do equipamento, no qual foram submetidas à secagem.

Com auxílio de balança semi-analítica (Shimadzu, modelo UX4200H, Filipinas) a cada 5 minutos, durante uma hora, foi verificada a massa das amostras. Após esse período foi feita a pesagem a cada 10 minutos até massa constante. A secagem foi realizada a 70 °C e potência de 180W.

PROMOÇÃO

REALIZAÇÃO

ORGANIZAÇÃO



2.3. Determinação da umidade

O teor de umidade das amostras *in natura* e secas foi realizado de acordo com a metodologia proposta por AOAC (1998), no qual aproximadamente 3g da amostra triturada foi pesada em cadinhos de alumínio e secos em estufa a 105°C até peso constante.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

Os dados experimentais de umidade adimensional (X/X_0) (eq. 1) obtidos para a secagem de diferentes frutas (maça, abacaxi, banana, goiaba e manga) com ar quente e aplicação de micro-ondas a 70°C foram ajustados aos modelos apresentados na tabela 1 por regressão não linear.

$$\frac{X}{X_0} = \frac{X_{bs}}{X_{bs_0}} \quad (\text{eq. 1})$$

Sendo X/X_0 a umidade adimensional, X_{bs} a umidade em base seca (g/g de sólidos) em um ponto qualquer e X_{bs_0} a umidade em base seca (g/g de sólidos) inicial.

Tabela 1- Modelos experimentais

MODELO	EQUAÇÃO	REFERÊNCIAS
Lewis	$MU = \exp(-k_L t)$	LEWIS (1921)
Henderson e Pabis	$MU = a \exp(-k_{HP} t)$	HENDERSON e PABIS (1961)
Page	$MU = (-k_p t^n)$	PAGE (1949)

MU = razão entre as umidades (X/X_0 - umidade adimensional); k_L = constante de secagem de Lewis; k_{HP} = constante de secagem de Henderson e Pabis; K_p = constante de secagem de Page; a, n = parâmetro do modelo de Page.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos teores de umidade das amostras *in natura* e seca estão dispostas na tabela 2. Analisando os valores encontrados para as amostras *in natura* verificam-se teores semelhantes segundo a TACO (2011), banana prata tem 71,9 g/100g de umidade; maçã fuji, 84,3 g/100g ; abacaxi pérola, 86,3 g/100g ; manga tommy, 85,8 g/100g e goiaba vermelha, 85,0 g/100g .

MOURA (et al., 2012) secaram fatias de maçã em estufa com circulação de ar forçado a 60 °C por 24h e observaram valores de umidade de 17,09 g/100g , valor acima do encontrado no presente estudo. PU e SUN (2015) ao secar fatias de manga em micro-ondas também alcançou a umidade em torno de 10% em 30 min, tratando-se de um processo com uma potência superior (250 W) e à vácuo.. Os resultados de umidade do abacaxi seco estão próximos dos encontrados por RANKEN (1993), que afirma que o abacaxi desidratado apresenta umidade entre 15 e 30%. Os resultados indicam que o processo de secagem convectivo com aplicação de micro-ondas é preferível a secagem convencional por encurtar o tempo de secagem

Tabela 2- Resultados dos teores de umidade em base úmida das amostras de frutas *in natura* e secas com ar quente e micro-ondas.

Frutas	Umidade (g/100g)	
	<i>In natura</i>	Seca
Maça	86,6± 0,3	8,8± 0,3
Goiaba	84,2±0,3	9,5± 0,3
Manga	87 ± 1	13,8 ± 0,4
Banana	73 ±2	12 ±1
Abacaxi	84,9 ± 0,9	15,9 ± 0,5

A Figura 1 apresenta as curvas de taxa de secagem em função do conteúdo de umidade adimensional em base seca (A) e em função do tempo (B) de secagem convectiva de diferentes frutas com aplicação de micro-ondas. Dentre as frutas analisadas, a maçã apresentou a maior taxa de secagem, com consequente reduzido tempo de secagem.

As curvas apresentam taxa decrescente de secagem para todas as frutas. A taxa decrescente está relacionada à ligação da água à estrutura do material e demanda mais tempo para alcançar a umidade de equilíbrio, isto é, a pressão de vapor da água no material é igual à pressão parcial do vapor do ar e a taxa de secagem aproxima-se de zero (STRUMILLO e KUDRA, 1986).

A Figura 2 apresenta curvas de secagem (umidade adimensional em base seca) das frutas (maçã, abacaxi, banana goiaba e manga).

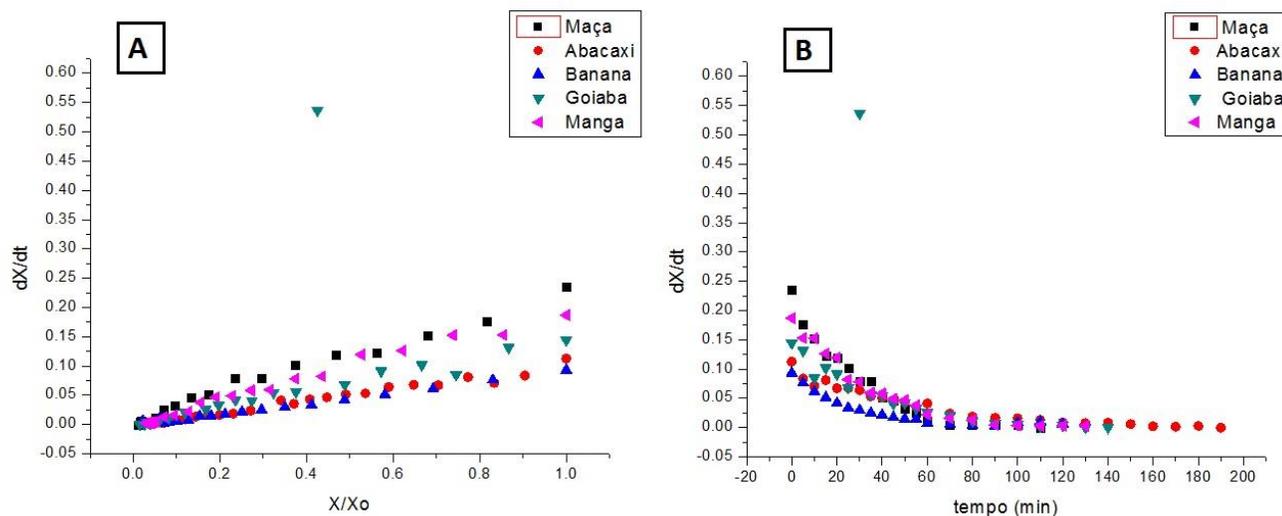


Figura 1- Taxa de secagem em função do conteúdo de umidade adimensional em base seca (A) e em função do tempo (B) da secagem convectiva de frutas à 70 °C com aplicação de micro-ondas (180W).

Essas curvas foram ajustadas com modelo de Lewis, Henderson & Pabis e Page. As características químicas e estruturais das frutas são diferentes entre si e resultam em transferência de calor e migração/difusão da água diferentes no interior das frutas, mesmo com condições de secagem semelhantes (SOMOGYI, RAMASWAMY e HUI, 1996). Na tabela 2 são apresentados os resultados dos ajustes dos modelos aos dados experimentais.

Tabela 2- Parâmetros dos modelos ajustados aos dados da curva de secagem de diferentes frutas (maça, abacaxi, banana, goiaba e manga) a 70 °C e aplicação de micro-ondas de 180 W.

Frutas	Modelos							
	Lewis		Henderson e Pabis			Page		
	k_L	R^2	k_{HP}	a	R^2	k_P	N	R^2
Maça	0,0415±0,0003	0,996	0,042±0,001	1,02±0,01	0,996	0,029±0,002	1,11±0,02	0,998
Abacaxi	0,017 ±0,001	0,999	0,0178±0,0002	0,998±0,004	0,999	0,018±0,001	0,99±0,01	0,999
Banana	0,034±0,001	0,997	0,0334±0,001	0,98±0,1	0,997	0,044±0,003	0,93±0,2	0,998
Goiaba	0,0285±0,0002	0,999	0,0291±0,0003	1,01±0,1	0,999	0,025±0,001	1,04±0,1	0,999
Manga	0,0323±0,001	0,999	0,0329±0,0003	1,01±0,07	0,999	0,03±0,001	1,02±0,01	0,999

Verificou-se ajuste satisfatório dos modelos avaliados. Pode-se observar que, em termos do coeficiente de determinação, todos os modelos ajustados representam bem a cinética de secagem de todas as frutas; apresentando em todos os casos $R^2 > 0,99$. Entretanto, quando se considera também a estimativa dos erros, observa-se que o modelo de Lewis foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais da secagem de todas as frutas, apresentando valores elevados de R^2 e menores valores de erro padrão.

Os resultados obtidos corroboram com os encontrados em alguns estudos relacionados a secagem de polpa de frutas assim como DIONELLO (2009), que em seu estudo com abacaxi, avaliou os modelos de Page, Henderson Pabis e Lewis, e encontrou valores de R^2 superiores a 0,96.

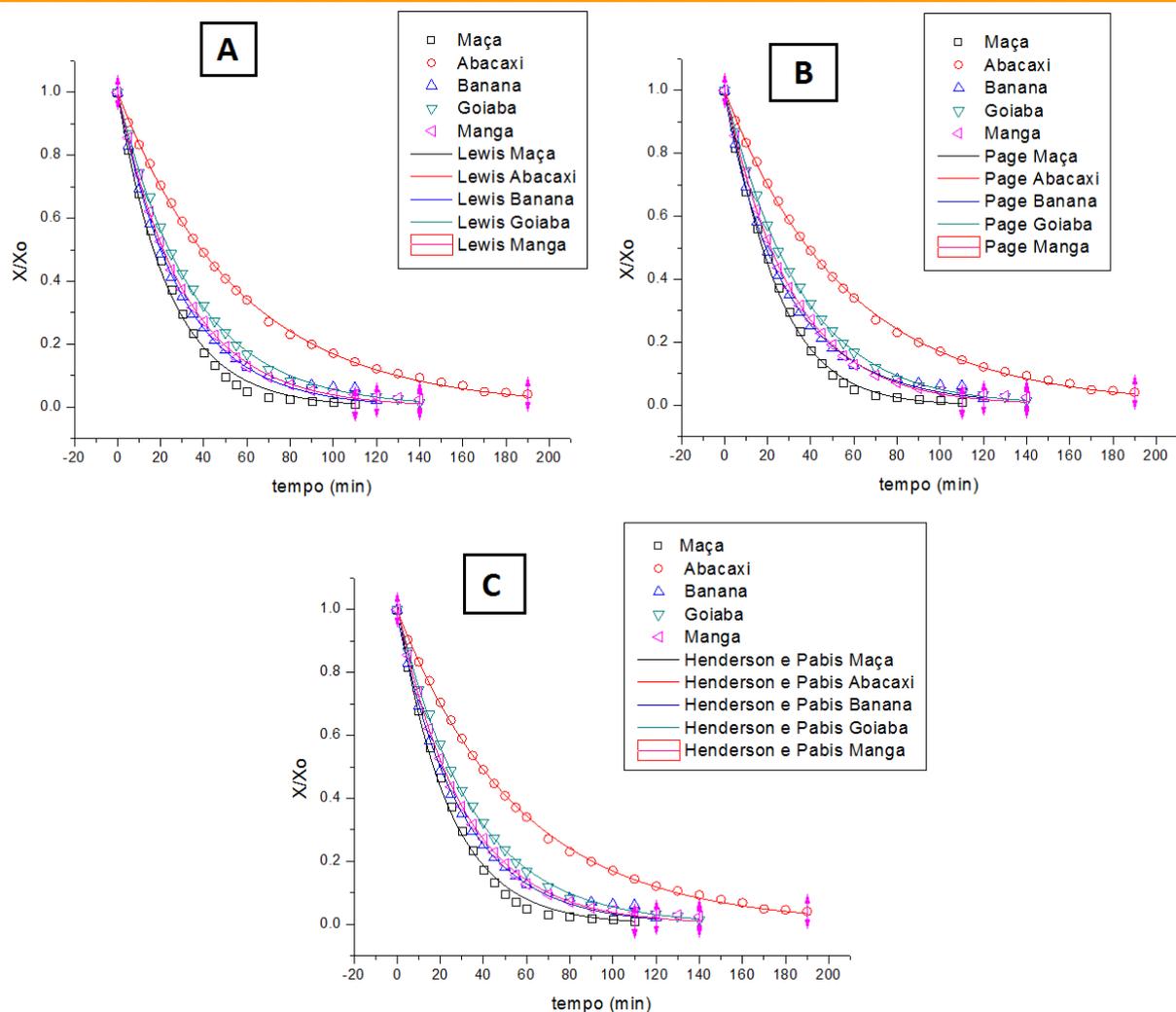


Figura 2- Umidade adimensional em base seca (X/X_0 bs) das frutas (maça, abacaxi, banana, goiaba e manga) em função do tempo da secagem convectiva à $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ com aplicação de micro-ondas 180 W . Dados experimentais e curvas ajustadas aos modelos de Lewis (A), Henderson e Pabis (B) e Page (C).

É possível observar que dentre as curvas de secagem ajustadas pelos modelos matemáticos, que a maçã apresentou maior rapidez na redução da umidade e consequente menor tempo de secagem (110 min). Fato esse que é comprovado pelos maiores valores do parâmetro k , pois quanto maior é esse valor, mais rápida é a secagem. Em contrapartida, a curva de secagem do abacaxi mostra que o processo foi mais lento (190 min), apresentando menores valores de k , provavelmente por apresentar maior conteúdo de água ligada e estrutura mais densa. Com relação também aos valores de k , LOPES (2013), observou que os valores de k aumentam com o aumento da potência de micro-ondas na secagem convectiva de abacaxi combinado com micro-ondas.



XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

5. CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a secagem com ar quente combinada com micro-ondas foi eficiente na secagem de maçã, abacaxi, banana, goiaba e manga. Os modelos matemáticos de Lewis, Page e Henderson & Pabis representam bem os dados de secagem, todos com coeficiente de determinação superior a 0,995. Dentre as frutas analisadas, a maçã apresentou a maior taxa de secagem, com consequente reduzido tempo de secagem 110 min, e o abacaxi o maior tempo de secagem 190 min.

6. REFERÊNCIAS

- AOAC *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists, Washington, 1998.
- DIONELLO, R. G. Secagem de fatias de abacaxi in natura e pré-desidratadas por imersão-impregnação: cinética e avaliação de modelos. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v. 1, p. 232-240, 2009.
- FEMENIA, A.; SERRANO, G. S.; SIMAL, S.; GARAU, M. C.; EIM, V.S.; ROSSELLÓ, C. Effects of air drying temperature on the cell walls of kiwifruit processed at different stages of ripening. *Food Scien. Technol.*, v. 42, n. 1, p. 106-112, 2009.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory. I. Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agriculture Eng. Research.*, v.6, p.169-174, 1961.
- LEWIS W. K. The rate of drying of solid materials. *Indust. Eng. Chem.*, v.13, p. 423, 1921.
- LOPES, F.J. Estudo do fenômeno de encolhimento na secagem convectiva de abacaxi com aplicação de micro-ondas, Dissertação, (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2013.
- NAZÁRIO A. S. N. ; MOURA F. P. A. ; MOREIRA, L. F. ; LIMA M. A. ; HOLANDA N. V. ; SOUZA, P. A. Caracterização físico-química de maçãs desidratadas. In: Congresso Norte Nordeste de Inovação e Pesquisa - VII CONNEPI, 2012, Palmas - TO. Caracterização físico-Química de maçãs desidratadas, 2012.
- PAGE, C. Factors Influencing the Maximum Rate of Drying Shelled Corn in Layers. West Lafayette,. MSc Thesis, Purdue University. Indiana. 1949.

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO





XXI Congresso Brasileiro
de Engenharia Química

Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro



XVI Encontro Brasileiro sobre o
Ensino de Engenharia Química
Fortaleza/CE
25 a 29 de setembro

- PANCHARIYA, P.C D. Popovic and A.L. Sharma. "Thin-layer modeling of black tea drying process". *Journal of Food Eng.*, v. 52, p. 349-357, 2002.
- PANI, P.; LEVA, A.A.; MAESTRELLI, A.; TORREGGIANI, D. Influence of an osmotic pretreatment on structure-property relationships of air-dehydrated tomato slices. *Jour. of Food Eng.*, v. 86, p. 105–112, 2008.
- PARK, K. J.; YADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. *Ciên. Tecnol. Aliment.* v. 21, n. 3, p. 288-292, 2001.
- PU, YUAN-YUAN e SUN, DA-WEN. . Vis–NIR hyperspectral imaging in visualizing moisture distribution of mango slices during microwave-vacuum drying. *Food Chem.*, v. 188, p. 271–278, 2015.
- RAMOS, A.M.; QUINTERO, A.C.F.; FARAONI, A.S.; SOARES, N.F.F.; PEREIRA, J.A.M. Efeito do tipo de embalagem e do tempo de armazenamento nas qualidades físico-química e microbiológica de abacaxi desidratado. *Alim. e Nut.* v.19, n.3, p. 259-269, 2008.
- RANKEN, M.D. *Manual de industrias de los alimentos*. Zaragoza, Acribia, 672 p. 1993.
- STRUMILLO, C. e KUDRA. *Topics in Chemical Engineering; Drying: principles, applications and desing*. Gordon and Breach Science Publishers S.A, 1986.
- SOUZA FILHO, M. S. M., LIMA, J. R., SOUZA, A. C. R., SOUZA NETO, M. A., COSTA, M. C. Efeito do branqueamento, processo osmótico, tratamento térmico e armazenamento na estabilidade da vitamina C de pedúnculos de caju processados por métodos combinados. *Ciên. Tecn. Alim.* v. 19, n. 2, 1999.
- SOYSAL, Y. ;AYHAN, Z.; ESTURK, O.; ARIKAN, M. F. Intermittent microwave-convective drying ofpepper: drying kinetics, physical (color and texture) and sensory quality. *Biosys. Eng.*, , v. 103, n. 4, p. 455-463, 2009.
- TACO. *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos*. Campinas, NEPA UNICAMP, 2011.

PROMOÇÃO



REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO

