

Desidratação osmótica de abacaxi aplicada à tecnologia de métodos combinados¹

Henriette M. C. AZEREDO^{2,*}, José Gilberto JARDINE³

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi a otimização do processo de desidratação osmótica de abacaxi, visando a obtenção de um produto com máxima perda de água e mínima incorporação de sólidos. O processo foi aplicado à Tecnologia de Métodos Combinados, em que a redução na atividade de água foi combinada a redução no pH e uso de conservantes, todos aplicados em baixos níveis, a fim de se obter um produto similar à fruta fresca. O experimento foi dividido em 3 tratamentos, a saber: pedaços de abacaxi não revestidos (A), revestidos com cobertura de alginato (B) e revestidos com cobertura de pectina de baixa metoxilação (C). O processo envolveu as etapas principais: inativação enzimática de pedaços da fruta; para os tratamentos B e C, revestimento da fruta com as respectivas coberturas; e desidratação osmótica em solução de sacarose contendo sorbato de potássio e ácido cítrico. As condições ótimas do processo, determinadas a partir da Metodologia de Superfície de Resposta, foram as seguintes: desidratação da fruta revestida com alginato, a temperaturas na faixa de 42 a 47° C, em xarope de sacarose a 66-69° Brix, por 220 a 270 minutos. Os resultados indicaram que as coberturas afetaram significativamente as transferências de massa do processo, reduzindo a incorporação de sólidos e aumentando a perda de umidade, com conseqüente aumento na perda de massa e aumento na relação de performance (perda de umidade: incorporação de sólidos); a atividade de água final do produto

não foi afetada de forma marcante pela presença das coberturas. O produto obtido sob condições otimizadas foi submetido a avaliação sensorial de aceitação, tendo apresentado boa aceitação geral. Uma avaliação da estabilidade microbiológica do produto, feita por meio de contagem de bolores e leveduras, mostrou boa estabilidade do produto por pelo menos 60 dias a 30°C.

Palavras-chave: desidratação osmótica; abacaxi; métodos combinados; otimização.

SUMMARY

Optimization of osmotic dehydration of pineapple applied to combined methods technology. The aim of this research was to optimize osmotic dehydration of pineapple, according to two criteria: maximize water loss and minimize solid gain. The process was made as an application to Combined Methods Technology, in which three preservation factors were combined: water activity, pH and chemical preservatives, all being applied at low levels, in order to get a product resembling non-processed fruit. The experiment was divided into three treatments, being: non-coated pineapple pieces (A), pieces coated with alginate (B) and coated with low-methoxyl pectin (C). Process involved the following main steps: enzymatic inactivation of fruit pieces; in treatments B and C, incorporation of their respective coatings; and osmotic dehydration, in sucrose syrup containing potassium sorbate and citric acid. Optimum conditions, determined from Response Surface Methodology, were the following: dehydration of fruit pieces coated by alginate, at 42-47° C, in sucrose syrup at 66-69° Brix, for 220 to 270 minutes. Results indicated that both coatings significantly affected the mass transfers of the process, reducing solid incorporation and increasing water loss; therefore, increasing weight loss and performance ratio (water loss: solid incorporation) took place. Water activity was not significantly affected by the coatings. The product obtained under optimum conditions was submitted to sensorial evaluation, and presented a good general acceptance. Moulds and yeasts countings indicated good microbiological stability of the product for at least 60 days at 30°C.

Keywords: osmotic dehydration; pineapple; combined methods; optimization.

1 – INTRODUÇÃO

Uma grande tendência relacionada à conservação de alimentos tem sido a Tecnologia de Métodos Combinados, baseada em tecnologias simples que utilizam uma combinação de dois ou mais fatores de conservação, promovendo a estabilidade do alimento à temperatura ambiente [3]. Dentro deste contexto, estão os produtos de frutas a alta umidade, nos quais uma leve redução na atividade de água (a_w final superior a 0,90) é combinada a outros fatores, tais como: redução do pH, adição de conservantes químicos, leve tratamento térmico, entre outros [1, 9]. A inibição ao crescimento microbiano é obtida por efeito sinérgico entre os fatores [13].

O método mais utilizado para redução da atividade de água é a desidratação osmótica, que consiste em remoção de água da fruta por meio de sua imersão em uma solução hiperconcentrada de um soluto [17]. Em consequência dos gradientes de concentração, ocorrem dois fluxos principais, em contra-corrente: fluxo de água da fruta para a solução, e de soluto no sentido oposto [18]. Este segundo (incorporação de soluto) é considerado uma desvantagem do processo, especialmente quando se busca maior similaridade com a fruta fresca; pode, entretanto, ser reduzido através do revestimento da fruta com uma cobertura comestível de alta afinidade pela água, permitindo seu fluxo para o exterior da fruta, e baixa afinidade pelo soluto, reduzindo sua incorporação [7]. A classe de compostos mais adequada aos requerimentos do processo são os polissacarídeos, entre os quais alginatos e pectinas de baixa metoxilação, que, associados por ligações cruzadas a íons Ca^{+2} , formam fortes géis iônicos [7, 11].

O objetivo do trabalho foi otimizar o processo de desidratação osmótica, no sentido de minimizar a incorporação de solutos e maximizar a perda de água. A atividade de água foi combinada a dois outros fatores de conservação (pH e uso de conservantes químicos), a fim de se obter um produto com boa estabilidade microbiológica.

2 – MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Material

Os abacaxis (cv. *Smooth cayenne*) foram obtidos no comércio local (Campinas, SP); procurou-se uniformizar o grau de maturação da fruta (grau 3, segundo os critérios sugeridos por MONTENEGRO e CANTARELLI [16]). O agente osmótico utilizado foi sacarose comercial. Os polissacarídeos utilizados para formação de coberturas foram: alginato de sódio (Grindsted Alginate FD 175) e

pectina de baixa metoxilação (Grindsted Pectin LA 210); como fonte de íons Ca^{+2} , utilizou-se cloreto de cálcio (Merck). Os conservantes químicos usados foram: sorbato de potássio (Henrifarma) e metabisulfito de sódio (Ecibra); como acidulante, utilizou-se ácido cítrico (Fisher Scientific Company); todos os reagentes tinham grau de pureza P.A.

2.2 – Delineamento

Foi utilizado um delineamento composto rotacional central, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis independentes foram: 1- tempo; 2- temperatura; 3- concentração da solução osmótica; 4- presença e tipo de cobertura. Esta última variável, sendo qualitativa, dividiu o experimento em 3 tratamentos: *A* (pedaços de abacaxi não revestidos); *B* (revestidos com alginato); e *C* (revestidos com pectina). Cada tratamento consistiu de 19 ensaios, cujas condições (níveis codificados) são apresentadas na *Tabela 1*. Os níveis decodificados de cada variável apresentam-se na *Tabela 2*; a escolha das faixas experimentais utilizadas baseou-se em resultados obtidos a partir de ensaios preliminares.

TABELA 1. Níveis codificados das variáveis para os ensaios.

N ^o do ensaio	Tempo	Temperatura	Concentração da solução
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,68	0	0
10	1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0

TABELA 2. Níveis decodificados das variáveis.

Níveis codificados	Níveis decodificados		
	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Concentração da solução (°Brix)
-1,68	120	30	60
-1	157	34	62
0	210	40	65
1	263	46	68
1,68	300	50	70

As respostas de interesse foram assim definidas:

Perda percentual de massa do material desidratado, definida por:

$$PM (\%) = 100 \times \left(1 - \frac{m_f}{m_i}\right)$$

Perda percentual de umidade (com base na massa inicial do material):

$$PU (\%) = 100 \times \frac{U_i m_i - U_f m_f}{m_i}$$

Incorporação percentual de sólidos (com base na massa inicial do material):

$$IS (\%) = 100 \times \frac{ST_f m_f - ST_i m_i}{m_i}$$

Relação de performance, conceito assim definido por CAMIRAND *et alii* [7]:

$$RP = PU / IS$$

Varição percentual no teor de sólidos solúveis (°Brix) do material:

$$VSS (\%) = 100 \times [(SS_f / SS_i) - 1]$$

Atividade de água final: obtida por medida direta, em Aqualab - CX-2 - Decagon.

Sendo: PM = perda de massa; m_i = massa inicial; m_f = massa final; PU = perda de umidade; U_i = teor inicial de umidade (%); U_f = teor final de umidade (%); IS = incorporação de sólidos; ST_i = teor inicial de sólidos totais (%); ST_f = teor final de sólidos totais (%); RP = relação de performance; VSS = variação no teor de sólidos solúveis; SS_i = teor inicial de sólidos solúveis (%); SS_f = teor final de sólidos solúveis (%).

2.3 – Processamento

O processamento consistiu basicamente em: 1- fatiamento e corte radial da matéria-prima em pedaços de dimensões 3cm x 2cm x 1cm; 2- inativação enzimática em solução aquosa de metabissulfito de sódio a 500ppm, a 100°C, por 1 minuto; 3- transferência da amostra para um erlenmeyer contendo a

solução osmótica acrescida de 0,2% de sorbato de potássio e 1% de ácido cítrico; 4- desidratação em *shaker* com controle termostático, a 110rpm; 5- drenagem da solução osmótica, seguida por enxágüe para remoção do filme de açúcar formado na superfície do produto, e absorção do excesso de água em papel absorvente, por 5 minutos.

No caso dos tratamentos B e C, entre as etapas 2 e 3, realizaram-se duas etapas adicionais: imersão dos pedaços de abacaxi em uma solução de alginato de sódio a 2% (tratamento B) ou de pectina a 2,5% (tratamento C); e imersão em uma solução de CaCl_2 a 2,4%, para completar a formação de uma cobertura íntegra.

2.4 – Determinações analíticas

Antes e após o processo, realizaram-se as determinações: 1- massa da amostra, em balança analítica; 2- sólidos totais, em estufa com circulação de ar aquecido, a 70°C por 43 horas; 3- sólidos solúveis (em refratômetro de bancada CarlZeiss Jena); 4- atividade de água (Aqualab CX-2 - Decagon).

2.5 – Análise dos resultados

Após obtidas as respostas para todos os ensaios, procedeu-se à determinação das condições ótimas. Os gráficos de contorno e a descrição matemática do processo foram obtidas através do programa *Statistica*, versão 5.0. Para determinação das condições ótimas, foram feitas sobreposições dos gráficos, a fim de obter, para cada tratamento, uma área em que a resposta (no caso, a perda de massa, como será explicado adiante) fosse máxima.

Para comparação entre os tratamentos A, B e C, foram realizadas análises de variância e aplicado o teste F; quando apropriado (F significativo), as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey [23].

O produto otimizado foi submetido a testes sensoriais de aceitação, por meio da utilização de uma escala hedônica de 9 pontos. Foram recrutados 30 provadores, entre alunos e funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp.

O produto foi estocado à temperatura constante de 30° C, em estufa BOD para incubação. A avaliação de sua estabilidade microbiológica foi feita segundo técnica padrão [4], através de contagem em placas de bolores e leveduras, utilizando como meio de cultura ágar dextrose de batata contendo antibiótico clorotetraciclina.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas experimentais dos tratamentos estão apresentadas nas *Tabelas 3, 4 e 5*. A partir das respostas, foram construídos os gráficos de contorno (*Figura 1*), que constituíram o ponto de partida para o estabelecimento dos critérios utilizados para otimização.

TABELA 3. Perda percentual de massa (PM), perda percentual de umidade (PU), incorporação percentual de sólidos (IS), variação percentual do teor de sólidos solúveis (VSS) e atividade de água (A_w), referentes ao tratamento A (pedaços de abacaxi não revestidos).

Ensaio	PM(%)	PU(%)	IS(%)	VSS(%)	A_w
1	17,52	28,98	11,46	158,41	0,961
2	22,09	37,35	15,26	195,09	0,952
3	25,94	43,06	17,12	218,18	0,953
4	29,48	49,66	20,18	258,82	0,944
5	19,02	37,63	16,61	187,61	0,957
6	23,37	42,38	19,01	219,16	0,947
7	27,68	46,85	19,17	256,52	0,949
8	29,64	53,91	24,27	270,65	0,941
9	22,23	32,36	10,13	174,79	0,962
10	31,45	49,11	17,66	263,03	0,946
11	21,74	37,05	15,31	178,40	0,966
12	32,29	54,65	22,36	272,83	0,940
13	25,71	43,09	17,38	210,22	0,956
14	32,96	52,00	19,03	245,26	0,946
15	29,17	47,17	18,00	219,38	0,951
16	29,66	47,60	17,94	233,27	0,947
17	28,06	46,28	18,22	224,62	0,949
18	29,50	47,25	17,75	235,28	0,947
19	29,61	48,35	18,74	224,09	0,950

TABELA 4. Perda percentual de massa (PM), perda percentual de umidade (PU), incorporação percentual de sólidos (IS), variação percentual do teor de sólidos solúveis (VSS) e atividade de água (A_w), referentes ao tratamento B (pedaços de abacaxi revestidos com alginato).

Ensaio	PM(%)	PU(%)	IS(%)	VSS(%)	A_w
1	47,34	51,58	4,24	114,09	0,963
2	53,00	57,59	4,59	149,59	0,957
3	53,64	60,04	6,41	169,52	0,956
4	54,28	64,32	10,04	238,10	0,950
5	48,85	53,34	4,49	142,86	0,957
6	53,73	58,68	4,95	182,45	0,950
7	55,19	61,81	6,61	212,00	0,947
8	58,31	67,30	8,99	258,00	0,941
9	51,90	57,68	5,78	133,68	0,970
10	57,34	66,84	9,50	259,59	0,948
11	47,62	52,12	4,50	137,74	0,968
12	57,35	69,01	11,66	260,00	0,942
13	50,73	57,18	6,45	210,87	0,963
14	57,68	64,66	6,98	240,57	0,950
15	56,24	62,79	6,55	212,87	0,954
16	55,74	62,81	7,07	218,24	0,952
17	57,23	63,16	5,93	206,14	0,950
18	56,85	63,65	6,80	215,35	0,955
19	55,42	61,94	6,52	210,22	0,950

TABELA 5. Perda percentual de massa (PM), perda percentual de umidade (PU), incorporação percentual de sólidos (IS), variação percentual do teor de sólidos solúveis (VSS) e atividade de água (A_w), referentes ao tratamento C (pedaços de abacaxi revestidos com pectina).

Ensaio	PM(%)	PU(%)	IS(%)	VSS(%)	A_w
1	47,13	53,69	6,57	117,31	0,965
2	50,73	58,06	7,34	146,15	0,960
3	49,97	57,55	7,58	141,28	0,962
4	51,94	61,76	9,82	197,16	0,953
5	49,30	56,25	6,95	170,19	0,962
6	52,61	60,88	8,27	185,65	0,954
7	51,29	59,15	7,86	181,65	0,953
8	53,93	63,93	10,00	223,85	0,947
9	45,15	51,88	6,73	157,94	0,968
10	55,20	65,91	10,71	247,82	0,949
11	45,57	51,90	6,33	149,06	0,966
12	55,74	66,61	10,87	242,86	0,943
13	49,22	55,70	6,48	189,62	0,966
14	54,49	63,77	8,28	233,02	0,951
15	52,35	60,35	8,00	201,77	0,953
16	51,85	59,72	7,81	20,485	0,952
17	51,31	59,10	7,79	208,65	0,957
18	52,20	60,08	6,88	198,17	0,960
19	52,58	59,62	7,04	201,83	0,952

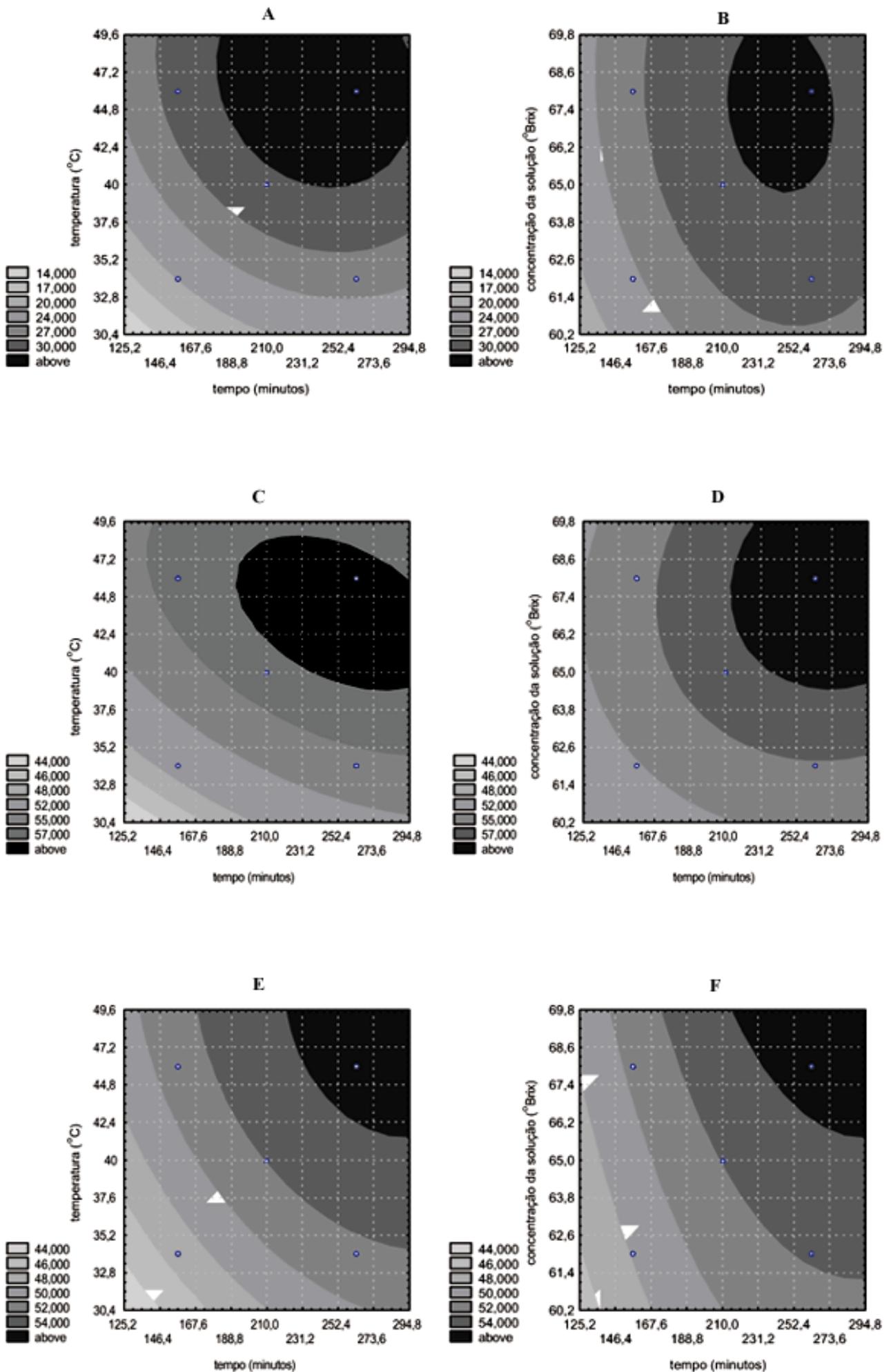


FIGURA 1. Gráficos de contorno referentes à perda de massa de: A e B: pedaços de abacaxi não revestidos. C e D: pedaços de abacaxi revestidos com alginato. E e F: pedaços de abacaxi revestidos

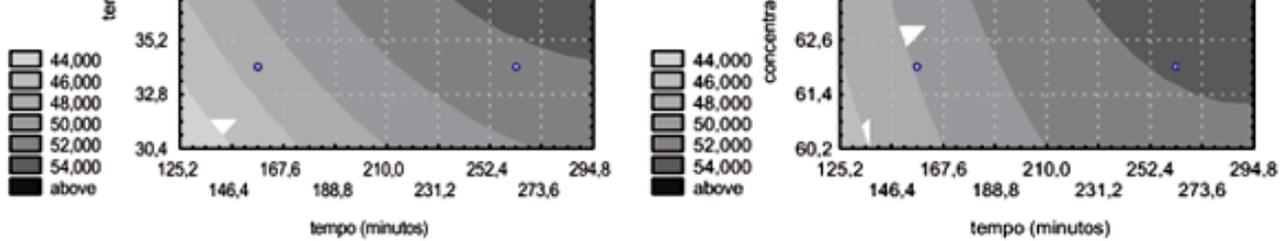


FIGURA 1. Gráficos de contorno referentes à perda de massa de: A e B: pedaços de abacaxi não revestidos. C e D: pedaços de abacaxi revestidos com alginato; E e F: pedaços de abacaxi revestidos com pectina.

A simples maximização da perda de umidade, assim como a maximização da variação na concentração da solução ou a minimização da atividade de água, poderiam levar à obtenção de um produto rico em solutos. Por outro lado, a minimização da incorporação de sólidos conduziria a um produto com baixa perda de umidade. Por fim, a perda de massa, sendo nada mais que a diferença entre perda de água e ganho de solutos, mostrou-se a resposta mais adequada para representar as condições ótimas, representando bem o critério buscado para otimização. A maximização da perda de massa foi então escolhida como critério para otimização do processo.

A perda de massa para os tratamentos A, B e C foi representada matematicamente pelas equações 1, 2 e 3, respectivamente (sendo: t = tempo; T = temperatura; B = concentração da solução); as equações encontram-se na forma codificada.

$$\text{PPA} (\%) = 28,72 + 2,19t - 1,44t^2 + 3,55T - 1,38T^2 + 1,24B \quad (r^2=0,8430) \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{PPB} (\%) = 56,32 + 1,72t - 0,71t^2 + 2,55T - 1,47T^2 + 1,43B - 0,86B^2 - 0,85tT \quad (r^2=0,9456) \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{PPC} (\%) = 52,00 + 2,08t - 0,65t^2 + 1,79T - 0,48T^2 + 1,19B \quad (r^2=0,8343) \quad (\text{Equação 3})$$

As análises de variância (*Tabelas 6, 7 e 8*) mostram os valores de F das regressões, todos significativos ao nível de 1%. Na *Tabela 9*, são apresentadas as condições experimentais ótimas (ou seja, de máxima perda de massa) previstas para cada tratamento, e as correspondentes perdas de massa previstas para tais condições.

TABELA 6. Análise de variância para o tratamento A.

FONTES DE VARIÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	$F_{\text{CALC.}}$	$F_{1\%}$
regressão	307,79	5	61,59	13,97	4,86
resíduos	57,30	13	4,41		
falta de ajuste	55,53	9	6,17		
erro puro	1,77	4	0,44		
total	365,09	18			

TABELA 7. Análise de variância para o tratamento B.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA QUA-DRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUA-DRÁTICA	F _{CALC.}	F _{1%}
regressão	200,64	7	28,66	27,29	4,89
resíduos	11,54	11	1,05		
falta de ajuste	9,28	7	1,33		
erro puro	2,26	4	0,56		
total	212,18	18			

TABELA 8. Análise de variância para o tratamento C.

FONTE DE VARIACÃO	SOMA QUA-DRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUA-DRÁTICA	F _{CALC.}	F _{1%}
regressão	130,33	5	26,07	13,10	4,86
resíduos	25,89	13	1,99		
falta de ajuste	24,91	9	2,77		
erro puro	0,98	4	0,24		
total	156,22	18			

TABELA 9. Condições experimentais ótimas previstas para cada tratamento.

TRATAMENTOS	CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS			
	TEMPO (minutos)	TEMPERATURA (°C)	CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO (°Brix)	PERDA DE MASSA PREDITA
A	220 - 260	42 - 50	66 - 69	≥ 30%
B	220 - 270	42 - 47	66 - 69	≥ 57%
C	252 - 300	44,5 - 50	67,5 - 70	≥ 54%

Uma observação interessante diz respeito à redução, com o tempo, nas taxas de perda de massa do material, até um ponto em que esta taxa se torna nula e, a partir daí, toma valores negativos, o que significa que o material volta a ganhar massa. Isso é explicado pelo fato de que taxas de perda de umidade diminuem mais drasticamente com o tempo, em relação à incorporação de solutos. Esse resultado é coerente com o que descreveu RAOULT-WACK [18]; entretanto, outros trabalhos [6, 10, 19] descreveram um comportamento diferente, em que, com o tempo, a perda de massa tenderia a um valor constante, não decrescente. Pode-se constatar, a partir da observação da *Figura 1* e dos dados da *Tabela 9*, que os tratamentos referentes a pedaços de abacaxi revestidos (B e C)

apresentaram resultados nitidamente melhores que os preditos para o material não revestido, já que as coberturas promoveram maior perda de massa, o que resulta da maior perda de umidade e menor incorporação de solutos (*Tabelas 3 a 5*). Essa observação está parcialmente em concordância com os resultados obtidos por LENART & DABROWSKA [14] com maçãs revestidas com amido e pectina; registrou-se redução na incorporação de solutos, mas não alteração da perda de umidade, em consequência do uso das coberturas. Quando se comparam entre si os tratamentos B e C, percebe-se que a cobertura de alginato foi mais eficiente que a de pectina, tendo permitido, dentro da faixa ótima, que o material atingisse uma perda de massa superior a 57%.

A Metodologia de Superfície de Resposta constitui-se de duas etapas: modelagem e deslocamento das faixas experimentais em direção ao "ótimo" [5]. Neste caso, o ideal seria continuar o experimento, a partir dos devidos deslocamentos das faixas experimentais. Entretanto, duas limitações existiram para que isso fosse realizado:

A concentrações superiores a 70°Brix, haveria precipitação de sacarose da solução, sob as condições utilizadas, como foi constatado em testes preliminares;

A temperaturas acima de 50°C, há o risco de escurecimento e de deterioração do sabor [17, 20, 21].

O teste F foi utilizado sobre os resultados experimentais dos três tratamentos, obtendo-se os valores apresentados na *Tabela 10*. Apenas o valor de F correspondente a atividade de água final não foi menor que o valor tabelado, o que significa dizer que, para a atividade de água, não houve diferença estatística entre os tratamentos, considerando o nível de 5% de erro. Para as demais respostas, o valor de F calculado foi maior que o tabelado, fazendo-se necessária a realização do teste de Tukey para determinar as diferenças entre os tratamentos (*Tabela 11*).

TABELA 10. Valores do teste F para as variáveis dependentes e a probabilidade de erro associada.

resposta	F	p
Perda de massa (%)	317,43*	< 10 ⁻⁷
Perda de umidade (%)	50,47 *	< 10 ⁻⁷
Ganho de sólidos (%)	123,55*	< 10 ⁻⁷
Relação de performance	169,58*	< 10 ⁻⁶
Aumento do teor de sólidos solúveis (%)	3,69 *	0,032
Atividade de água final	2,90	0,064

* Valores significativos a p<0,05.

TABELA 11. Médias \pm erro padrão das variáveis dependentes, para os tratamentos: A (abacaxi não revestido), B (abacaxi revestido com alginato) e C (abacaxi revestido com pectina). Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

VARIÁVEL	A	B	C
Perda de massa (%)	26,69 \pm 1,03 c	54,13 \pm 0,79 a	51,19 \pm 0,68 b
Perda de umidade (%)	44,46 \pm 1,61 b	60,87 \pm 1,15 a	59,26 \pm 0,96 a
Incorporação de sólidos (%)	17,66 \pm 0,74 a	6,74 \pm 0,47 b	7,96 \pm 0,32 b
Relação de performance	2,54 \pm 0,05 c	9,56 \pm 0,43 a	7,57 \pm 0,18 b
Aumento no teor de sólidos solúveis (%)	222,40 \pm 7,74 a	198,52 \pm 10,46 ab	189,41 \pm 8,18 b
Atividade de água final (*)	0,95 \pm 0,002	0,95 \pm 0,002	0,96 \pm 0,002

(*) Não foi realizado o teste de Tukey, já que o teste F indicou não haver diferença entre os tratamentos.

A maior perda percentual de massa foi apresentada pelo tratamento B, seguido por C. Observa-se que o aumento na perda de massa do material foi de 103% pela utilização de cobertura de alginato, e de 92% pela utilização de cobertura de pectina; ou seja, a perda de massa do material revestido foi cerca de duas vezes superior à do material não coberto. Esses resultados confirmam a efetividade das coberturas em aumentar a perda de massa do material desidratado, e reforçam a conclusão de LARANJEIRA [12], de que as condições ótimas estariam no tratamento correspondente ao material revestido com alginato.

Quanto à perda de umidade, os tratamentos com cobertura não diferiram entre si, mas foram significativamente superiores ao tratamento sem revestimento, o que mostra que as coberturas são igualmente efetivas em desidratar o material, tendo promovido um aumento de cerca de 30% nessa resposta. O aumento na perda de umidade em função da incorporação de coberturas está de acordo com o resultado obtido por WONG *et alii* [22] quando utilizou o processo em azeitonas.

Ambas as coberturas foram igualmente eficientes em reduzir a incorporação de sólidos pelo material, tendo reduzido essa resposta para menos de 50% da obtida para o material não revestido. Esse foi um dos resultados mais importantes, já que a principal motivação inicial à utilização dessas coberturas residia na expectativa de que elas reduzissem consideravelmente a incorporação de sólidos pelo material. CAMIRAND *et alii* [7] e WONG *et alii* [22] já haviam mencionado isso como uma das vantagens da adição de coberturas previamente

ao processo.

A relação de performance (perda de umidade/incorporação de sólidos) dos tratamentos B e C foi superior à do tratamento A. Além disso, a do tratamento B foi superior à do tratamento C, tendo sido aumentada em 276% pela utilização de cobertura de alginato e em 198% pela utilização de pectina, o que novamente confirma o melhor desempenho da cobertura de alginato. O aumento na relação de performance como consequência da utilização de coberturas já havia sido obtido por CAMIRAND *et alii* [7] e por WONG *et alii* [22].

Os resultados referentes a transferências de massa (perda de água e incorporação de sólidos) podem ser atribuídos a duas características das coberturas: sua alta permeabilidade a água e baixa permeabilidade ao soluto (sacarose), o que permitiu que o equilíbrio osmótico fosse atingido principalmente por meio da saída de água [11].

As variações no teor de sólidos solúveis dos tratamentos em que se usaram coberturas foram estatisticamente iguais. No entanto, apenas o tratamento C apresentou um valor significativamente inferior ao apresentado pelo tratamento A, o que não se observou para o tratamento B. Esperava-se que B e C apresentassem um valor dessa resposta inferior ao de A; entretanto, o efeito concentrador da alta perda de umidade pode ser a explicação para o resultado encontrado para o tratamento B.

Em relação à atividade de água, os valores encontrados para os tratamentos foram estatisticamente iguais. Esse resultado mostrou que, se, por um lado, a baixa incorporação de sólidos tenderia a elevar a atividade de água final dos tratamentos B e C em relação ao tratamento A, por outro lado, a alta perda de umidade de B e C tiveram o efeito contrário; em conjunto, esses dois efeitos conjuntos mantiveram a atividade de água em valores iguais aos do tratamento A. Esse resultado é importante, já que a atividade de água é um dos fatores mais importantes de conservação de alimentos. A redução de atividade de água nos níveis aqui observados seria insuficiente para, por si só, inibir o crescimento microbiano à temperatura ambiente [2]; apenas a sua combinação com os outros fatores de conservação aplicados (uso de conservantes químicos e redução do pH) pode promover uma estabilidade razoável do produto.

Alguns trabalhos anteriores compararam resultados obtidos com alimentos revestidos previamente à desidratação osmótica com os obtidos a partir de alimentos não cobertos; entretanto, eles não forneceram dados suficientes para que seus resultados fossem quantitativamente comparados com os obtidos neste trabalho. CAMIRAND *et alii* [8] compararam a perda de massa após desidratação de vários tipos de alimentos, entre a forma não revestida e a revestida com uma cobertura à base de pectina de baixa metoxilação. Para produtos cárneos, os resultados indicaram um grande aumento na perda de

massa como consequência da adição de coberturas. Entretanto, para frutas, os autores registraram perdas de massa praticamente iguais entre as formas revestida e não revestida; contudo, a perda de massa foi medida tomando-se por base a massa inicial das frutas não cobertas, sem levar em consideração a incorporação de massa promovida pela adição de cobertura. LEWICKI *et alii* [15] estudaram a influência de um revestimento à base de pectina de baixa metoxilação sobre a desidratação osmótica de maçãs; a perda de massa foi acompanhada periodicamente, até decorridas 8 horas do processo. Foram registradas perdas de massa inferiores para as amostras revestidas, em relação às não revestidas; entretanto, esses autores também não levaram em consideração a incorporação de massa promovida pelo revestimento. Em ambos os trabalhos citados [8, 15], encontraram-se comparações de valores de RP de alimentos tratados osmoticamente, entre as formas não coberta e coberta com pectina; foram encontrados valores de RP maiores nas formas cobertas dos alimentos estudados do que nas respectivas formas não cobertas.

Portanto, este trabalho representou um avanço em relação aos anteriormente publicados, no sentido de comparar estatisticamente um produto nas formas revestida e não revestida, quanto às transferências de massa durante o processo de desidratação osmótica; dessa forma, foi possível concluir que as coberturas comestíveis utilizadas foram efetivas em aumentar a perda de umidade e reduzir a incorporação de sólidos, aumentando assim a relação de performance.

As contagens de bolores e leveduras, feitas sobre o produto obtido sob condições otimizadas, foram realizadas ao longo de um período de 60 dias de estocagem, e foram inferiores a 10UFC/g. Portanto, pode-se concluir que o produto otimizado apresentou vida-de-prateleira de **pelo menos** 60 dias à temperatura constante de 30° C, já que não foram feitas avaliações subsequentes.

Os resultados obtidos da avaliação sensorial estão apresentados em histograma (*Figura 2*). As médias ponderadas das respostas, para cada atributo julgado, foram as seguintes (em escala hedônica de 9 pontos): aparência: 6,90; aroma: 6,83; sabor: 7,33; textura: 7,37. Pode-se concluir que o produto teve boa aceitação. Entre as observações destacadas pelos provadores, a mais freqüente foi com relação à manutenção das características sensoriais da fruta *in natura*.

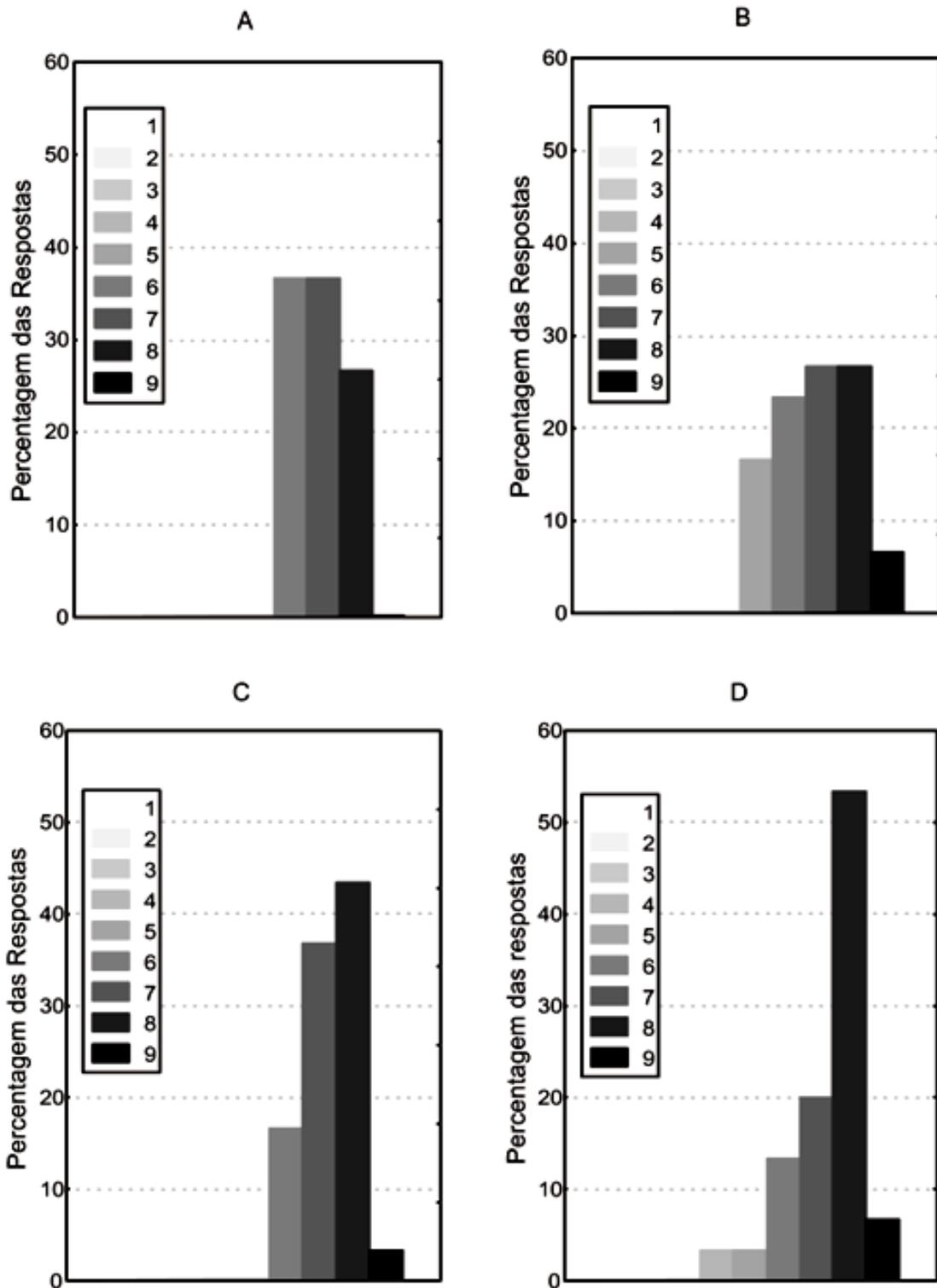


FIGURA 2. Histogramas de distribuição das respostas sensoriais de aceitação, em escala hedônica de 9 pontos. A: aparência; B: aroma; C: sabor e D: textura.

4 – CONCLUSÕES

- Para o processo de desidratação osmótica de abacaxi, foram determinadas como condições ótimas, tomando-se por base a maximização da perda de massa: abacaxi revestido com cobertura de alginato de cálcio, desidratado

por 220-270 minutos, em solução de sacarose a 66° 69° Brix, a uma temperatura dentro da faixa de 42° a 47° C.

- As coberturas utilizadas no processo reduziram a incorporação de solutos, ao mesmo tempo em que aumentaram a perda de água pela fruta, o que resultou em considerável aumento na perda de massa do material desidratado.
- Os modelos matemáticos obtidos mostraram-se adequados para representação do processo, dentro das faixas experimentais utilizadas.
- A utilização de coberturas comestíveis à base de alginato e pectina de baixa metoxilação previamente à desidratação osmótica de abacaxi afetou significativamente as transferências de massa inerentes ao processo, aumentando a perda de umidade em cerca de 30% e reduzindo a incorporação de sólidos em cerca de 50%.
- A relação de performance (perda de umidade: incorporação de sólidos) foi positivamente influenciada pela utilização de coberturas, sendo que a maior relação de performance foi obtida do tratamento em que se utilizou alginato.
- Não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação à atividade de água final do produto, ou seja, nenhuma das coberturas utilizadas afetou essa resposta.
- Produto otimizado apresentou boa estabilidade microbiológica, tendo apresentado uma vida-de-prateleira de pelo menos 60 dias à temperatura de 30° C.
- Produto foi bem aceito sensorialmente, sendo que vários provadores mencionaram sua semelhança sensorial com a fruta fresca, resultado esse esperado, já que os fatores de preservação foram utilizados em baixos níveis, permitindo que os danos sensoriais fossem reduzidos em relação a produtos obtidos por processos convencionais.
- Processo estudado é uma boa alternativa para conservação do abacaxi, sendo tecnicamente simples, de custo relativamente baixo, além de ser um produto de conveniência, já que não exige do consumidor nenhum tipo de preparo.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AGUILERA, J.M.; CHIRIFE, J. Combined methods for the preservation of foods in Latin America and the CYTED-D project. **Journal of Food Engeneering**, London, v. 22, n. 1-4, p. 433-444, 1994.
- [2] ALZAMORA, S.M. Fundamentos del método de conservación por factores combinados. In: MAUPOEY, P.F.; GRAU, A.A.; BOIX, A.C., eds. **Aplicacion de factores combinados en la conservacion de alimentos**. Valencia:

- Universidade Politecnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, 1994. p. 1-26.
- [3] ALZAMORA, S.M.; TAPIA, M.S.; ARGÁIZ, A; WELLI, J. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. **Food Research International**, London, v. 26, n. 2, p. 125-130, 1993.
- [4] B.A.M. **Bacteriological analytical manual**. 6. ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1984.
- [5] BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Programas computacionais de planejamento experimental e otimização. In: BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas: Editora da Universidade Estadual de Campinas, 1995. p. 239-271.
- [6] BERISTAIN, C.I.; AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H.S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food Science and Technology**, Glasgow, v. 25, n. 5, p. 576-582, 1990.
- [7] CAMIRAND, W.; Krochta, J.M.; Pavlath, A.E.; WONG, D.; Cole, M.E. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potential use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymers**, Great Yarmouth, v. 17, n. 1, p. 39-49, 1992.
- [8] CAMIRAND, W.M.; FORREY, R.R.; Popper, K.; BOYLE, F.P.; Stanley, W.L. Dehydration of membrane-coated foods by osmosis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 19, p. 472-473, 1968.
- [9] CHIRIFE, J.; FAVETTO, G.J. Some physico-chemical basis of food preservation by combined methods. **Food Research International**, London, v. 25, n. 5, p. 389-396, 1992.
- [10] FALCONE, M.A.; SUAZO, C.A.T. Desidratação osmótica do abacaxi (*Ananas comosus*, (L.) Merrill). Parte I: Influência da temperatura e concentração do xarope sobre a velocidade de secagem. **Boletim do SBCTA**, Campinas, v. 22, n. ½, p. 17-335, 1988.
- [11] KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, Chicago, v. 40, n. 12, p. 47-59, 1986.
- [12] LARANJEIRA, H.C.A. Otimização do processo de desidratação osmótica de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) para aplicação à tecnologia de métodos combinados. Campinas, 1997. 101p. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- [13] LEISTNER, L. Food preservation by combined methods. **Food Research International**, London, v. 25, n. 2, p. 151-158, 1992.
- [14] LENART, A.; DABROWSKA, R. Osmotic dehydration of apples with polysaccharide coatings. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 6, n. 4, p. 105-112, 1997.

- [15] LEWICKI, P.P.; LENART, A.; PAKULA, W. Influence of artificial semi-permeable membranes on the process of osmotic dehydration of apples. **Annals of Warsaw Agricultural University - SGGW-AR, Food Technology and Nutrition**, v. 16, p. 17-24, 1984.
- [16] MONTENEGRO, H.W.S.; CANTARELLI, P.R. **Abacaxi: Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. Série Extensão Agroindustrial, vol. 1. Piracicaba: FEALQ (Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz), 1982. 48p.
- [17] PONTING, J.D.; Watters, G.G.; FORREY, R.R.; Jackson, R.; Stanley, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, Chicago, v. 20, n. 10, p. 1365-1368, 1966.
- [18] RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 5, n. 8, p. 255-260, 1994.
- [19] RASTOGI, N.K.; RAGHAVARAO, K.S.M.S. Water and solute diffusion coefficients of carrot as a function of temperature and concentration during osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 34, n. 4, p. 429-440, 1997.
- [20] VIAL, C.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of kiwi fruits: influence of process variables on the color and ascorbic acid content. **Sciences des Aliments**, Paris, v. 11, n. 1, p. 63-84, 1991.
- [21] 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**, Mysore, v. 27, n. 5, p. 307-308, 1990.
- [22] WONG, D.W.S.; CAMIRAND, W.M.; PAVLATH, A.E. Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. In: KROCHTA, J.M.; BALDWIN, E.A.; NISPEROS-CARRIEDO, M.O., eds. **Edible coatings and films to improve food quality**. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc., 1994. p. 65-88.
- [23] ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1996.

¹ Recebido para publicação em 20/10/99. Aceito para publicação em 17/03/00.

² DTA, FEA, UNICAMP. C.P. 6121 – CEP 13083-970 – Campinas-SP.
ette@obelix.unicamp.br

³ EMBRAPA – CNPTIA – C.P. 6041 – CEP 13083-970 – Campinas-SP.
jardine@cnptia.embrapa.br

* A quem a correspondência deve ser enviada.