

# OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA DE CAJU (*Anacardium occidentale* L.) EM SOLUÇÃO DE GLICOSE UTILIZANDO A METODOLOGIA DA SUPERFÍCIE DE RESPOSTA.

SP  
9602

Identif.  
25481

P.M. Azoubel<sup>1</sup>, A.A. El-Aouar<sup>2</sup> e F.E.X. Murr<sup>3</sup>

- 1-Departamento de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas  
Caixa Postal 6121–CEP: 13083-970 – Campinas – SP – Brasil  
Telefone: (0-xx-19)3788-4057 – Fax: (0-xx-19)3788-4027 – Email: pazoubel@ceres.fea.unicamp.br
- 2- Departamento de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas  
Caixa Postal 6121–CEP: 13083-970 – Campinas – SP – Brasil  
Telefone: (0-xx-19)3788-4057 – Fax: (0-xx-19)3788-4027 – Email: anoar@ceres.fea.unicamp.br
- 3- Departamento de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas  
Caixa Postal 6121–CEP: 13083-970 – Campinas – SP – Brasil  
Telefone: (0-xx-19)3788-4046 – Fax: (0-xx-19)3788-4027 – Email: fexmurr@ceres.fea.unicamp.br

**RESUMO** – A desidratação osmótica de fatias do pedúnculo de caju em solução de glicose de milho foi otimizada através da metodologia da superfície de resposta com a finalidade de obter máxima perda de água com uma mínima incorporação de sólidos. A influência da temperatura (30-50°C), da concentração (40-60% p/p) e do tempo de imersão (90-240min) foi estudada e as respostas perda de água e ganho de sólidos foram ajustadas a polinômios com coeficiente de correlação superiores a 0,92. Três condições ótimas de processamento foram escolhidas e a qualidade do pedúnculo após o processamento foi avaliada através de análises de vitamina C.

**PALAVRAS-CHAVE:** caju; desidratação osmótica; metodologia da superfície de resposta.

**ABSTRACT** – Osmotic dehydration of cashew apple in corn glucose solution was optimized through response surface methodology to obtain maximum water loss and minimized incorporation of solids. The influence of temperature (30-50°C), solution concentration (40-60% w/w) and immersion time (90-240min) was studied and responses of water loss and solids gain were fitted to polynomials with multiple correlation coefficients above 0.92. Three optimum sets were selected and the quality of the peduncle after processing was evaluated by vitamin C analysis.

**KEYWORDS:** cashew apple; osmotic dehydration; response surface methodology.

## 1. INTRODUÇÃO

O pseudofruto do caju é um produto altamente perecível, que possui uma casca muito frágil, sobre a qual existe uma mucilagem na qual se fixam fungos, dando-lhes condições propícias para seu desenvolvimento, que é ainda favorecido quando condições de temperatura e umidade forem elevadas nas regiões produtoras de caju (Menezes et al., 1980).

O processo de desidratação osmótica é um método de preservação bastante utilizado em frutas e baseia-se na imersão destas, inteiras ou fatiadas, em soluções hipertônicas, originando dois fluxos principais, que são a saída de água do produto para a solução osmótica e uma migração de solutos da solução para o sólido. Um terceiro fluxo, embora insignificante em relação aos outros

dois no que diz respeito à intensidade, é a perda de nutrientes da fruta, que pode ser importante para as características sensoriais e nutricionais do produto (Raoult-Wack et al., 1989). Glicose e sacarose são os agentes osmóticos mais utilizados em frutas (Bolin et al., 1983; Lerici et al., 1985).

A quantidade e a taxa de água removida do produto dependem de algumas variáveis de processo, como concentração e composição da solução osmótica, temperatura, tempo de imersão, proporção amostra/solução e agitação (Lerici et al., 1985).

Sendo assim, o presente trabalho teve como objetivo a otimização da desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju em solução de glicose de milho através da metodologia da superfície de resposta, que vem sendo aplicada com sucesso na otimização do processamento de alimentos por vários pesquisadores (Guerrero et al., 1996; Vijayanand et al., 1995), em função das variáveis concentração de açúcar na solução, temperatura de processo e tempo de imersão, com a finalidade de se obter um produto com características de alimento fresco.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Cajus maduros (10-12°Brix) procedentes do Piauí e adquiridos no mercado local, foram lavados e em seguida retiradas à castanha e às extremidades superior e inferior do pedúnculo, que foi cortado em rodelas de 0,5cm de espessura.

As fatias foram imersas, uma a uma, em béqueres de 600mL contendo a solução desidratante de glicose de milho (MOR-REX®1940, Corn Products Brasil) e 0,02% de metabissulfito de sódio, aquecidos à temperatura de processo e agitados a 80rpm em uma incubadora (Tecnal, TE-421). A relação amostra/solução de 1:10 foi utilizada para diminuir a diluição da solução osmótica. Após tempos pré-determinados, as fatias foram retiradas da solução, enxaguadas com água destilada para retirar o excesso de solução osmótica, colocadas em papel

absorvente e pesadas. Os ensaios foram feitos em triplicata.

### 2.1. Planejamento Experimental

Para estudar os efeitos da temperatura, da concentração e do tempo na perda de água e no ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias do pseudofruto de caju foi utilizado um planejamento fatorial completo  $2^3$ , mais os pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis  $\pm \alpha$ ). Dessa forma, cada fator foi estudado em 5 níveis, conforme apresenta a Tabela 1, sendo realizados um total de 17 ensaios (Tabela 2).

Tabela 1. Variáveis independentes codificadas

Variável	$-\alpha$	-1	0	+1	$+\alpha$
Temperatura (°C)	30	34	40	46	50
Concentração (%)	40	44	50	56	60
Tempo (min)	90	120	165	210	240

As respostas perda de água e ganho de sólidos foram calculadas de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente (Hawkes e Flink, 1978):

$$PA(\%) = \frac{MA_o - (M_t - MS_t)}{MA_o + MS_o} \cdot 100 \quad (1)$$

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_o}{MA_o + MS_o} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

- $MA_o$  = peso da água inicialmente presente (g);
- $MS_o$  = peso dos sólidos inicialmente presentes (g);
- $M_t$  = peso da amostra no tempo t (g);
- $MS_t$  = peso dos sólidos no tempo t (g).

A determinação da umidade foi realizada em estufa a vácuo a 70°C por 24h.

### 2.2. Análise Estatística

A elaboração dos modelos de perda de água e ganho de sólidos foi feita utilizando o programa STATISTICA 5.0, sendo considerado preditivo o modelo que apresentasse regressão significativa ao nível de 95% de confiança, falta de ajuste não significativa ao mesmo nível de confiança e

alto valor de  $R^2$ . O maior valor de  $R^2$  é um, e ele só ocorrerá se não houver resíduo algum e, portanto, toda a variação em torno da média for explicada pela regressão. Quanto mais perto de um estiver o valor de  $R^2$ , melhor terá sido o ajuste do modelo aos dados observados (Barros Neto et al., 1996).

As respostas perda de água e ganho de sólidos foram representadas através da função  $\varphi$  (equação 3):

$$\varphi = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 C + \beta_3 t + \beta_{11} T^2 + \beta_{22} C^2 + \beta_{33} t^2 + \beta_{12} TC + \beta_{13} Tt + \beta_{23} Ct \quad (3)$$

O erro relativo médio (P) foi calculado através da Equação 4 (Lomauro *et al.*, 1985) a fim de avaliar se os modelos utilizados foram ou não preditivos (P < 10%).

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_P - V_O|}{V_O} \quad (4)$$

Onde:

$P$  = desvio relativo médio (%);

$V_P$  = valores preditos pelo modelo;

$V_O$  = valores observados experimentalmente;

$N$  = número de pontos experimentais.

### 2.3. Qualidade do Produto Final

A qualidade do produto final foi avaliada através de análises de vitamina C, de acordo com a metodologia descrita por Ranganna (1977).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Planejamento Experimental

Os valores das respostas perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) na desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju em solução de glicose de milho, de acordo com o planejamento experimental proposto, encontram-se na Tabela 2.

Todos os ensaios realizados nas condições máximas de tempo e temperatura resultaram em um produto escurecido e com textura diferente da fruta *in natura*,

provavelmente devido ao comprometimento da estrutura celular, conforme resultados encontrados por Rastogi e Raghavarao (1994), Videv et al. (1990) e Yang e Le Maguer (1992) na desidratação osmótica de frutas, como maçã, morango e coco. Sendo assim, temperaturas acima de 45°C não serão utilizadas neste estudo.

Tabela 2. Valores perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente

Ensaio	T (°C)	C (%)	t (min)	PA (%)	GS (%)
1	34	44	120	24,202	0,998
2	46	44	120	35,723	1,650
3	34	56	120	26,973	1,344
4	46	56	120	42,392	2,256
5	34	44	210	32,061	1,609
6	46	44	210	50,712	1,983
7	34	56	210	38,028	2,020
8	46	56	210	56,554	2,649
9	40	50	165	36,119	1,140
10	40	50	165	38,594	1,180
11	40	50	165	37,801	1,149
12	30	50	165	26,740	0,454
13	50	50	165	49,507	1,807
14	40	40	165	26,906	1,379
15	40	60	165	36,020	2,010
16	40	50	90	29,385	1,930
17	40	50	240	45,950	2,990

### 3.2. Análise Estatística

Os resultados da análise estatística aplicada aos dados experimentais permitiram avaliar quais fatores ou variáveis (temperatura, tempo e concentração) exerceram efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) em cada resposta. Para a perda de água, apenas os parâmetros lineares das variáveis foram significativos a 95% de confiança e considerados no modelo de predição, sendo a temperatura o fator a exercer maior influência.

Em relação ao ganho de sólidos, apenas os termos quadráticos da temperatura e a interação concentração/tempo não foram significativos a  $p \leq 0,05$ . O tempo de imersão, seguido da temperatura, foram os principais fatores a influir na incorporação de sólidos.

Os resultados da Análise de Variância (ANOVA) são apresentados na Tabela 3, onde os valores em negrito são significativos

( $p \leq 0,05$ ). Os modelos ajustados para perda de água e ganho de sólidos apresentaram regressão significativa e falta de ajuste não significativa a 95% de confiança e coeficiente de correlação superior a 0,92.

Os modelos propostos para descrever a perda de água e o ganho de sólidos na desidratação osmótica de fatias do pedúnculo do caju em solução de glicose de milho são descritos pelas equações 4 e 5, respectivamente

Tabela 3. Análise de variância para perda de água e ganho de sólidos

	Perda de água		
	GL	MQ	F <sub>calc</sub>
Regressão	3	<b>429,616</b>	<b>52,037</b>
Resíduo	13	<b>8,256</b>	
Falta de ajuste	11	9,467	5,924
Erro puro	2	1,598	
Total	16		
R <sup>2</sup>	0,923		

	Ganho de sólidos		
	GL	MQ	F <sub>calc</sub>
Regressão	7	<b>0,904</b>	<b>150,667</b>
Resíduo	9	<b>0,006</b>	
Falta de ajuste	7	0,008	16,000
Erro puro	2	0,0005	
Total	16		
R <sup>2</sup>	0,991		

GL: grau de liberdade  
MQ: média quadrática

$$PA(\%) = -55,790 + 1,255T + 0,448C + 0,124t \quad (5)$$

$$GS(\%) = 17,756 + 0,013T - 0,581C + 0,005C^2 - 0,060t + 0,0002t^2 + 0,002TC + 0,0003Tt \quad (6)$$

Onde:

T= temperatura (°C);  
C= concentração (%);  
T= tempo (min).

### 3.3.Otimização

A otimização do processo osmótico teve como objetivo manter as características da fruta fresca, utilizando temperaturas que não provocassem alterações na estrutura do material, através da maximização da perda de água e minimização do ganho de sólidos.

A razão ganho de sólidos/perda de água (GS/PA) é um bom indicador do grau que o processo alcança, conforme estudos realizados por Ravindra e Chattopadhyay (2000) na otimização do processo osmótico de cubos de batata. Lazarides et al. (1995) utilizaram a razão inversa (PA/GS) na desidratação de maçãs.

A variação da razão GS/PA em função das variáveis tempo de imersão, temperatura e concentração da solução são apresentadas nas Figuras 1 e 2. Para processos realizados em tempos intermediários (130 a 200 min) e concentrações entre 43 e 56%, baixos valores de GS/PA foram obtidos, independente da temperatura utilizada. Entretanto a realização do processo por longos tempos (acima de 220 min) ou tempos curtos (até 100 min) resultaram em maiores valores de GS/PA.

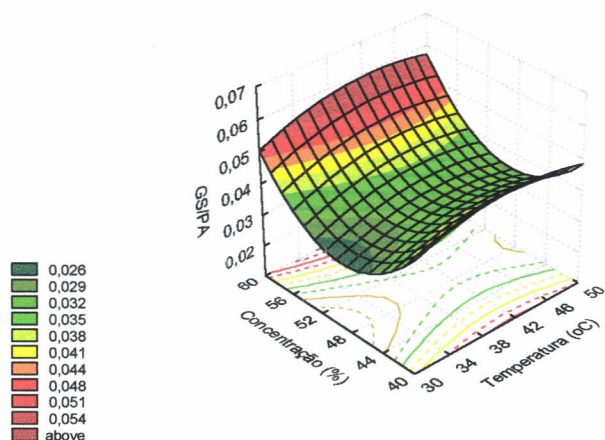


Figura 1. Superfície de resposta para a relação GS/PA a T= 40°C

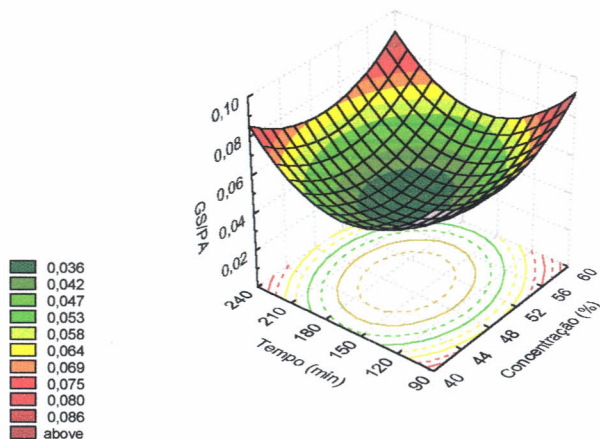


Figura 2. Superfície de resposta para a relação GS/PA a C= 50%

Levando-se em consideração todas as observações realizadas e com a finalidade de otimizar o processamento (baixos valores de GS/PA), três condições ótimas foram escolhidas para validar os modelos experimentais de perda de água e ganho de sólidos (Tabela 4). Observa-se que os modelos propostos (equações 5 e 6) conseguiram prever com bastante fidelidade os valores de perda de água e ganho de sólidos, com valores de erro médio relativo inferiores a 10%.

Tabela 4. Condições ótimas do processo osmótico em soluções de glicose de milho

Fator	Condições ótimas		
	1	2	3
T (°C)	30	34	42
C (%)	60	52	44
t (min)	160	165	120
Preditivo			
PA (%)	28.580	30.636	31.512
GS (%)	1.456	1.828	2.760
Observado			
PA (%)	25.718	28.266	32.504
GS (%)	1.453	1.972	2.430
P (%)	6,97 (PA)	6,68 (GS)	

### 3.4. Qualidade do Produto Final

A influência do processo osmótico no conteúdo de ácido ascórbico do caju é apresentada na Tabela 5. Observa-se que todas as condições de processamento resultaram em perda de vitamina C, sendo estas perdas maiores quando a temperatura de 42°C foi utilizada (condição 3). Utilizando baixas temperaturas, a perda de ácido ascórbico durante o processo osmótico pode ser atribuída ao fluxo de saída desta vitamina do produto para a solução desidratante, conforme observações feitas por Islam e Flink (1982) durante o processo osmótico de fatias de batata em soluções de sacarose/NaCl. Em processos realizados com altas temperaturas, a degradação química, assim como a difusão, são os fenômenos mais significativos ocorrendo, conforme estudo realizado por Vial et al. (1991).

Tabela 5. Teor de vitamina C

Ácido Ascórbico	Fruta fresca	1	2	3
mg/100g (fruta fresca)	204,78	134,37	130,30	116,61
Perda (%)		34,38	36,37	43,06

## 4. CONCLUSÃO

No processo osmótico do pseudofruto do caju em solução de sacarose e glicose ficou evidenciada a influência da temperatura, do tempo e da concentração da solução nos valores das respostas perda de peso, perda de água e ganho de sólidos. Os valores dessas respostas aumentam com o aumento desses parâmetros.

Todos os modelos experimentais gerados (perda de água e ganho de sólidos) pela metodologia da superfície de resposta foram considerados preditivos por apresentarem regressão significativa e falta de ajuste não significativa, ambos ao nível de 95% de confiança e valores satisfatórios de R<sup>2</sup>.

Das condições otimizadas obtidas do processo osmótico, a desidratação do pseudofruto em solução de glicose de milho com concentração de 44% (p/p) por 120 minutos e temperatura de 42°C (condição 3) apresentou maior perda de vitamina C.

## 5. REFERÊNCIAS

- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. *Planejamento e otimização de experimentos*, Campinas, 299p, 1996.
- BOLIN, H. R.; HUXSOLL, L.C.; JACKSON, R.; NG, K.G. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. *Journal of Food Science*, v.56, p.202-205, 1993.
- GUERRERO, S.; ALZAMORA, S.M.; GERSCHENSON, L.N. Optimization of a combined factors technology for preserving banana purée to minimize colour changes using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, v.28, p.307-322, 1996.
- HAWKES, J.; FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of

- process variables on the quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.2, p. 265-284, 1978.
- ISLAM, M. N.; FLINK, L. N. Dehydration of potato II – Osmotic concentration and its effect on air drying behavior. *Journal of Food Technology*, v.17, n.3, p.387-403, 1982.
- LAZARIDES, H.N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer during osmotic preconcentration aiming at minimal solid uptake. *Journal of Food Engineering*, v.25, p. 151-166, 1995.
- LERICI, C.R.; DALLA ROSA, M.; BARTOLUCCI, L. Osmotic dehydration of fruits: influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, v.50, p. 1217-1220, 1985.
- MENEZES, H.C.; DRAETTA, I.S.; SALES, A.M.; LEITÃO, M.F.F.; CAMPOS, S.D.S.; CABRAL, A.C.D.; ORTIZ, S.A.; MADI, L.F.C.; SOLER, R.M.; GAZETA, E.F. *Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos*, p.9-83, 1980.
- RANGANNA, S. *Manual of analysis of fruit and vegetables products*. New Delhi: Mc-Graw Hill Publishing Company, 634p., 1977.
- RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; RIOS, G.; GUILBERT, S. *Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties*. In: MUJUMDAR, A. S.; ROQUES, M. A. *Drying of solids*. New York: Hemisphere Publishing Company, p. 487-495, 1989.
- RASTOGI, N. K.; RAGHAVARAO, K. S. M. S. Effect of temperature and concentration on osmotic dehydration of coconut. *Food Science and Technology-Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, v.27, p. 564-567, 1994.
- RAVINDRA. M.R.; CHATTOPADHYAY, P.K. Optimisation of osmotic preconcentration and fluidised bed drying dehydrated quick-cooking potato cubes. *Journal of Food Engineering*, v.44, p.5-11, 2000.
- VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. *Sciences des Aliments*, v.11, p. 63-84, 1991.
- VIDEV, K.; TANCHEV, S.; SHARMA, R. C.; JOSHI, V. K. Effect of sugar syrup concentration and temperature on the rate of osmotic dehydration of apples. *Journal of Food Science and Technology*, v.27, n.5, p.307-308, 1990.
- VIJAYANAND, P.; CHAND, N.; EIPESON, W.E. Optimization of osmotic dehydration of cauliflower. *Journal of Food Processing and Preservation*, v.19, p.229-242, 1995.
- YANG, D. C.; LE MAGUER, M. Osmotic dehydration of strawberries in a batch recirculation system. *Journal of Food Quality*, v.15, p.387-397, 1992.

## 6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o valioso apoio financeiro dado pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), sem o qual não seria possível a realização deste trabalho, e a Corn Products Brasil pelo fornecimento da glicose desidratada MOR-REX®1940.