

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO
OSMÓTICA DE ABACAXI (*Ananas comosus* (L.)
Merril) PARA APLICAÇÃO À TECNOLOGIA DE
MÉTODOS COMBINADOS

PARECER

Henriette Cordeiro de Azeredo Lara
Engenheira de Alimentos

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por HENRIETTE CORDEIRO DE AZEREDO LARANJEIRA e aprovada pela Comissão Julgadora em 14.02.97.

Prof. Dr. José Gilberto Jardine
Orientador

Campinas, 14 de fevereiro de 1997.


Prof. Dr. JOSÉ GILBERTO JARDINE
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração Tecnologia de Alimentos.

CAMPINAS, SP
1997

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	T/UNICAMP
	L328
V.	
TOMBO	30109
PREC.	2811.97
C	☐
D	☒
PREC.	R\$ 11,00
DATA	13-05-97
N.º CPD	

CM-0009347-4

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

L32o

Laranjeira, Henriette Cordeiro de Azeredo

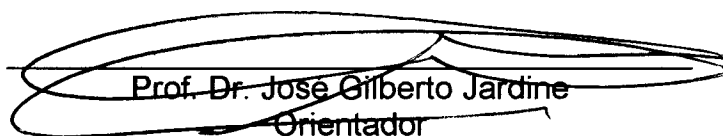
Otimização do processo de desidratação osmótica de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill) para aplicação à tecnologia de métodos combinados / Henriette Cordeiro de Azeredo Laranjeira. -- Campinas, SP: [s.n.], 1997.

Orientador: José Gilberto Jardine

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Desidratação. 2.Abacaxi. 3.Superfícies de resposta - metodologia. I.Jardine, José Gilberto. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

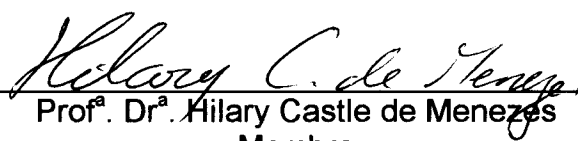
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Gilberto Jardine
Orientador



Prof. Dr. Nelson Horacio Pezoa García
Membro



Profª. Drª. Hilary Castle de Menezes
Membro

Profª. Drª. Marisa Hoelz Jackix
Membro

"Renova-te.

Renasce em ti mesmo.

Multiplica os teus olhos, para verem mais.

Multiplica os teus braços, para semeares tudo."

(Cecília Meireles)

Dedico ao Chico e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. José Gilberto Jardine, pela orientação, apoio e estímulo durante todas as etapas da realização deste trabalho.

Ao pessoal dos laboratórios de Tecnologia Geral e de Tecnologia de Frutas, Hortaliças e Produtos Açucarados do Departamento de Tecnologia de Alimentos da FEA - UNICAMP, pela receptividade e auxílio técnico.

Aos amigos da pós-graduação da FEA, pelo companheirismo e amizade.

A Lília e Henelyta, pela ajuda no delineamento experimental.

Aos componentes da banca examinadora, pelas sugestões e comentários.

Aos funcionários da FEA, pela prestatividade.

À empresa *Danisco Ingredients Brasil Ltda.*, pelas amostras fornecidas.

À minha mãe, ao Gino, aos meus irmãos e a todos os amigos que, à distância, me apoiaram e torceram por mim.

Ao Chico, pelo carinho sempre presente, pelo apoio, e por acreditar em mim e neste trabalho.

A todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABELAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMO	iv
SUMMARY	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA	3
2.1.1. Fundamentos do processo	3
2.1.2. Variáveis do processo	5
2.1.2.1. Tipo de agente osmótico	5
2.1.2.2. Temperatura	7
2.1.2.3. Tempo de processo	9
2.1.2.4. Concentração da solução osmótica	10
2.1.2.5. Agitação	11
2.1.2.6. Fatores que influenciam a permeabilidade dos tecidos	11
2.1.2.7. Tamanho e formato dos pedaços de fruta	12
2.1.3. Otimização do processo	12
2.2. A TECNOLOGIA DE MÉTODOS COMBINADOS (TMC)	13
2.2.1. Fundamentos	13
2.2.2. Exemplos de aplicações da TMC	19

2.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE ATIVIDADE DE ÁGUA	22
2.3.1. Atividade de água e crescimento microbiano	23
2.3.2. Atividade de água e reações químicas.....	24
2.4. UTILIZAÇÃO DE COBERTURAS COMESTÍVEIS PREVIAMENTE À DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA.....	25
2.4.1. Alginato	30
2.4.2. Pectina de baixa metoxilação	32
2.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE CONSERVANTES QUÍMICOS.....	33
2.6. ABACAXI COMO MATÉRIA-PRIMA	34
3. MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1. MATERIAL E EQUIPAMENTO	36
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	38
3.2.1. Definição dos parâmetros do processo	38
3.2.2. Delineamento propriamente dito	42
3.3. PROCESSAMENTO	46
3.4. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS	47
3.4.1. Peso total da amostra.....	47
3.4.2. Atividade de água.....	48
3.4.3. Sólidos solúveis.....	48
3.4.4. Sólidos totais	48
3.4.5. Açúcares totais e redutores.....	49
3.4.6. pH.....	49
3.4.7. Acidez titulável	50

3.4.8. Sorbato de potássio	50
3.4.9. SO ₂	52
3.5. OTIMIZAÇÃO	52
3.6. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO OTIMIZADO.....	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1. RESPOSTAS EXPERIMENTAIS	54
4.2. SUPERFÍCIES DE RESPOSTA.....	54
4.3. EQUAÇÕES REPRESENTATIVAS DAS RESPOSTAS	74
4.3.1. Equações representativas das respostas referentes ao bloco A	74
4.3.2. Equações representativas das respostas referentes ao bloco B	76
4.3.3. Equações representativas das respostas referentes ao bloco C	78
4.4. ANÁLISE DOS MODELOS E OTIMIZAÇÃO.....	79
4.5. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO OTIMIZADO.....	82
4.5.1. Respostas observadas <i>versus</i> respostas preditas	82
4.5.2. Caracterização física e química	83
4.5.3. Avaliação da estabilidade microbiológica	84
4.5.4. Avaliação sensorial	85
5. CONCLUSÕES	87
6. BIBLIOGRAFIA	89
 ANEXO	 100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Níveis codificados dos fatores para os ensaios	44
Tabela 3.2 - Níveis decodificados dos fatores.....	45
Tabela 4.1 - Respostas obtidas a partir do bloco A (ensaios realizados com pedaços não revestidos de abacaxi)	56
Tabela 4.2 - Respostas obtidas a partir do bloco B (ensaios realizados com pedaços de abacaxi revestidos com alginato).....	57
Tabela 4.3 - Respostas obtidas a partir do bloco C (ensaios realizados com pedaços de abacaxi revestidos com pectina).....	58
Tabela 4.4 - Respostas previstas para o produto otimizado e respostas observadas experimentalmente	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estrutura química dos monômeros constituintes do ácido algínico.....	30
Figura 2.2 - Estrutura química da pectina	32
Figura 4.1 - Perda percentual de peso de pedaços de abacaxi não revestidos.....	59
Figura 4.2 - Perda percentual de umidade de pedaços de abacaxi não revestidos.....	60
Figura 4.3 - Incorporação percentual de sólidos por pedaços de abacaxi não revestidos.....	61
Figura 4.4 - Variação percentual no Brix de pedaços de abacaxi não revestidos.....	62
Figura 4.5 - Atividade de água final de pedaços de abacaxi não revestidos	63
Figura 4.6 - Perda percentual de peso de pedaços de abacaxi revestidos com alginato.....	64
Figura 4.7 - Perda percentual de umidade de pedaços de abacaxi revestidos com alginato.....	65
Figura 4.8 - Incorporação percentual de sólidos por pedaços de abacaxi revestidos com alginato.....	66
Figura 4.9 - Variação percentual no Brix de pedaços de abacaxi revestidos com alginato.....	67
Figura 4.10 - Atividade de água final de pedaços de abacaxi revestidos com alginato.....	68
Figura 4.11 - Perda percentual de peso de pedaços de abacaxi revestidos com pectina.....	69
Figura 4.12 - Perda percentual de umidade de pedaços de abacaxi revestidos com pectina.....	70
Figura 4.13 - Incorporação percentual de sólidos por pedaços de abacaxi revestidos com pectina.....	71

Figura 4.14 - Variação percentual no Brix de pedaços de abacaxi revestidos com pectina.....	72
Figura 4.15 - Atividade de água final de pedaços de abacaxi revestidos com pectina.....	73
Figura 4.16 - Histogramas de distribuição das respostas sensoriais de aceitação, em escala hedônica de 9 pontos	86

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi a otimização do processo de desidratação osmótica em abacaxi, de acordo com dois critérios simultâneos: maximização da perda de água e minimização da incorporação de sólidos. O processo de desidratação osmótica foi aplicado à Tecnologia de Métodos Combinados, em que a atividade de água foi combinada a dois outros fatores (pH e uso de conservantes). Esses fatores, aplicados em baixos níveis, e atuando sinergicamente, foram combinados com o objetivo de se obter um produto similar à fruta não processada, e com boa estabilidade microbiológica à temperatura ambiente. O processo envolveu as etapas principais: branqueamento da fruta em solução aquosa de metabissulfito de sódio a 500 ppm; em alguns casos, revestimento da fruta com coberturas comestíveis à base de alginato ou pectina de baixa metoxilação; e a desidratação osmótica, conduzida sob agitação, em xarope de sacarose contendo 2000 ppm de sorbato de potássio e 1% de ácido cítrico. As condições ótimas do processo, determinadas pela utilização da Metodologia de Superfície de Resposta, foram as seguintes: desidratação da fruta revestida com cobertura de alginato, à temperatura de 44,5°C, em xarope de sacarose a 68,5°Brix, por 257 minutos. Sob tais condições, o produto apresentou as seguintes características: atividade de água = 0,948; pH = 3,7; acidez titulável = 1,09%; 57,73% de umidade; 36,10% de sólidos solúveis; 35,71% de açúcares totais; 22,42% de açúcares redutores; 946 ppm de sorbato de potássio e 53 ppm de SO₂. O produto se manteve microbiologicamente estável por pelo menos 2 meses à temperatura de estocagem de 30°C, e foi bem aceito sensorialmente.

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

SUMMARY

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 designed for application to Combined Methods Technology, in which two other factors (pH and chemical preservatives) were combined with water activity, all being applied at low levels, in order to get a shelf-stable product which resembles the non-processed fruit. The process involved the following main steps: blanching fruit pieces in distilled water containing sodium metabisulfite; in some cases, coating them with edible coatings made from alginate or low-methoxyl pectin; and osmotic dehydration, under stirring, in sucrose syrup containing potassium sorbate and citric acid. The optimum conditions, determined using Response Surface Methodology, were the following: dehydration of fruit pieces coated with alginate at 44.5°C in sucrose syrup at 68.5°Brix for 257 minutes. Under such conditions, the product presented the following characteristics: water activity = 0.948; pH = 3.7; titratable acidity = 1.09%; 57.73% moisture; 36.10% soluble solids; 35.71% total sugars; 22.42% reducing sugars; 946 ppm potassium sorbate and 53 ppm SO₂. Microbiological analysis showed its stability for at least 2 months at 30°C. A sensorial evaluation indicated good acceptability of the product.

Key-words: osmotic dehydration; pineapple; combined methods; optimization; response surface methodology.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa na área de desidratação de frutas tem sido direcionada, nas últimas décadas, na busca de métodos que, comparados com os processos convencionais de secagem, proporcionem produtos com poucas alterações em suas características sensoriais e nutritivas.

As frutas não processadas são bastante perecíveis; suas perdas pós-colheita, nos países menos desenvolvidos, ultrapassam 20% (AGUILERA & CHIRIFE, 1994). Por isso, torna-se interessante a obtenção de um produto que tenha, por um lado, uma vida de prateleira prolongada em relação à fruta não processada; e, por outro, que guarde uma forte similaridade em relação à fruta fresca. Este último requerimento, se satisfeito, aumenta a probabilidade de aceitação do produto por parte do consumidor, principalmente tendo-se em vista a forte tendência atual a uma demanda por produtos de frutas o mais similares quanto possível a frutas na forma não processada.

Nesse sentido, tem-se dado bastante atenção a pesquisas na área da chamada Tecnologia de Métodos Combinados, que se baseia na combinação de vários fatores de conservação, todos aplicados em baixos níveis, atuando sinergicamente para aumentar a estabilidade do alimento, procurando ao mesmo tempo manter ao máximo suas propriedades originais. Entre os vários fatores de conservação possíveis de serem combinados, podem-se destacar: a atividade de água, o pH e o uso de conservantes químicos, importantes fatores limitantes ao crescimento microbiano.

As técnicas envolvendo métodos combinados utilizam com frequência a desidratação osmótica para redução da atividade de água. Este processo consiste em remoção parcial da água do alimento por efeito de gradientes osmóticos entre o produto e uma solução hiperconcentrada de um soluto (agente osmótico) sensorialmente compatível com o alimento.

Uma desvantagem da desidratação osmótica é a incorporação de solutos da solução osmótica para o alimento, o que compromete muitas vezes sua qualidade sensorial, principalmente quando se busca um produto similar à fruta no estado fresco. Uma forma de se reduzir tal incorporação se faz através do revestimento do alimento com uma cobertura comestível com alta afinidade pela água e baixa afinidade pelo agente osmótico, de forma a constituir uma barreira à entrada de solutos, permitindo ao mesmo tempo um fluxo relativamente livre de água para o exterior do alimento.

O objetivo deste trabalho foi otimizar o processo de desidratação osmótica em abacaxi, no sentido de, simultaneamente, 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 similar ao abacaxi fresco e com boa estabilidade à temperatura ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

2.1.1. Fundamentos do processo

A desidratação osmótica consiste basicamente na remoção de água do alimento por efeito da pressão osmótica, o que ocorre por imersão do produto em uma solução hipertônica de um soluto, o agente osmótico. No caso de frutas, os agentes osmóticos geralmente utilizados são açúcares, por sua compatibilidade sensorial com aquelas (PONTING *et alii*, 1966).

Em consequência dos gradientes de concentração de água e de solutos, existem dois principais fluxos em contra-corrente, através das paredes celulares: um fluxo de água a partir da fruta para o exterior - obviamente, o fluxo mais importante, responsável pelo aspecto de desidratação - e um fluxo de soluto da solução para a fruta (RAOULT-WACK, 1994).

* Além desses dois fluxos principais, ocorre também um terceiro, que consiste na saída de solutos (açúcares, ácidos orgânicos, sais, vitaminas etc.) das células da fruta. Quantitativamente, este terceiro fluxo tem pouca relevância; entretanto, ele pode ser de essencial importância no que se refere a características nutricionais e sensoriais (TORREGIANI, 1993; RAOULT-WACK, 1994).

Em relação à permeabilidade celular - propriedade de importância primária para a ocorrência das transferências de massa inerentes ao processo - as membranas celulares de frutas e hortaliças são compostas principalmente de células que permitem uma passagem mais livre de moléculas do solvente para fora da célula, enquanto a passagem das moléculas de soluto para o seu interior se dá a uma menor taxa; esse tipo de membrana se classifica como diferencialmente permeável, ao invés de

semipermeável. Em uma situação ideal, entretanto, haveria semipermeabilidade das membranas, que permitiriam apenas a saída de água do material, e não a incorporação de solutos da solução osmótica (BOLIN *et alii*, 1983; TORREGIANI, 1993).

* Geralmente a remoção de água é da ordem de 40 a 70% (p/p) em relação ao produto inicial, enquanto a incorporação de solutos é da ordem de 5 a 25% (p/p) em relação ao produto inicial, isso considerando-se o uso de uma solução osmótica de concentração 50-75% (RAOULT-WACK, 1994).

* Com o decorrer do processo, há um decréscimo na taxa de osmose; a transferência de massa se dá principalmente durante as primeiras duas horas; a partir daí, as taxas de transferência diminuem progressivamente até que a perda de água cessa. Por outro lado, a incorporação de solutos continua a aumentar; conseqüentemente, o alimento tende a voltar a ganhar peso, resultando em um produto rico em solutos (RAOULT-WACK, 1994). Por isso, a desidratação osmótica é geralmente conduzida até que se atinja uma redução de 30 a 50% no peso do material, não sendo geralmente válido estender-se o processo além disso (PONTING *et alii*, 1966; PONTING, 1973).

Pode-se obter economia de energia através do processo, já que este ocorre em meio líquido, o que promove bons coeficientes de transferência de calor e de massa, e porque a água é removida sem mudança de estado físico (RAOULT-WACK, 1994).

* A aplicação mais frequente da técnica de desidratação osmótica é como um processo de pré-desidratação, seguida por um processamento complementar (secagem com ar aquecido, secagem a vácuo, congelamento), podendo levar a redução do gasto de energia e a melhoria na qualidade sensorial do produto (RAOULT-WACK, 1994).

Ultimamente, a técnica tem sido também frequentemente utilizada em combinação com outros métodos de preservação, para a obtenção de produtos de alta

atividade de água ($a_w = 0,94-0,97$) e estáveis a temperatura ambiente, com a grande vantagem da similaridade sensorial às frutas *in natura* (AGUILERA & CHIRIFE, 1994; CHANES *et alii*, 1994; LÓPEZ-MALO *et alii*, 1994).

2.1.2. Variáveis do processo

2.1.2.1. Tipo de agente osmótico

* Quando se trata de frutas, o grupo de agentes mais adequado é o dos açúcares, especialmente a sacarose, devido à sua eficácia e ao sabor compatível (PONTING *et alii*, 1966).

O tipo de açúcar afeta a cinética do processo. O uso de solutos de alto peso molecular favorece a perda de água e reduz o ganho de sólidos (já que a migração é limitada pelo alto peso molecular), promovendo, em consequência, uma maior perda de peso do material; por outro lado, açúcares de baixo peso molecular (especialmente monossacarídeos) têm sua incorporação favorecida, devido à alta velocidade de penetração das moléculas (CONTRERAS & SMYRL, 1981; LERICI *et alii*, 1985). Assim, enquanto os solutos de menor peso molecular favorecem a incorporação de sólidos, os de maior peso molecular favorecem o efeito de desidratação propriamente dita (RAOULT-WACK, 1994).

BOLIN *et alii* (1983), comparando os efeitos de sacarose e xarope de frutose sobre o processo osmótico em maçã, mostraram que, após 5 horas de desidratação, as frutas tratadas com xarope de frutose absorveram 70% mais sólidos do que as tratadas com xarope de sacarose.

LENART & LEWICKI (1990) avaliaram os efeitos do tipo de agente osmótico sobre o teor de umidade de equilíbrio e sobre o tempo necessário para que este

equilíbrio fosse atingido. Os autores utilizaram como agentes osmóticos um monossacarídeo (glicose), um dissacarídeo (sacarose) e um polissacarídeo (amido). Observaram que o uso de agentes osmóticos de menor peso molecular promove uma redução no tempo do processo; por outro lado, quanto menor o peso molecular, maior o teor de umidade de equilíbrio, e menor a relação entre perda de umidade e incorporação de sólidos.

Segundo BOLIN *et alii* (1983), há diferença de efeito entre diferentes agentes osmóticos, à mesma concentração, no que se refere a atividade de água. Frutas tratadas com xarope de frutose atingem menor atividade de água que as tratadas com soluções de sacarose de mesma concentração; isso é em grande parte explicado, segundo os autores, pela alta taxa de penetração da frutose, em comparação com a sacarose. Isso, juntamente com o fato de a doçura da frutose ser maior que a da sacarose, explica o resultado sensorial por eles obtido, que indicou maior doçura de frutas tratadas com frutose em relação às tratadas com sacarose. Os autores concluíram que a sacarose, em termos gerais, é mais adequada ao processo, quando comparada à frutose, pelos seguintes motivos: (1) possibilidade de se reciclar um xarope de sacarose por no mínimo 5 vezes, sem prejuízos à qualidade do produto; (2) menor absorção de sacarose por unidade de tempo do que de frutose; (3) melhor resposta sensorial, em termos gerais, do que a apresentada por frutose.

ARGAIZ *et alii* (1994) usaram sólidos de xarope de milho com diferentes valores de dextrose equivalente (DE) - 10, 20, 30 e 40 - em desidratação osmótica de mamão, mostrando que, com o aumento de DE: (1) a capacidade de redução da atividade de água aumentou; (2) o ganho de sólidos aumentou; (3) a perda de água diminuiu; (4) a perda de peso diminuiu. Todas essas constatações confirmam os dados anteriormente citados. Pode-se ressaltar ainda que o aumento observado na capacidade de redução da atividade de água pode ser explicado apenas pelo aumento no ganho de sólidos, já que a perda de água se reduziu.

Os poliálcoois, como glicerol e sorbitol, também já foram utilizados como agentes osmóticos alternativos. ERBA *et alii* (1994) mostraram que a presença de sorbitol no xarope promove redução no ganho de sólidos e aumento na redução de peso. MAURO (1992) mostrou que o uso conjunto de glicerol e sacarose pode promover uma maior redução da atividade de água, em relação às atingidas pelo uso de soluções de açúcares apenas.

Entretanto, HORNER & ANAGNOSTOPOULOS (1973), comparando o efeito de glicerol e sacarose sobre o crescimento de fungos, observaram que tanto bolores quanto leveduras se mostraram mais tolerantes ao glicerol do que à sacarose.

Cloreto de sódio já foi também utilizado como agente para desidratação osmótica de frutas. HAWKES & FLINK (1978) observaram efeitos sinérgicos entre cloreto de sódio e sacarose sobre a cinética do processo. Os resultados desses últimos mostram muita eficácia do cloreto de sódio sobre a desidratação, devido à sua alta capacidade de redução da atividade de água; entretanto, a extensão de seu uso é limitada devido ao sabor salgado, indesejável no caso de frutas, o que foi confirmado pelos resultados sensoriais obtidos pelos autores.

2.1.2.2. Temperatura

A temperatura é um fator de importância primária sobre a cinética da desidratação osmótica, afetando-a diretamente; além do efeito direto sobre a cinética do processo, altas temperaturas diminuem a viscosidade da solução osmótica, aumentando assim o coeficiente de difusão de água (LENART & LEWICKI, 1990). A taxa de osmose aumenta bastante em função de aumentos na temperatura (PONTING *et alii*, 1966; CONTRERAS & SMYRL, 1981; GARROTE *et alii*, 1992). Entretanto, acima

de cerca de 49-50°C, há o risco de escurecimento e de deterioração do sabor (PONTING *et alii*, 1966; VIDEV *et alii*, 1990; VIAL *et alii*, 1991).

LENART & LEWICKI (1990) estudaram o efeito da temperatura, dentro da faixa de 30 a 90°C, sobre a cinética da desidratação osmótica de maçãs. Os autores registraram um aumento na taxa de remoção de água e de incorporação do agente osmótico, em consequência de aumentos na temperatura; entretanto, a relação entre água removida e solutos incorporados não se alterou com mudanças na temperatura do processo.

* BERISTAIN *et alii* (1990) desidrataram osmoticamente fatias transversais de abacaxi, em xarope de sacarose, com variações na temperatura do processo (30-50°C) e na concentração de sacarose (50-70°Brix). Os autores relataram que aumentos na temperatura do processo acarretaram aumentos nas taxas de transferência de massa, com consequente redução do tempo de equilíbrio osmótico. Eles registraram, como exemplo, os seguintes tempos para a ocorrência do equilíbrio osmótico (a 50°Brix): a 30°C, cerca de 360 minutos; a 40°C, cerca de 210 minutos; e a 50°C, cerca de 120 minutos. Nos três casos citados, a perda de umidade no equilíbrio osmótico foi de cerca de 30%.

LEVI *et alii* (1983) relataram que um tratamento osmótico a temperatura ambiente apresenta vantagens em relação ao tratamento a altas temperaturas: (1) durante o tratamento osmótico a quente, ocorre considerável impregnação dos tecidos da fruta com açúcar polimerizado, resultante de caramelização, o que não ocorre no tratamento osmótico a temperatura ambiente; (2) o tratamento osmótico a temperatura ambiente evita danos térmicos à estrutura da fruta, resultando em melhor qualidade (em termos de cor, sabor, aparência). Os autores, entretanto, destacaram as seguintes desvantagens esperadas do tratamento a temperatura ambiente: (1) necessidade de maior quantidade de açúcar (o que pode ser minimizado por recirculação do xarope);

(2) aumento do risco de contaminação microbiana (que pode ser reduzido por abaixamento do pH e por incorporação de agentes preservantes).

2.1.2.3. Tempo de processo

* Alguns autores mostraram uma relação direta do tempo de tratamento osmótico com a redução em peso do material (MOY *et alii*, 1978; HAWKES & FLINK, 1978; RAHMAN & LAMB, 1990; CONTRERAS & SMYRL, 1981; GARROTE *et alii*, 1992).

* TORREGIANI *et alii* (1987) desidrataram cerejas osmoticamente em um xarope composto por uma mistura de açúcares, à temperatura de 25°C, por diferentes tempos (2, 4 e 6 horas). As autoras observaram que os intercâmbios (água e açúcar) entre fruta e xarope ocorreram principalmente nas duas primeiras horas; as características químicas e sensoriais não apresentaram diferenças significativas a diferentes tempos de tratamento. Duas horas de tratamento osmótico foram suficientes para a obtenção de um produto que, posteriormente embalado a vácuo e pasteurizado, mostrou-se de boa qualidade e boa estabilidade química e sensorial a temperatura ambiente.

* FALCONE & SUAZO (1988) avaliaram a perda de peso, a perda de umidade e o ganho de sólidos em função do tempo, durante a desidratação osmótica de fatias de abacaxi, sob várias temperaturas (na faixa 50-80°C) e concentrações do xarope de sacarose (na faixa 50-80°Brix). Em todos os casos avaliados pelos autores, foi grande a redução nas taxas de transferência de massa, tanto de perda de umidade quanto de ganho de sólidos, com o decorrer do tempo.

* LENART & LEWICKI (1990) desidrataram maçãs com diferentes agentes osmóticos (glicose, sacarose ou amido), a temperaturas variáveis entre 30 e 90°C; observaram que, independentemente da substância osmótica utilizada, as

transferências de massa ocorreram principalmente nas primeiras 4 a 5 horas, após o que suas taxas se reduziram consideravelmente.

2.1.2.4. Concentração da solução osmótica

* A concentração do agente osmótico na solução se relaciona diretamente com a transferência de massa, especialmente com a perda de água (MOY *et alii*, 1978; HAWKES & FLINK, 1978; RAHMAN & LAMB, 1990; CONTRERAS & SMYRL, 1981).

RAOULT-WACK (1994) destacaram um interessante efeito dos gradientes de concentração sobre a predominância da transferência de massa; segundo os autores, quando a diferença inicial de concentração entre a solução e a fruta é de até 40%, predomina o ganho de solutos; quando essa diferença é superior a 40%, predomina a saída de água, ou seja, a desidratação propriamente dita.

* HENG *et alii* (1990), estudando o efeito da concentração do agente osmótico sobre as características de mamão desidratado osmoticamente, observaram que um aumento na concentração da solução, de 45 para 72°Brix, favoreceu a perda de água, sem alterar a incorporação do açúcar.

Confirmando, FERNANDEZ *et alii* (1995) observaram, utilizando também mamão como matéria-prima, que o coeficiente de difusão de sacarose não foi afetado pela concentração da solução osmótica (a faixa de concentrações utilizadas foi de 30-50°Brix).

✕ BERISTAIN *et alii* (1990), ao contrário, relataram, utilizando abacaxi como matéria-prima, que aumentos na concentração inicial de sacarose na solução osmótica não só promoveram aumentos na taxa de perda de umidade, mas também acarretaram

aumentos na taxa de incorporação de açúcar, em todas as condições por eles utilizadas.

2.1.2.5. Agitação

A taxa de desidratação osmótica é maior quando o processo é conduzido sob agitação (PONTING *et alii*, 1966; GARROTE *et alii*, 1992); no entanto, deve-se levar em consideração o custo relacionado a essa agitação (equipamento, energia), além da possibilidade de rompimento da fruta (PONTING *et alii*, 1966).

HAWKES & FLINK (1978) relataram que, à medida em que aumenta a concentração da solução osmótica e, conseqüentemente, sua viscosidade, aumenta o efeito da agitação sobre a difusividade da solução; logo, aumenta a necessidade de agitação.

2.1.2.6. Fatores que influenciam a permeabilidade dos tecidos

Alguns fatores, tais como superamadurecimento, pré-tratamento com substâncias químicas (especialmente SO₂), branqueamento ou congelamento, favorecem um aumento na permeabilidade e uma redução da seletividade (PONTING, 1973).

LEVI *et alii* (1983) estudaram os efeitos de branqueamento em água ou em solução de sacarose a 70% sobre mamão; observaram que amostras branqueadas apresentaram maiores taxas de desidratação que as não branqueadas; em consequência, reduziu-se o tempo de desidratação. Além disso, as amostras

branqueadas apresentaram melhor fixação de cor e maior vida útil, devido à inativação de enzimas deteriorativas e à redução na carga microbiana inicial.

* 2.1.2.7. Dimensões dos pedaços de fruta

A influência das dimensões dos pedaços de fruta sobre o rendimento do processo se deve principalmente à relação entre área de superfície e volume; quanto maior a área de superfície disponível para os intercâmbios osmóticos entre a fruta e a solução, maior é a taxa de desidratação; o ganho de sólidos, por sua vez, sofre pouca influência desse fator (GIANGIACOMO *et alii*, 1987).

* Segundo PONTING (1973), entretanto, o efeito das dimensões e do formato dos pedaços de fruta é de pouca importância para o processo.

2.1.3. Otimização do processo

QUINTERO-RAMOS *et alii* (1993), com o objetivo de otimizar o processo em maçãs, utilizaram um delineamento experimental composto rotacional central e analisaram os resultados através da Metodologia de Superfície de Resposta. As variáveis independentes (ou fatores) estudadas foram: concentração da solução osmótica de sacarose (em níveis dentro da faixa 33,2° - 66,8°Brix); temperatura (em níveis situados na faixa 18,2 - 52,0°C) e tempo (na faixa 4,67 - 11,40 horas). Os autores avaliaram como respostas a perda de peso (%), o teor final de umidade (%), a atividade de água, além de atributos sensoriais. Tomando por base uma superposição de gráficos correspondentes a alguns parâmetros, os autores concluíram serem ótimas as seguintes condições: 8 horas de processo a 23,41°C em xarope a 47,65°Brix,

condições estas que levaram a uma perda de peso na faixa de 28,9 - 32,5%, e um teor de umidade final na faixa de 65,2 - 73,0%.

VIJAYANAND *et alii* (1995) utilizaram o mesmo procedimento para delineamento e análise dos resultados, para otimização da desidratação osmótica de couve-flor. As variáveis independentes foram as seguintes: temperatura (dentro da faixa 40-90°C), concentração de NaCl (na faixa 5-25%), relação salmoura: couve-flor (2-4, peso/peso) e tempo de processo (5-180 minutos). As respostas avaliadas foram: perda de peso (%) e incorporação de NaCl (%); o critério principal considerado para determinação das condições ótimas foi a perda percentual de peso, que deveria ser maximizada, com a restrição de que a incorporação de NaCl não poderia ultrapassar 4%, o que corresponderia à máxima concentração aceitável sensorialmente. As condições ótimas foram atingidas sob as seguintes condições: temperatura, 80°C; relação entre massa de salmoura e massa de couve-flor, 2; concentração de NaCl na salmoura, 12%; e tempo, 5 minutos. Sob tais condições, atingiu-se cerca de 40% de remoção de água, e a incorporação de NaCl foi de 4,2%.

2.2. A TECNOLOGIA DE MÉTODOS COMBINADOS (TMC)

2.2.1. Fundamentos

A tendência atual das pesquisas envolvendo desidratação osmótica tem sido a de inserir este processo no contexto da Tecnologia de Métodos Combinados (ou, como é também chamada, Tecnologia de Obstáculos), baseada em tecnologias simples, fundamentadas na combinação de dois ou mais fatores antimicrobianos (obstáculos), para conservação de alimentos (ALZAMORA *et alii*, 1993).

A maioria dos métodos tradicionais de conservação se baseia em apenas um ou dois fatores para inibir o crescimento microbiano. Como exemplo, têm-se: a esterilização, que tem como mecanismo de conservação a aplicação de calor suficiente para inativar células vegetativas e esporos; os métodos clássicos de desidratação, que se baseiam em reduzir a atividade de água a valores suficientes para inibir o crescimento microbiano; e a conservação por acidificação, que reduz o pH do alimento a valores que impeçam crescimento de microrganismos patogênicos (ALZAMORA, 1994).

Ao contrário, a conservação de alimentos por fatores combinados baseia-se na inibição do desenvolvimento microbiano através da interação combinada de diferentes fatores, que atuam sinergicamente para controlar a população de microrganismos no alimento: atividade de água (a_w), pH, potencial redox (Eh), adição de conservantes químicos, redução da carga microbiana inicial (branqueamento), tratamento térmico brando (pasteurização), temperatura de estocagem, pressão, radiação, entre outros (LEISTNER, 1994; ALZAMORA, 1994).

Dentro deste contexto, existem os produtos de frutas a umidade intermediária, muito atrativos por sua melhor retenção do sabor e textura originais, quando comparados a frutas dessecadas; apresentam requerimentos mínimos de processamento e são estáveis a temperatura ambiente; não requerem refrigeração ou tratamento térmico, e podem ser consumidos sem reidratação (CHANNES *et alii*, 1994; AGUILERA *et alii*, 1993). Os produtos de frutas a umidade intermediária têm como base de sua estabilidade a redução da atividade de água a valores intermediários (na faixa de 0,60 a 0,90) para prevenir a deterioração bacteriana, mas seu processamento inclui frequentemente a adição de conservantes para inibir a deterioração por bolores e leveduras (ALZAMORA *et alii*, 1993). Segundo CHIRIFE & FAVETTO (1992), o limite superior da faixa de atividade de água dessa classe de produtos seria de 0,85, correspondendo ao valor máximo necessário para inibir o crescimento aeróbio de

Staphylococcus aureus, a bactéria patogênica mais tolerante no que se refere a atividade de água.

A utilização de produtos de frutas a umidade intermediária é limitada, entretanto, por aspectos sensoriais, devido à necessidade de altas concentrações de soluto ou de um alto grau de secagem para que se reduza a atividade de água a níveis microbiologicamente seguros (ALZAMORA *et alii*, 1993).

Dentro do contexto de métodos combinados, uma alternativa interessante aos produtos de frutas a umidade intermediária seriam os produtos a alta umidade (a_w superior a 0,90), nos quais o controle da atividade de água é combinado a outros fatores, tais como: leve tratamento térmico, redução do pH, redução do potencial redox, adição de agentes antimicrobianos permitidos por legislação, uso de flora microbiana competitiva, entre outros (CHIRIFE & FAVETTO, 1992; ALZAMORA *et alii*, 1993; AGUILERA & CHIRIFE, 1994; LEISTNER & GORRIS, 1995). O uso de revestimentos comestíveis foi também citado por LEISTNER & GORRIS (1995) como um dos mais recentes obstáculos ao crescimento de microrganismos; a explicação para isso pode estar no fato de que a presença de alguns revestimentos comestíveis, segundo NISPEROS & BALDWIN (1996), promove o desenvolvimento de um ambiente de atmosfera modificada no produto.

A inibição ao crescimento microbiano é obtida pelo efeito sinérgico dos fatores (ou obstáculos), sendo que nenhum deles individualmente inibiria eficientemente a ação de microrganismos deterioradores ou patógenos (LEISTNER, 1992). O conceito de métodos combinados seria, portanto, uma extensão do conceito de alimentos a umidade intermediária, em que uma menor redução na atividade de água seria compensada por outros fatores de preservação.

TAPIA *et alii* (1994) destacou que o uso conjunto de vários fatores de conservação permite: (a) potencializar a contribuição individual de cada fator, obtendo

um efeito sinérgico entre eles; (b) reduzir a severidade na aplicação de um processo, evitando a aplicação excessiva de um fator individual; (c) obter uma economia em termos de consumo energético.

AGUILERA & CHIRIFE (1994) apresentaram exemplos de limitações inerentes à utilização de um único obstáculo:

- Secagem por ar aquecido: prejuízos ao sabor, formato, cor e textura; reidratação lenta e incompleta.
- Liofilização: alto custo.
- Salga: alto teor de sal, com prejuízo ao sabor; textura pobre.
- Acidificação: prejuízo ao sabor, para se atingir um valor de pH microbiologicamente seguro.
- Conservação em baixas temperaturas: alto custo com energia; ausência de verdadeiras e adequadas "cadeias de frio".

Segundo LÓPEZ-MALO *et alii* (1994), o mecanismo da tecnologia de métodos combinados é a exposição simultânea das células microbianas a diferentes fatores de estresse, de forma que os mecanismos homeostáticos dos microrganismos sejam submetidos a uma sobrecarga; assim, as células passam a não dispor de energia suficiente para reprodução, podendo manter-se inativas ou acabando por morrer.

Dois exemplos de atuação individual de fatores de estresse podem ser destacados, para ilustrar os mecanismos fisiológicos desses fatores sobre os microrganismos:

- pH: Para viver em ambientes com valores diferentes de pH, os microrganismos consomem muita energia de forma a manter o seu pH interno dentro de limites estreitos; por exemplo, em um alimento ácido, ele consumirá energia para realizar um transporte ativo de prótons de seu interior, contra um fluxo passivo de prótons do ambiente para seu interior (LEISTNER & GORRIS, 1995). Cada espécie microbiana tem uma faixa ótima de pH citoplasmático, e cada qual exibe uma capacidade diferente de regulação deste pH, mostrando assim diferentes tolerâncias a mudanças no pH externo. A faixa de pH externo limite para o crescimento de bactérias é de 4,0-9,0; para leveduras, esta faixa é de 1,5 - 8,0; para bolores, 1,5 - 11,0 (ALZAMORA, 1994). Portanto, conclui-se que o fator pH isoladamente não seria capaz de inibir totalmente o crescimento microbiano, dentro de faixas que se pudessem utilizar em alimentos; entretanto, nota-se que é possível, através do fator pH, inibir o crescimento de bactérias.
- Pressão osmótica: As células precisam conservar seu turgor, mantendo a osmolaridade de seu citoplasma maior que a do ambiente; elas frequentemente realizam isso pela utilização dos chamados compostos osmoprotetores, como prolina e betaína (LEISTNER & GORRIS, 1995).

Em relação ao sinergismo de dois ou mais fatores em combinação, CHIRIFE (1993) destacou, para exemplificar, que uma redução no pH do produto tem os seguintes efeitos: (a) aumenta o limite mínimo de atividade de água para crescimento bacteriano; (b) reduz a resistência térmica de bactérias; (c) potencializa o efeito de conservantes químicos da classe dos ácidos orgânicos fracos (ácido sórbico, propiônico, benzóico). TROLLER (1980) citou o fato de que, à medida em que a atividade de água de um alimento é reduzida, os limites de pH dentro dos quais ocorre crescimento microbiano se estreitam.

Como os fatores de preservação em métodos combinados são aplicados em baixos níveis, as propriedades sensoriais originais do alimento (especialmente sabor e

textura) são modificadas em menor grau que no caso de alimentos produzidos por processos convencionais, mantendo-se, muitas vezes, bastante próximas às do correspondente produto no estado fresco (AGUILERA & CHIRIFE, 1994; ALZAMORA *et alii*, 1993; VEGA-MERCADO *et alii*, 1994). Segundo VEGA-MERCADO *et alii* (1994), uma das grandes razões que favorecem o consumo de alimentos com alta atividade de água, produzidos por métodos combinados, é o fato de que o consumidor gosta de mastigar um produto úmido e macio; a obtenção de uma textura agradável ao paladar muitas vezes requer altos valores de atividade de água. Essas características sensoriais inerentes aos produtos obtidos por TMC tendem a aumentar a aceitação do produto, devido à crescente demanda do consumidor por produtos similares aos frescos, especialmente quando se trata de produtos de frutas (CHANES *et alii*, 1994).

FOX & LONCIN (1982), para avaliar a estabilidade microbiológica de alimentos de alta umidade obtidos por métodos combinados, usaram caldo nutriente como produto modelo a ser avaliado. Foram utilizadas várias combinações entre os níveis dos fatores estudados, a saber: (1) 4 níveis de atividade de água, dentro da faixa de 0,96 a 0,93, além de um controle de $a_w = 1,0$; (2) 5 níveis de pH, abrangendo a faixa de 6,5 (representando produtos de baixa acidez) a 4,5 (produtos de alta acidez); (3) tratamento térmico a 95°C, por 5 períodos, entre 0 (controle) e 48 minutos; (4) 2 níveis de potencial redox, diferenciados pela incubação do produto sob condições anaeróbias ou aeróbias. A cada amostra do produto modelo previamente preparada, foram inoculadas populações microbianas selecionadas, para determinar se tais populações se estabilizariam quantitativamente com o tempo, ou se haveria um aumento populacional significativo. Os resultados indicaram que, para várias das combinações utilizadas, obtiveram-se produtos microbiologicamente estáveis por pelo menos 4 semanas à temperatura de 30°C. Segundo os autores, entre todos os parâmetros do processo, o tratamento térmico foi o fator de maior efeito individual sobre a estabilidade do produto; as amostras controle (sem tratamento térmico) não se mostraram estáveis durante o período de estocagem. O segundo efeito mais importante foi o pH, seguido pela atividade de água.

TAPIA *et alii* (1994) enfatizaram que uma combinação inteligente de obstáculos deve assegurar:

- Boa estabilidade microbiológica;
- Melhor conservação das características sensoriais e nutritivas do alimento;
- Melhoria no aspecto econômico de sua produção.

2.2.2. Exemplos de aplicações da TMC

TORREGIANI *et alii* (1987), utilizando cerejas como matéria-prima, combinaram os fatores: redução na atividade de água (por desidratação osmótica), redução no pH (através da adição de 1% de ácido ascórbico à solução osmótica), redução no potencial redox (embalagem a vácuo) e tratamento térmico (pasteurização); obtiveram, dessa forma, um produto de boa qualidade e boa estabilidade química e sensorial a temperatura ambiente (as autoras não registraram a temperatura), durante um período de estocagem de 6 meses.

AGUILERA e CHIRIFE (1994) citaram exemplos de produtos desenvolvidos por tecnologia de métodos combinados, iniciados pelo projeto CYTED-D; trata-se de um projeto multinacional envolvendo países iberoamericanos, visando o desenvolvimento de processos simples e baratos para conservação de alimentos, baseados na combinação de métodos. Um dos exemplos foi a obtenção de produtos de frutas, que envolveu as seguintes etapas básicas: (1) branqueamento e (2) desidratação osmótica (até o equilíbrio osmótico) em soluções de glicose ou sacarose, adicionadas de sorbato ou benzoato, bissulfito de sódio e ácido cítrico. Obtiveram-se produtos com as seguintes características finais: $a_w = 0,93 - 0,97$, teor de umidade na faixa de 55 a 69%,

pH = 3,1 - 3,5, concentração de sorbato inferior a 1000 ppm, e concentração de SO₂ inferior a 100 ppm. Os obstáculos utilizados neste processo foram: redução da atividade de água, controle de pH e adição de conservantes químicos.

Fatias de abacaxi, uma das matérias-primas utilizadas pelos autores, foram desidratadas com xarope de glicose contendo ácido cítrico, sorbato de potássio e SO₂; os autores não citaram tempo e temperatura de processo, nem as concentrações da solução osmótica e dos conservantes; mas caracterizaram da seguinte maneira o produto final obtido: 69% de umidade; atividade de água de 0,97; 25% de açúcares redutores; pH = 3,1; 376 ppm de sorbato e 48 ppm de SO₂. O produto mostrou-se estável por 4 meses de estocagem a 27°C.

CHANES *et alii* (1994) indicaram um fluxograma utilizado para obtenção de mamão por métodos combinados; a fruta, cortada em pedaços de dimensões 4 x 4 x 10 cm, foram branqueadas por 1 minuto com vapor saturado e resfriadas em água corrente; a desidratação osmótica foi conduzida por 7 dias em xarope de sacarose a 37,5°Brix, contendo 0,3% de sorbato de potássio e 1,05% de ácido cítrico. O produto final apresentou as seguintes características: a_w = 0,97; pH = 3,7; 1000 ppm de sorbato de potássio. Sua vida de prateleira foi de 3 meses à temperatura de estocagem de 35°C, e de pelo menos 8 meses à temperatura de 25°C (após esse período, não foram feitas posteriores avaliações da vida de prateleira).

Os mesmos autores caracterizaram alguns produtos de frutas obtidos através do programa CYTED-D. Entre eles, obteve-se abacaxi a alta umidade, através dos seguintes métodos combinados: redução da atividade de água (até o valor final de 0,97), por desidratação osmótica em solução de sacarose; redução do pH a 3,8; adição de sorbato de potássio e metabissulfito de sódio, cujas concentrações finais foram de 1000 ppm e 150 ppm, respectivamente. O produto se manteve estável por 3 meses à temperatura de 35°C, e por pelo menos 8 meses à temperatura de 25°C.

LÓPEZ-MALO *et alii* (1994) obtiveram mamão a alta umidade, através da seguinte combinação de fatores: redução da carga microbiana inicial (branqueamento), redução da atividade de água (desidratação osmótica), adição de conservantes químicos (sorbato e sulfito, adicionados à solução osmótica), redução do pH (adição de ácido cítrico à solução osmótica). Foi obtido um produto final com as seguintes características: 72,62% de umidade; atividade de água de 0,963; 27,2% de sólidos solúveis; pH 3,5; 96 ppm de SO₂; 1082 ppm de sorbato.

Análises microbiológicas do produto, realizadas ao longo de um período de 152 dias de estocagem a 5 e 25°C, mostraram estabilidade do produto, a ambas as temperaturas: as contagens totais de aeróbios, assim como as contagens de bolores e leveduras, mantiveram-se inferiores a 10 UFC/g. Logo, o produto apresentou uma vida-de-prateleira de pelo menos 5 meses à temperatura de 25°C (após esse tempo não foram registradas mais avaliações). Isso mostra que as condições selecionadas para o processo foram capazes de assegurar uma razoável estabilidade microbiológica do produto.

Uma avaliação sensorial de aceitação do produto, feita através de uma escala hedônica de 9 pontos, usando provadores não treinados, mostrou bons resultados, tanto no tempo zero quanto após 5 meses de estocagem a 25°C; a média da aceitabilidade geral foi de 7,25 e de 6,73 no tempo zero e ao final dos 5 meses de estocagem, respectivamente; em ambos os casos, a textura foi o parâmetro de melhor aceitação. Uma análise de variância realizada entre as médias obtidas para cada característica avaliada (odor, cor, textura, sabor) mostrou não ter havido diferença significativa entre as amostras no tempo zero e ao final da estocagem.

2.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE ATIVIDADE DE ÁGUA

O princípio de vários métodos de preservação de alimentos, como secagem, saturação com açúcares, salga, entre outros, consiste na remoção de água e/ou na interação desta com outros compostos, de forma que se reduza a disponibilidade da água para deterioração microbológica, química e bioquímica (LABUZA, 1980). O parâmetro relacionado a esta disponibilidade de água nos alimentos é a atividade de água, descrita como a relação entre a pressão parcial de vapor da água no alimento (p_a) e a pressão de vapor da água pura (p_0), ambas à mesma temperatura:

$$a_w = p_a / p_0$$

Tal relação expressa também a umidade relativa de um gás em equilíbrio com a substância; entretanto, o termo *atividade de água* (expresso por a_w) é mais comumente utilizado para alimentos do que o termo *umidade relativa de equilíbrio*, mais utilizado para gases (LONCIN *et alii*, 1968).

As razões pelas quais a pressão de vapor de uma substância úmida (no caso, o alimento) é geralmente inferior à pressão de vapor da água pura, ambos à mesma temperatura, são inúmeras. A principal delas parece ser a interação entre a água e grupos polares dos componentes do alimento (LONCIN *et alii*, 1968).

Quando se dissolvem solutos em água, a pressão de vapor é reduzida; trata-se do mesmo fenômeno também responsável por elevação do ponto de ebulição e redução do ponto de fusão, consequentes à adição de solutos à água (LONCIN *et alii*, 1968). Este é um importante mecanismo de redução da atividade de água em frutas desidratadas por osmose.

2.3.1. Atividade de água e crescimento microbiano

Em geral, com a redução da atividade de água, ocorrem reduções nas taxas de crescimento microbiano. Fisiologicamente, a explicação para isso reside no fato de que, em ambientes osmoticamente hostis, as células microbianas consomem muita energia, quer para excluir solutos do seu ambiente interno, quer para desenvolver suas atividades metabólicas na presença dos solutos. A capacidade do microrganismo em conservar energia disponível após enfrentar esse obstáculo é que determinará, basicamente, a extensão do crescimento celular. Ao contrário dos organismos pluricelulares em geral, que dispõem de órgãos especiais para deposição de solutos em excesso, os microrganismos não possuem sistemas específicos para essa finalidade, contando apenas com mecanismos osmorregulatórios muito primitivos. O estresse osmótico geralmente requer a presença de compostos osmoticamente ativos acumulados intracelularmente para manter o balanço osmótico através das membranas celulares, quando as células são expostas a ambientes de baixa atividade de água. Estes incluem: íons K^+ em bactérias halofílicas, poliálcoois em leveduras, entre outros (TROLLER, 1980).

Vários fatores, além da atividade de água, influenciam o crescimento microbiano. Como regra geral, os limites de atividade de água mínima para crescimento de um microrganismo se estreitam à medida em que aumenta o nível de algum fator de estresse adicional, e vice-versa (TROLLER, 1980), como já foi discutido no item 2.2.1.

Apesar de o nível de atividade de água para inibir efetivamente a atividade de microrganismos ser afetado por vários outros fatores (natureza dos solutos, pH, presença de conservantes químicos, natureza da flora microbiana), aceita-se como regra geral que o crescimento de bactérias é inibido a valores de a_w inferiores a 0,90; há exceções a essa regra, como, por exemplo, as bactérias halofílicas, que podem crescer a níveis de a_w tão baixos quanto 0,76, e *Staphylococcus aureus*, que, sob

condições aeóbias, pode crescer a a_w tão baixa quanto 0,86 (TROLLER, 1980; CHIRIFE & FAVETTO, 1992). Valores de atividade de água inferiores a 0,60 não possibilitam deterioração microbiana, pois não permitem crescimento de microrganismos, embora estes ainda possam sobreviver (TROLLER, 1980).

2.3.2. Atividade de água e reações químicas

Um dos efeitos da atividade de água sobre a taxa de reações químicas se explica pelo fato de que mudanças na atividade de água promovem maior concentração ou diluição dos reagentes (LABUZA, 1980). Por outro lado, a água exerce um efeito positivo sobre a mobilidade dos reagentes, o que facilita a ocorrência de interações entre eles e, conseqüentemente, aumenta a velocidade da reação (VAN DEN BERG & BRUIN, 1981).

Entre as reações químicas importantes em alimentos, destaca-se o escurecimento não enzimático (reação de Maillard), de importância primária em muitos alimentos, entre eles as frutas. O escurecimento é resultado de um conjunto complexo de reações químicas, que se inicia com reações de condensação entre grupos carbonila de açúcares redutores e grupos amino livres de aminoácidos, dos quais a lisina, arginina e histidina são os mais susceptíveis (KYZLINK, 1990).

A reação de Maillard é máxima na faixa intermediária de a_w (aproximadamente 0,5 a 0,7); abaixo dessa faixa, há baixa mobilidade dos reagentes, e acima dessa faixa, o escurecimento diminui com o aumento da atividade de água, devido à diluição dos reagentes (LABUZA *et alii*, 1970). Além disso, há o fato de que a água é um produto de várias reações que constituem passos da reação de Maillard; em conseqüência, ocorre o efeito de inibição pelo produto (EICHNER & KAREL, 1972). Quanto ao efeito do pH, a faixa em que o escurecimento é menos observado é entre 3,0 e 4,8 (KYZLINK, 1990).

Segundo McWEENY (1981), o SO_2 é o aditivo químico mais comum para retardar a reação de Maillard; ele exerce efeitos negativos sobre estágios iniciais e intermediários da reação, influenciando a coloração do produto final.

2.4. UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS COMESTÍVEIS PREVIAMENTE À DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

O uso de revestimentos (filmes e coberturas) comestíveis tem recebido bastante atenção de pesquisadores nos últimos anos, graças principalmente às suas propriedades de barreira e de melhoria da integridade estrutural e das propriedades mecânicas do alimento (KESTER & FENNEMA, 1986).

Um revestimento comestível não substitui uma embalagem sintética, mas apenas associa-se a esta no papel de proteção ao alimento. Segundo KESTER & FENNEMA (1986), um revestimento comestível é utilizado como coadjuvante às embalagens sintéticas, para melhorar a qualidade do alimento, aumentar sua vida-de-prateleira, e até mesmo para melhorar a eficiência econômica dos materiais de embalagem; através do uso de um revestimento comestível, o grau de proteção requerido da embalagem externa é reduzido, já que se pode contar com uma barreira adicional.

Em relação à nomenclatura dos revestimentos comestíveis, a maioria dos autores usam os termos filme e cobertura indiscriminadamente. No entanto, GONTARD & GUILBERT (1995) ressaltaram a diferença entre ambos: coberturas são aplicadas e formadas diretamente sobre o alimento, ao passo que filmes são pré-formados separadamente e aplicados sobre o produto. Assim, torna-se conveniente adotar essa discriminação.

Os revestimentos comestíveis podem ser preparados a partir de uma grande variedade de polissacarídeos, proteínas ou lipídios, além de misturas entre eles; os polissacarídeos geralmente respondem melhor aos requerimentos específicos da desidratação osmótica do que as proteínas e lipídios (KESTER & FENNEMA, 1986; CAMIRAND *et alii*, 1992).

Os polissacarídeos hidrossolúveis apresentam como vantagens uma boa aderência a superfícies de corte de frutas, além de alta permeabilidade a umidade (KESTER & FENNEMA, 1986), permitindo um fluxo relativamente intenso de água da fruta para seu exterior; além disso, têm também outra característica favorável: a baixa permeabilidade a gases, o que promove a criação de um ambiente de atmosfera modificada, com concentrações relativamente altas de CO₂ e baixas de O₂, o que resulta em redução nas taxas de respiração e de produção de etileno (NISPEROS & BALDWIN, 1996).

Podem-se obter géis iônicos fortes a partir de soluções de alginatos ou pectinas de baixa metoxilação, associados a íons cálcio através de ligações cruzadas. Isso pode ser feito na prática por meio de imersão da fruta em uma solução do polissacarídeo, seguida por imersão em uma solução de um sal de cálcio (CaCl₂, por exemplo); os filmes são fortes e formam-se quase imediatamente (CAMIRAND *et alii*, 1992).

A utilização de coberturas comestíveis previamente à desidratação osmótica foi primeiramente proposta por CAMIRAND *et alii* (1968), que revestiram pedaços de vários tipos de alimentos (entre eles frutas) com uma cobertura à base de pectina de baixa metoxilação; a cobertura foi formada através da imersão dos pedaços de alimento em uma solução a 2% de pectina, seguida pela imersão dos mesmos em uma solução saturada de nitrato de cálcio. Após a formação do revestimento, procedeu-se à desidratação osmótica, em que a solução desidratante foi um xarope a 75°Brix, consistindo de uma mistura de açúcar invertido e sacarose na proporção de 1:1.

Uma das matérias-primas utilizadas por esses autores foram pedaços de abacaxi; para estes, foi registrada, após 98 horas de desidratação osmótica a 25°C, uma perda de peso de 36,3% (em relação ao peso inicial da fruta, anterior à adição da cobertura); os pedaços de abacaxi da amostra controle, não cobertos antes da etapa osmótica, apresentaram uma redução de peso de 35,9%. Em relação ao produto obtido desta forma, os autores destacaram que praticamente não houve degradação de textura, em comparação com a fruta fresca.

Duas críticas podem ser feitas a esse trabalho: (1) os autores não forneceram dados em relação à perda de peso do abacaxi desidratado em relação ao material coberto (obviamente, a incorporação da cobertura acarretou um aumento de peso das amostras); (2) a desidratação osmótica foi conduzida por cerca de 4 dias; pode ser questionada a viabilidade econômica do processo assim realizado, pois, como já enfatizado anteriormente, a taxa de transferência de água diminui consideravelmente após as primeiras horas de desidratação.

LEWICKI *et alii* (1984) realizaram um estudo sobre a influência de revestimentos à base de pectina de baixa metoxilação e de amido sobre a desidratação osmótica de maçãs. Os autores usaram as seguintes concentrações de polissacarídeos: 2,5% (p/p) para pectina de baixa metoxilação, e 1% (p/p) para amido, justificando essas concentrações por um trabalho realizado anteriormente (PAKULA, 1977, citado por LEWICKI *et alii*), que estabelece serem estas as concentrações ótimas para formação de filmes íntegros. As frutas revestidas com pectina foram imersas em uma solução a 2,4% de CaCl_2 , para formação do filme. Segundo os autores, o aumento de massa promovido pela adição dos filmes foi de 9 a 13%. As fatias da fruta, já cobertas, foram primeiramente submetidas a uma secagem convectiva curta por 5 ou 10 minutos a 80°C, sendo que uma amostra controle não foi submetida a tal secagem. Procedeu-se então à desidratação osmótica, sob as seguintes condições: concentração da solução de sacarose, 69°Brix; relação maçã / solução, 1:4; temperatura, 30°C; ausência de agitação. A cinética do processo foi acompanhada até decorridas 8 horas do processo,

e foi avaliada em termos de massa, teor de sólidos solúveis e teor de umidade. A perda de peso das amostras revestidas foi inferior àquela das amostras não revestidas (entretanto, os autores não levaram em conta para isso o fato de que os revestimentos promovem incorporação de massa). Por outro lado, o aumento no teor de sólidos solúveis foi maior nas amostras não revestidas e nas revestidas com amido. O teor de matéria seca mostrou um comportamento nitidamente diferente entre as amostras revestidas e não revestidas: nas primeiras, a taxa de aumento no teor de matéria seca, devido à incorporação de sacarose, foi bastante alta nas primeiras 2 horas (no caso de pectina) ou 4 horas (no caso de amido), após o que diminuiu consideravelmente. Já no caso das amostras não revestidas, o aumento no teor de matéria seca foi muito alto nas 2 primeiras horas, após o que diminuiu consideravelmente.

Destacam-se como vantagens da adição de coberturas comestíveis em frutas a serem desidratadas osmoticamente:

- Maior perda de água, em relação ao produto não coberto (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994);
- Menor difusão de solutos para a fruta (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994);
- Possibilidade de uso de agentes osmóticos de menor peso molecular, com maior pressão osmótica (WONG *et alii*, 1994);
- Menor perda de compostos desejáveis ao produto final, como: pigmentos, nutrientes e compostos voláteis responsáveis pelo sabor (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994);
- Menores níveis de oxigênio difundido para o produto (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994);

- Redução de contaminação microbiana (SCHULTZ *et alii*, 1948; GUILBERT, 1988);
- Melhor manutenção da integridade física e resistência mecânica do produto (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994; GUILBERT, 1988);
- Melhor aparência do produto (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994; GUILBERT, 1988).

As propriedades requeridas de um polímero para atuar como uma boa cobertura prévia à desidratação osmótica são: boas propriedades mecânicas; boas características sensoriais; facilidade e rapidez na técnica de formação do filme; alta permeabilidade a água e baixa permeabilidade a solutos; manutenção de uma cobertura intacta no produto, sem dissolução no agente osmótico (CAMIRAND *et alii*, 1992; WONG *et alii*, 1994).

CAMIRAND *et alii* (1992) introduziu o conceito de "relação de performance" (RP), representada pela relação entre saída de água e entrada de solutos (ambas em termos de massa), em decorrência de um processo de desidratação osmótica. O valor de RP depende de muitas variáveis, como: tamanho dos pedaços de fruta, temperatura, agente osmótico, concentração, grau de agitação, relação entre massa da fruta e volume do agente osmótico, tempo do processo. Com a adição de um revestimento comestível, consideram-se também a difusividade da água e do agente osmótico no revestimento, as interações entre este e o alimento, e mudanças nas características do revestimento durante o processo (CAMIRAND *et alii*, 1992).

Nos trabalhos de LEWICKI *et alii* (1984) e CAMIRAND *et alii* (1968), encontraram-se comparações de valores de RP de alimentos tratados osmoticamente, entre as formas não coberta e coberta com pectato de cálcio; foram encontrados valores de RP maiores nas formas cobertas dos alimentos estudados do que nas respectivas formas não cobertas.

CAMIRAND *et alii* (1968) citaram algumas comparações que obtiveram em ensaios com azeitonas e camarões, revestidos com pectato de cálcio e não revestidos, usando o mesmo agente osmótico e tempo de processo. Os autores registraram que, durante a desidratação osmótica, azeitonas revestidas apresentaram um aumento de 186% no valor de RP, e 6,2% na perda de água, em relação às azeitonas não revestidas; os camarões revestidos apresentaram 58% de aumento no valor de RP e 10% de aumento na perda de água, em relação aos não revestidos. Além disso, os autores observaram que a aparência dos produtos revestidos se mostrou melhor que a dos não revestidos.

2.4.1. Alginato

Alginato é um termo genérico para os sais e derivados do ácido algínico; são polissacarídeos constituintes das algas marrons (KING, 1983).

Quimicamente, são copolímeros lineares dos monômeros: ácido β -D-manurônico e ácido α -L-gulurônico, associados por ligações 1,4-glicosídicas (KING, 1983). Os monômeros constituintes dos alginatos estão representados na Figura 2.1.

As moléculas contêm 3 tipos de regiões (ou blocos): as regiões ricas em ácido manurônico (*blocos M*), as ricas em ácido gulurônico (*blocos G*) e aquelas em que a sequência de resíduos é alternada ou aleatória (*blocos MG*) (MORRIS, 1990). A proporção entre os diferentes ácidos componentes dos alginatos (G/M) depende da espécie de alga da qual ele foi extraído, de suas condições de crescimento e da parte da alga da qual o alginato foi derivado (KENNEDY *et alii*, 1984).

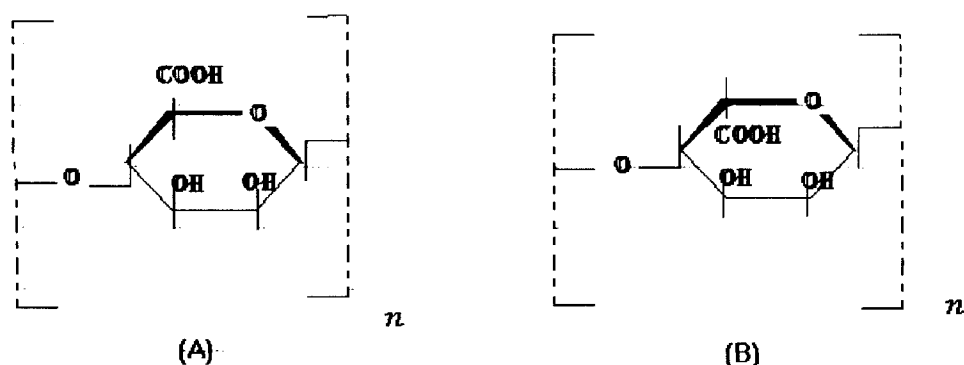


Figura 2.1 - Estrutura química dos monômeros constituintes do ácido algínico. A: ácido D-manurônico; B: ácido L-gulurônico.

A principal forma comercial do alginato é o sal de sódio; soluções de alginato de sódio têm alta viscosidade aparente, mesmo a baixas concentrações, devido ao seu alto peso molecular e à sua estrutura rígida (KENNEDY *et alii*, 1984).

Uma das mais importantes propriedades dos alginatos, responsável por um grande número de suas aplicações na indústria de alimentos, é a sua capacidade de formação de géis termoestáveis na presença de cátions divalentes, especialmente íons Ca^{+2} (IMERSON, 1990).

A formação de géis com cálcio ocorre por meio de ligações iônicas de dois grupos carboxila de cadeias adjacentes com um íon Ca^{+2} . Os alginatos poli-G são mais reativos com íons Ca^{+2} do que os do tipo poli-M; isso se explica pelo fato de as cadeias poli-G apresentarem um formato retorcido (ao invés das cadeias poli-M, de formato mais linear), o que favorece a presença de cavidades entre cadeias adjacentes, onde se situam os íons cálcio (SIME, 1984).

GUILBERT (1986) sugeriu, para formulação de uma cobertura à base de alginato, concentrações do polissacarídeo na faixa de 2 - 5% (solução aquosa). O autor caracterizou as coberturas de alginato como flexíveis, transparentes, sem sabor e odor, além de se contraírem durante a desidratação.

2.4.2. Pectina de baixa metoxilação

As substâncias pécicas, entre as quais a pectina, constituem um grupo complexo de polissacarídeos estruturais, que ocorrem nas paredes celulares dos vegetais. São uma classe de compostos com estrutura baseada no ácido poli-1,4- α -D-galacturônico (OAKENFULL, 1987). A estrutura da pectina está esquematizada na Figura 2.2.

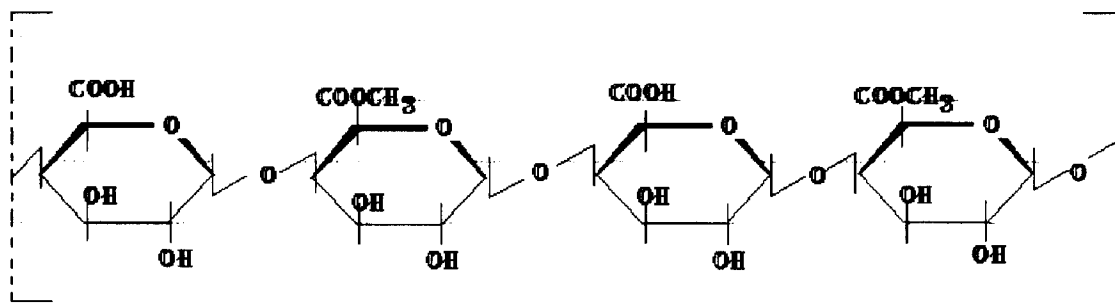


Figura 2.2 - Estrutura química da pectina.

Parte dos monômeros é esterificada com metanol; o grau de esterificação (ou metoxilação) varia de acordo com a idade e com o tipo de tecido vegetal do qual foi

extraída (OAKENFULL, 1987). O grau de esterificação de 50% divide as pectinas em 2 grupos: as de alta metoxilação e as de baixa metoxilação.

As pectinas de alta metoxilação requerem, para formação de géis: (1) a presença de um co-soluto, tipicamente sacarose, em concentrações na faixa de 55 a 80%, e (2) baixo pH, na faixa de 2,8 a 3,7 (OAKENFULL, 1987; NISPEROS-CARRIEDO, 1994).

Já as pectinas de baixa metoxilação requerem a presença de íons Ca^{+2} , não requerendo adição de açúcar e/ou redução do pH (NISPEROS-CARRIEDO, 1994). A formação de géis de pectinas de baixa metoxilação se dá de forma semelhante à dos alginatos (OAKENFULL, 1987).

Algumas concentrações foram sugeridas para formulação de coberturas à base de pectina de baixa metoxilação: CAMIRAND *et alii* (1968) sugeriram a concentração de 2%; LEWICKI *et alii* (1984), 2,5%; e CAMIRAND *et alii* (1992), 3%. Segundo GUILBERT (1986), essas coberturas podem ser caracterizadas como macias, claras, sem odor e com um leve sabor salgado.

2.5. CONSIDERAÇÕES SOBRE CONSERVANTES QUÍMICOS

Com base no que já foi discutido no item 2.2.1, um produto de fruta a alta umidade requer a utilização de outros métodos de conservação além da redução de atividade de água, já que esta redução, aos níveis aplicados a frutas a alta umidade, é insuficiente para, por si só, impedir o crescimento de microrganismos. No caso de se adotar a redução do pH (a valores inferiores a 4,0) como um segundo obstáculo, conseguir-se-ia impedir o crescimento de bactérias (ALZAMORA, 1994); seria então

importante a utilização de um terceiro obstáculo, combinado aos demais, que fosse efetivo principalmente contra o crescimento de bolores e leveduras.

O ácido sórbico, $\text{CH}_3\text{-(CH=CH)-COOH}$, e seus sais de sódio, potássio e cálcio são mais efetivos contra bolores e leveduras que contra bactérias; seu mecanismo de ação envolve o bloqueio de um sistema bioquímico microbiano. As doses inibitórias situam-se na faixa de 700 a 1000 ppm, em pH inferior a 4,5 (KYZLINK, 1990).

O SO_2 (dióxido de enxofre), largamente utilizado como conservante, principalmente sob a forma de sais (sulfito, bissulfito, metabissulfito), tem como mecanismos de ação: redução de determinados grupamentos de apoenzimas microbianas; bloqueio de aldeídos dos processos bioquímicos básicos; e inibição de aeróbios por consumo preferencial de O_2 (KYZLINK, 1990).

O CÓDIGO SANITÁRIO (1992) não apresenta legislação específica referente a produtos de frutas a alta umidade, obtidos por métodos combinados; por isso, adotou-se como referência a legislação para frutas cristalizadas e glaceadas. Para estas, a legislação estabelece os seguintes limites máximos de concentrações de conservantes químicos: 1000 ppm de ácido sórbico e seus sais, e 200 ppm de SO_2 .

2.6. ABACAXI COMO MATÉRIA-PRIMA

O abacaxizeiro *Ananas comosus* (L.) Merril, pertence à família Bromeliaceae. O gênero *Ananas*, juntamente com o *Pseudoananas*, se distinguem dos demais da mesma família por apresentarem frutos do tipo sincarpo, formados pela coalescência de frutos individuais (frutinhos); cada frutinho origina-se do desenvolvimento de uma flor completa (MONTENEGRO & CANTARELLI, 1982; MEDINA, 1987). A inflorescência é do tipo espiga; as flores (e, conseqüentemente, os frutinhos) são dispostos em espiral

sobre o eixo do fruto, que é formado por 100 a 200 frutinhos intimamente unidos (MEDINA, 1987).

O fato de a fruta constituir uma infrutescência explica em grande parte a sua heterogeneidade em relação à composição química (BLEINROTH, 1987).

Um dos cultivares mais produzidos no Brasil é o Smooth Cayenne; neste, o fruto é grande (cerca de 2,5 kg de peso), de forma aproximadamente cilíndrica, casca de cor citrina-escura e amarela; a polpa é amarelo-palha ou amarela, mole, com teores elevados de açúcares e de ácidos (MEDINA, 1987).

A composição química das frutas é variável de acordo com a época do ano; embora sua produção ocorra geralmente no verão, a colheita é uniformizada ao longo do ano através de indução química de seu florescimento. No verão, as frutas têm menor acidez e maior teor de açúcares; já as frutas produzidas no inverno apresentam maior acidez e menor teor de açúcares (COLLINS, 1960).

Segundo BLEINROTH (1987), a variedade Smooth Cayenne apresenta as seguintes características químicas principais, variáveis segundo o estágio de maturação: pH dentro da faixa de 3,2 a 3,7; teor de sólidos solúveis entre 11,6 e 18,2 °Brix; acidez total entre 0,47 e 0,96%, expressa em ácido cítrico; teor de açúcares totais entre 9,85 e 16,17%; teor de açúcares redutores entre 4,16 e 5,35%. Segundo o autor, dos açúcares existentes na fruta, a fração de sacarose corresponde a 66%, e a dos açúcares redutores (glicose e frutose), a 34%.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL E EQUIPAMENTO

- Abacaxis, variedade Smooth Cayenne: Adquiridos no comércio local (Campinas, SP). O estágio de maturação foi definido com base na progressão da coloração amarelada da casca, que ocorre da base em direção ao ápice da fruta; este critério é considerado por PY *et alii* (1987) como o mais prático para julgamento do grau de maturação da fruta. Foram selecionadas frutas no estágio de maturação 3, segundo a classificação proposta por MONTENEGRO e CANTARELLI (1982), que consta de 5 estágios:

-Estágio 1: Frutinhos achatados, não proeminentes na maior parte da superfície; brácteas (porções da casca correspondentes aos frutinhos) de coloração verde clara.

-Estágio 2: Mudança de tonalidade, evoluindo a partir da base; cerca de 10% da área do fruto, na parte basal, apresenta brácteas de centro amarelado e sulcos divisórios de cor verde clara.

-Estágio 3: 10 a 30% da área da casca apresenta cor amarelada, evoluindo para alaranjado na base.

-Estágio 4: 30 a 50% da área da casca com coloração amarelo-alaranjada, com evolução semelhante à do estágio 3; os sulcos divisórios têm a mesma coloração dos frutinhos.

-Estágio 5: Cor alaranjada em 50 a 100% do fruto.

Procurou-se também uniformizar a matéria-prima em termos de peso, adquirindo-se frutas com cerca de 2 kg. Para se retardar o amadurecimento entre a aquisição das frutas e o processamento, estas foram mantidas sob refrigeração.

- Agente osmótico: Utilizou-se sacarose comercial (açúcar cristal da marca União). A sacarose foi o agente escolhido em função de dados da literatura e, principalmente, em função de sua grande disponibilidade e baixo custo, quando comparada aos demais possíveis agentes osmóticos.
- Alginato de sódio: GRINDSTED™ Alginate FD 175, fornecido pela *Danisco Ingredients Brasil Ltda.*
- Pectina de baixo grau de metoxilação: GRINDSTED™ Pectin LA 210, fornecida pela *Danisco Ingredients Brasil Ltda.* Segundo dados fornecidos pela indústria, seu grau de metoxilação é tipicamente 32%.
- Cloreto de cálcio (fonte de íons Ca^{+2} , para formação das coberturas).
- Ácido cítrico (acidulante).
- Sorbato de potássio (conservante).
- Metabissulfito de sódio (conservante e inibidor da reação de Maillard).
- Erlenmeyers de 500 ml.
- Papel absorvente.
- Peneira em aço inoxidável.
- Agitador tipo *shaker*, com controle termostático.

3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizado um delineamento composto rotacional central, baseado na Metodologia de Superfície de Resposta. Segundo THOMPSON (1982), a Metodologia de Superfície de Resposta é utilizada para a análise de problemas em que diversas variáveis independentes (fatores) influenciam uma variável dependente (resposta), identificando relações matemáticas e estatísticas entre níveis pré-determinados das variáveis independentes e a resposta; um dos objetivos da metodologia é otimizar a resposta.

3.2.1. Definição dos parâmetros do processo

Os parâmetros do processo abrangem: as variáveis independentes (fatores) que influenciam o processo, e as variáveis dependentes (respostas), que determinam ou refletem o comportamento do processo. É imprescindível que todas as variáveis sejam mensuráveis e contínuas (FLOROS e CHINNAN, 1988).

O estabelecimento dos fatores de maior influência sobre o processo foi feito com base em dados da literatura e em testes preliminares.

Foram definidos os seguintes:

- Tempo de processo;
- Temperatura;
- Concentração da solução osmótica;
- Presença e tipo de cobertura comestível no material a ser desidratado.

Este último fator, não sendo mensurável e contínuo, dividiu o delineamento em três blocos de ensaios, a saber:

- Bloco A, constituído pelos ensaios realizados sobre pedaços de abacaxi não revestidos;
- Bloco B, constituído por ensaios realizados sobre pedaços de abacaxi revestidos com uma cobertura à base de alginato;
- Bloco C, abrangendo os ensaios feitos sobre pedaços de abacaxi revestidos com uma cobertura à base de pectina.

Procedeu-se então à definição das faixas de interesse experimental (níveis) de cada um dos fatores. A determinação dos níveis foi baseada em dados da literatura e em testes preliminares. Foram determinadas as seguintes faixas :

- Tempo: 120 a 300 minutos (2 a 5 horas);
- Temperatura: 30 a 50°C;
- Concentração da solução osmótica: 60 a 70° Brix.

As respostas de interesse para otimização foram definidas a seguir. Em todos os casos, considera-se, para efeito de condições iniciais, ou seja, anteriores à desidratação, o material na forma em que foi submetido à desidratação, ou seja, pedaços de abacaxi branqueados e, no caso dos blocos B e C, já com a respectiva cobertura.

- Perda de peso

Pretendia-se maximizar a perda de peso, fornecida pela equação:

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

(Equação 3.1)

Sendo:

PP (%) = perda percentual de peso do material desidratado;

m_i = massa total inicial do material;

m_f = massa total final do material.

- Perda de umidade

A perda de umidade foi calculada em termos percentuais, com base no peso inicial do material, antes da desidratação.

Um simples balanço de massa de umidade conduziu à seguinte equação:

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

(Equação 3.2)

Sendo:

PU (%) = perda de umidade, com base na massa inicial do material;

U_i = teor inicial de umidade do material (%);

U_f = teor final de umidade do material(%).

- Incorporação de sólidos

Foi considerado um efeito indesejável ao processo; portanto, pretendia-se minimizar este efeito.

A incorporação de sólidos foi calculada através de um balanço de massa de sólidos do processo, que conduziu à seguinte equação:

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

(Equação 3.3)

Sendo:

IS(%) = incorporação de sólidos, com base na massa inicial do material;

ST_i = teor inicial de sólidos totais do material (%);

ST_f = teor final de sólidos totais do material (%).

- Variação no teor de sólidos solúveis (Brix)

Foi também calculada em termos percentuais, em relação ao Brix inicial:

$$VB(\%) = 100 \times \left(\frac{B_f}{B_i} - 1 \right)$$

(Equação 3.4)

Sendo:

VB (%) = variação percentual no Brix do material desidratado;

B_i = teor inicial de sólidos solúveis do material;

B_f = teor final de sólidos solúveis do material.

- Atividade de água do produto final: Medida diretamente.

3.2.2. Delineamento propriamente dito

PAGLIARINI *et alii* (1996) explicam como se constitui um delineamento composto rotacional central, formado por 3 tipos de pontos:

- Pontos fatoriais de 2 níveis, em número igual a 2^n (sendo n o número de variáveis independentes), e de níveis codificados como ± 1 . No caso, com 3 variáveis

independentes, existem 8 pontos fatoriais, formando os vértices de um cubo, cujo ponto central coincide com a origem das coordenadas.

- Pontos axiais, situados a uma distância codificada α ($\alpha = 2^{n/4}$) do ponto central. O número de pontos axiais é $2n$. No caso, com 3 variáveis independentes, a distância α é 1,682, e o número de pontos axiais é 6; esses pontos se situam sobre os eixos das coordenadas, e a distância α corresponde à metade da diagonal do cubo. As coordenadas codificadas dos pontos axiais são $(\pm \alpha, 0, 0)$, $(0, \pm \alpha, 0)$ e $(0, 0, \pm \alpha)$.
- Repetições do ponto central, no qual todas as variáveis independentes são tomadas em seus valores médios. Esses pontos têm as coordenadas codificadas $(0, 0, 0)$.

Cada um dos 3 blocos (A, B e C) constou de 19 ensaios (8 pontos fatoriais, 6 pontos axiais e 5 repetições do ponto central), perfazendo um total de 57 ensaios. Os níveis codificados das variáveis independentes para os ensaios de cada bloco estão apresentados na tabela 3.1.

Para se decodificar os níveis, o procedimento é o seguinte: estabelecidas as faixas de interesse para cada variável independente, os limites inferior e superior de cada faixa são definidos como representando, respectivamente, os níveis codificados -1 e 1; ou, como foi feito neste trabalho, representando os níveis $-\alpha$ e α . A partir daí, por interpolação (ou extrapolação, a depender do caso), decodificam-se os demais níveis.

A tabela 3.2 apresenta os níveis decodificados de cada uma das variáveis independentes do experimento. Os níveis estabelecidos são válidos para os três blocos de ensaios.

Tabela 3.1 - Níveis codificados dos fatores para os ensaios

Nº 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	-1,682	0	0
10	1,682	0	0
11	0	-1,682	0
12	0	1,682	0
13	0	0	-1,682
14	0	0	1,682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0

Tabela 3.2 - Níveis decodificados dos fatores

Níveis decodificados			
Níveis codificados	Tempo (minutos)	Temperatura (°C)	Concentração da solução (°Brix)
$-\alpha$ (= -1,682)	120	30	60
-1	157	34	62
0	210	40	65
1	263	46	68
α (= 1,682)	300	50	70

3.3. PROCESSAMENTO

As etapas do processamento foram as seguintes:

- Preparo da solução osmótica, nas concentrações requeridas para os ensaios, já contendo 0,2% de sorbato de potássio e 1,0% de ácido cítrico.
- Preparo da matéria-prima. A fruta era descascada manualmente, de forma a se obter um diâmetro uniforme (cerca de 10 cm); cortavam-se fatias transversais de 2 cm de espessura, desprezando-se o ápice e a base (para procurar minimizar a heterogeneidade física e química da fruta); das fatias, retirava-se o cilindro central, e a polpa era cortada radialmente (20 pedaços por fatia transversal).
- Branqueamento em uma solução aquosa de metabissulfito de sódio a 500 ppm, em ebulição, por 1 minuto. Esse tempo foi determinado por ensaios preliminares como sendo o tempo máximo de branqueamento sem comprometimento da integridade estrutural da fruta.
- Imersão dos pedaços de fruta em uma solução do polissacarídeo (alginato ou pectina). As concentrações destes eram as seguintes: 2,0% no caso de alginato, e 2,5% no caso de pectina. Tais concentrações tiveram por base dados da literatura e, principalmente, observações feitas durante os testes preliminares, que determinaram serem estas as concentrações mínimas para a formação de coberturas íntegras e firmes. (*Obs:* Etapa exclusiva dos blocos B e C).
- Imersão dos pedaços em uma solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) a 2,4%, por 2 minutos, a fim de completar a formação das coberturas de alginato de cálcio e pectato de cálcio. (*Obs:* Etapa exclusiva dos blocos B e C).

- Pesagem de pedaços de fruta a serem desidratados (60 g por ensaio).
- Transferência de 300 ml das soluções osmóticas para erlenmeyers de 500 ml, e aquecimento destas até a temperatura em que os ensaios seriam conduzidos. Cada amostra era então transferida para os respectivos erlenmeyers, que eram rapidamente conduzidos a um agitador tipo *shaker* com controle termostático, onde seria realizada a desidratação. A temperatura do *shaker* era cuidadosamente aferida com antecedência. A agitação foi padronizada em 110 rotações por minuto.
- Após o tempo de processo, as amostras eram retiradas do *shaker*, e a solução osmótica era drenada através de uma peneira de aço inoxidável. Procedia-se a um enxágue rápido (100 ml de água, através da peneira), para que o filme de açúcar formado na superfície fosse removido. As amostras eram então espalhadas sobre papel absorvente, por 5 minutos, para absorção do excesso de água superficial.

3.4. ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS

Antes e depois do processo osmótico, eram feitas as seguintes determinações sobre os pedaços de fruta (todas em duplicata, com exceção da 3.4.1):

3.4.1. Peso total da amostra

Medido em balança analítica, com o objetivo de se determinar a perda de peso em consequência do processo.

3.4.2. Atividade de água

Feita por medida direta pelo instrumento Aqualab, Modelo CX-2 - Decagon.

3.4.3. Sólidos solúveis

Leitura em refratômetro de bancada, marca CarlZeiss Jena, com correção de temperatura.

3.4.4. Sólidos totais

Feita por secagem em estufa com circulação de ar aquecido, a 70°C, por 43 horas (método 925.45, AOAC, 1995, adaptado).

Material:

- Balança analítica;
- Estufa com circulação de ar aquecido;
- Placas de Petri;
- Areia tratada;
- Bastões de vidro de cerca de 10 cm;
- Dessecadores com material adsorvente de umidade (sílica).

Procedimento:

- a. Pesagem de cerca de 7 g da amostra, em uma placa de Petri contendo areia tratada e um bastão de vidro (este conjunto previamente seco em estufa a 105°C, resfriado e pesado).
- b. Maceração da amostra com o bastão de vidro, de forma a aumentar sua relação superfície: volume, favorecendo a secagem.
- c. Transferência das placas à estufa com circulação de ar, a 70°C, por 43 horas (tempo necessário para que a amostra atingisse peso constante em pesagens consecutivas a cada 3 horas; determinado por testes preliminares).
- d. Resfriamento das placas em dessecador e pesagem.

Sobre o produto otimizado (critérios a serem discutidos no item 4.4), foram feitas as seguintes determinações, além das supracitadas:

3.4.5. Açúcares totais e redutores

Determinações feitas segundo as normas analíticas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1976).

3.4.6. pH

Medida direta da amostra macerada, em pHmetro.

3.4.7. Acidez titulável

Método 942.15, AOAC (1995).

3.4.8. Sorbato de potássio

Método: Análise por emissão espectroquímica, adaptado por MAURO (1992) a partir do método 20043 da AOAC, 1984.

Material:

- Sorbato de potássio;
- Balões volumétricos de 100 ml e 50 ml;
- Espectrofotômetro para leitura em UV.

Procedimento:

- Obtenção da equação da curva padrão:
 - a. Preparar uma solução de sorbato de potássio a 1,0 mg / ml.
 - b. Pipetar 1, 2, 3, 4 e 5 ml desta solução em balões volumétricos de 100 ml, e completar o volume com água destilada.

c. Transferir uma alíquota de 5 ml de cada balão para outro de 50 ml, e completar o volume com água destilada. Desta forma, obtêm-se soluções com as seguintes concentrações de sorbato: 1, 2, 3, 4 e 5 ppm.

d. Proceder à leitura espectrofotométrica destas amostras, na faixa de 254 a 261 nm, tomando o máximo valor de absorbância para cada uma. A partir desses dados, faz-se uma regressão linear, e obtém-se uma equação da absorbância em função da concentração de sorbato.

- Determinação de sorbato na amostra:

a. Extração do sorbato da fruta: Pesar, em um becker, cerca de 7 g da fruta, macerar e transferir para um erlenmeyer, adicionando cerca de 180 ml de água destilada (com o cuidado de retirar, com água destilada, qualquer resíduo da amostra do becker). Manter o erlenmeyer sob agitação em *shaker* durante 4 horas. Filtrar, transferindo o filtrado para um balão volumétrico de 500 ml, e completar o volume com água destilada.

b. Tomar uma alíquota de 10 ml do extrato filtrado, em balão de 100 ml, e completar o volume com água destilada.

c. Ler o filtrado em espectrofotômetro, na faixa de 254 a 261 nm, tomando o máximo valor.

d. Com base na equação obtida, calcular o teor de sorbato de potássio da amostra, considerando-se, obviamente, as diluições feitas.

3.4.9. SO₂

Método: Titulação com iodo (POTTER e HENDEL, 1951). O método consiste em extração do SO₂ por uma solução alcalina, acidificação do extrato, e determinação do poder redutor total por titulação com iodo; materiais redutores que não o sulfito são determinados por um "branco", em que o SO₂ se encontra ligado a formaldeído.

3.5. OTIMIZAÇÃO

Após obtidas as respostas para todos os ensaios, procedeu-se à determinação das condições ótimas.

As superfícies de resposta, assim como a descrição matemática do processo, foram obtidas através do programa de computador *Statistica*, na versão 5.0, para Windows.

Os índices estatísticos utilizados para avaliar as regressões, F (significância estatística da regressão) e r^2 (porcentagem de variância explicada pelo modelo) foram obtidos pela utilização dos programas *Entrada* (um programa de apoio, para criação de arquivos de dados) e *Modreg* (um programa utilizado para interagir fatores e respostas e ajustar modelos matemáticos a dados experimentais), ambos via DOS, desenvolvidos por BARROS NETO *et alii* (1995).

O método numérico de otimização utilizado foi o método analítico, em que as coordenadas do ponto ótimo são obtidas por resolução do sistema de equações derivadas $(\partial f / \partial x_i) = 0$, onde f é a equação da resposta e x_i são os fatores (BORSATO e DA SILVA, 1985).

3.6. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO OTIMIZADO

Estabelecidas as condições experimentais ótimas, o processo foi conduzido sob essas condições, a fim de se comparar as respostas previstas pelos modelos matemáticos com as respostas observadas experimentalmente.

O produto otimizado foi submetido a testes sensoriais de aceitação, através 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. A ficha utilizada para avaliação encontra-se no Anexo.

O produto foi estocado à temperatura constante de 30°C, em estufa BOD para incubação. A avaliação da estabilidade microbiológica do produto foi feita segundo técnica padrão (BAM, 1984), através de contagem em placas de bolores e leveduras, utilizando como meio de cultura ágar dextrose de batata contendo antibiótico clorotetraciclina. A contagem foi realizada para se avaliar a qualidade microbiológica do produto, após o tempo de estocagem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESPOSTAS EXPERIMENTAIS

As respostas experimentais obtidas para cada um dos blocos de ensaios constam nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, correspondendo, respectivamente, aos resultados experimentais dos blocos A, B e C. Nas tabelas, constam apenas os números dos ensaios, já que as condições de cada um deles foram especificadas no item 3.2.2.

4.2. SUPERFÍCIES DE RESPOSTA

As superfícies de resposta obtidas estão apresentadas nas Figuras 4.1 a 4.15.

Uma análise das superfícies de resposta conduz a algumas interessantes e importantes observações:

- * • Todas as variáveis independentes mensuráveis (tempo, temperatura e concentração da solução osmótica) influenciaram consideravelmente as respostas avaliadas.
- * • Os gráficos referentes a todas as respostas mostram claramente que, com o decorrer do tempo, há uma notável redução das taxas de transferência de massa. De modo geral, pode-se dizer que, após 4 horas de processo, as taxas de transferência tendem a diminuir consideravelmente.
- É notável o efeito da presença das coberturas utilizadas sobre os intercâmbios de massa do processo, no sentido de aumentar a perda de umidade e reduzir a incorporação de sólidos, aumentando, em consequência, a perda de peso do

material. Por exemplo: enquanto, para o bloco A, a perda de peso pouco ultrapassa os 30%, para os demais blocos, ultrapassa os 50%.

- Não se percebem, por observação dos gráficos referentes a atividade de água, consideráveis diferenças entre os valores de a_w atingidos por amostras de diferentes blocos, o que pode ser explicado pelo fato de que as amostras revestidas, apesar de terem menos sólidos incorporados durante o processo, apresentam maior perda de água. Assim, pode-se dizer que o efeito de concentração propriamente dito apresentado por estas é maior que no caso das amostras não revestidas.
- De forma geral, os blocos B e C geraram superfícies semelhantes, o que sugere um desempenho semelhante de ambas as coberturas, no que se refere a transferências de massa.
- ✦ • Com o passar do tempo, observa-se uma tendência de as taxas de incorporação de sólidos se apresentarem superiores às taxas de perda de umidade. Com isso, a diferença entre perda de umidade e ganho de solutos tende a diminuir; como resultado disso, tem-se a formação de um ponto de máximo nos gráficos referentes a perda de peso. Nesse ponto, a taxa de perda de peso é igual a zero, para, a partir daí, tornar-se negativa (o que significa, em termos práticos, que o material volta a ganhar peso). Esse resultado é coerente com o que descreveu RAOULT-WACK (1994); entretanto, outros autores (BERISTAIN *et al.*, 1990; FALCONE e SUAZO, 1988) descreveram um comportamento diferente, em que as reduções nas taxas de perda de umidade são acompanhadas por reduções nas taxas de ganho de sólidos; em consequência, a perda de peso tenderia a um valor constante com o tempo, mas não decrescente.

Tabela 4.1 - Respostas obtidas a partir do bloco A (ensaios realizados com pedaços não revestidos de abacaxi)

Ensaio	PP(%)	PU(%)	IS(%)	VB(%)	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

Sendo: PP = perda de peso; PU = perda de umidade; IS = incorporação de sólidos; VB = variação no Brix do material; A_w = atividade de água final.

Tabela 4.2 - Respostas obtidas a partir do bloco B (ensaio realizados com pedaços de abacaxi revestidos com alginato)

Ensaio	PP(%)	PU(%)	IS(%)	VB(%)	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

Sendo: PP = perda de peso; PU = perda de umidade; IS = incorporação de sólidos; VB = variação no Brix do material; AW = atividade de água final.

TABELA 4.3 - Respostas obtidas a partir do bloco C (ensaio realizados com pedaços de abacaxi revestidos com pectina)

Ensaio	PP(%)	PU(%)	IS(%)	VB(%)	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

Sendo: PP = perda de peso; PU = perda de umidade; IS = incorporação de sólidos; VB = variação no Brix do material; AW = atividade de água final.

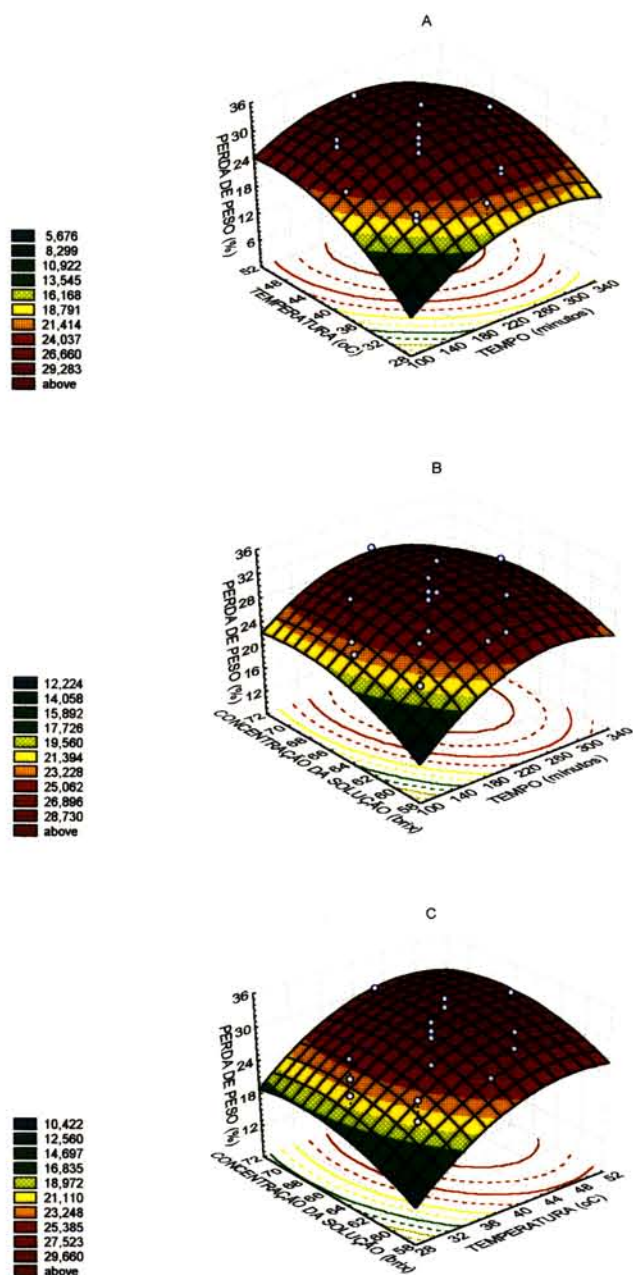


Figura 4.1 - Perda percentual de peso de pedaços de abacaxi não revestidos. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

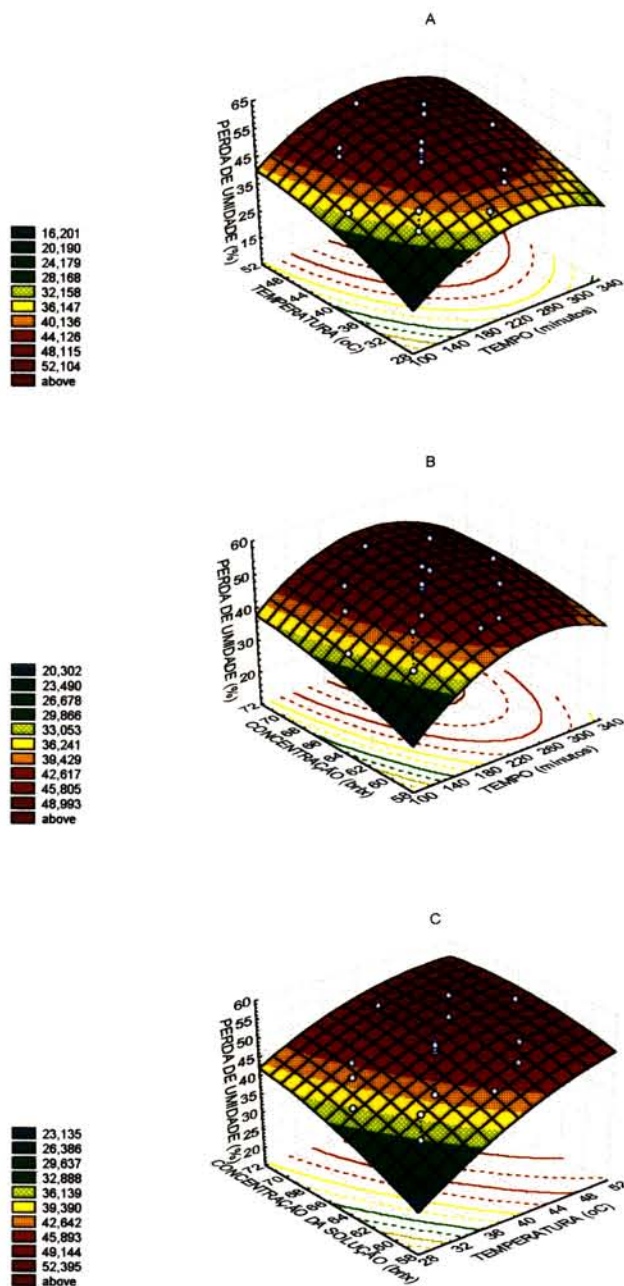


Figura 4.2 - Perda percentual de umidade de pedaços de abacaxi não revestidos. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

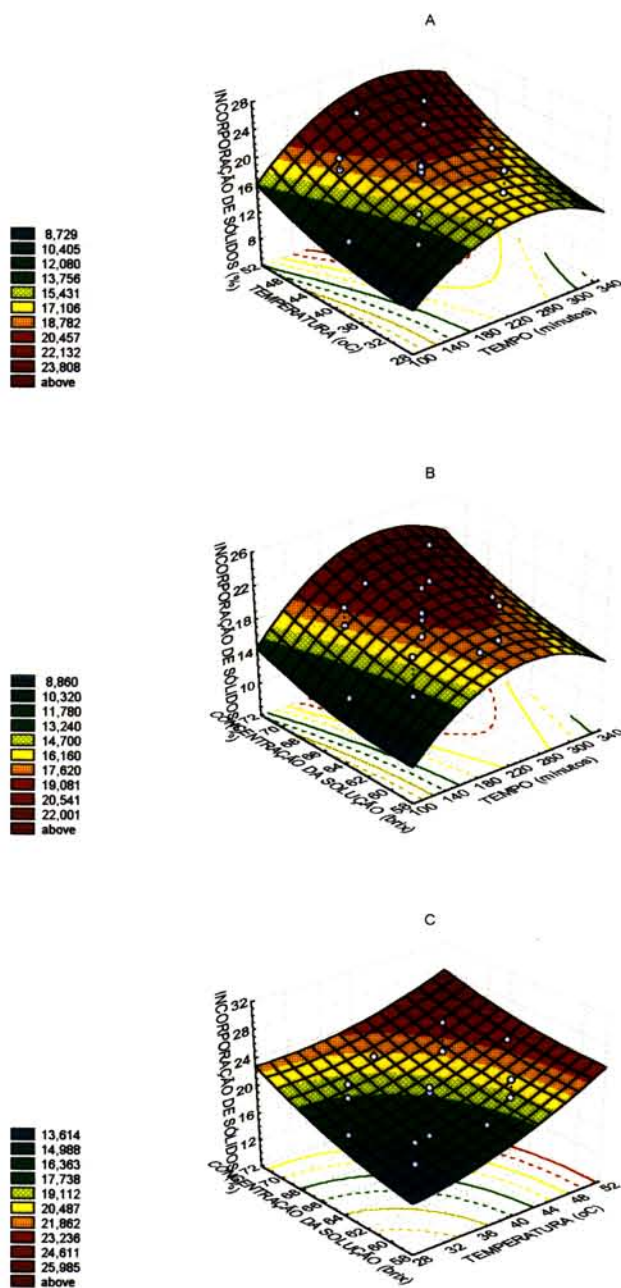


Figura 4.3 - Incorporação percentual de sólidos por pedaços de abacaxi não revestidos. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

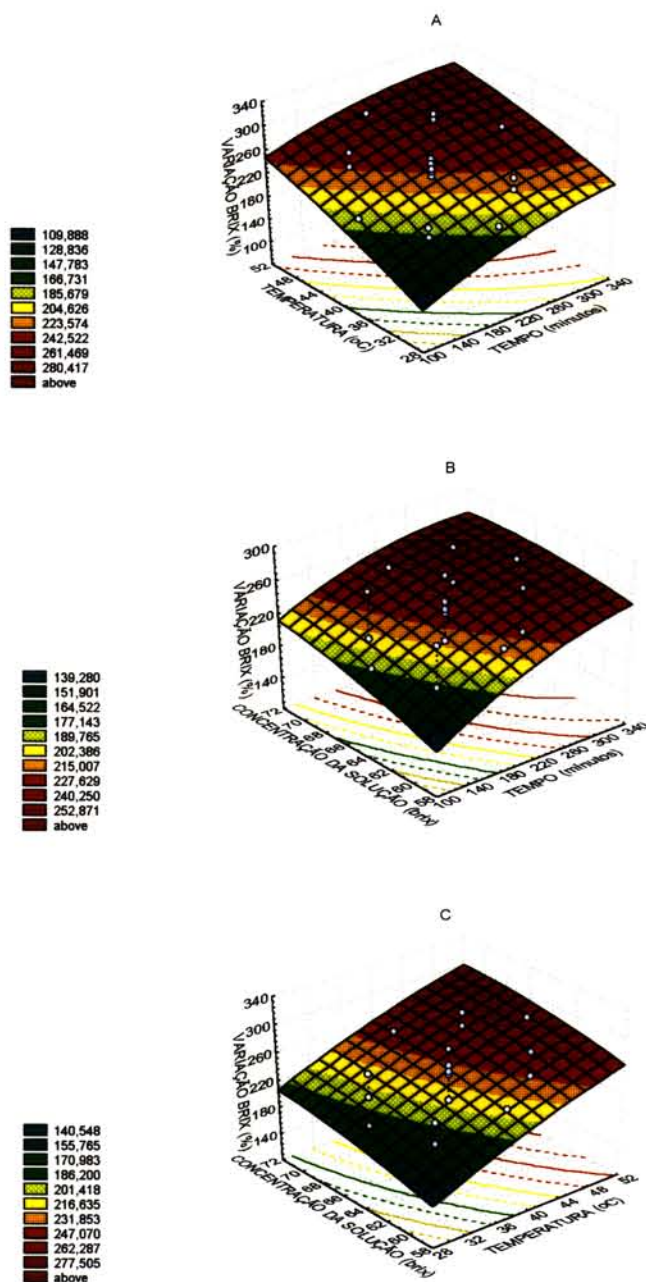


Figura 4.4 - Variação percentual no Brix de pedaços de abacaxi não revestidos. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

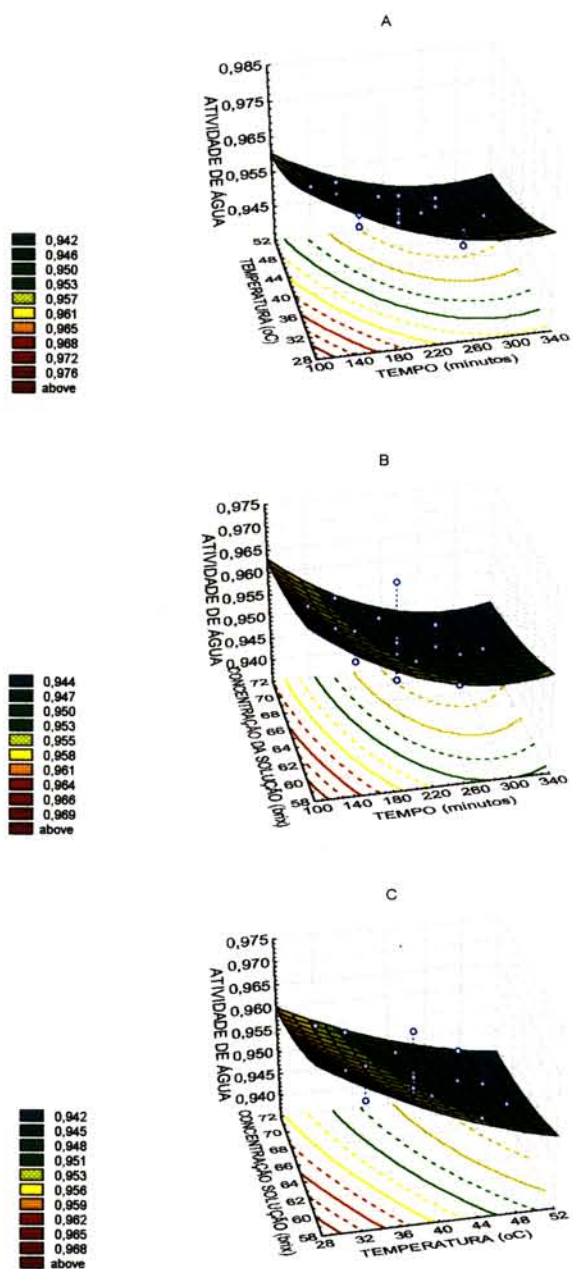


Figura 4.5 - Atividade de água final de pedaços de abacaxi não revestidos. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

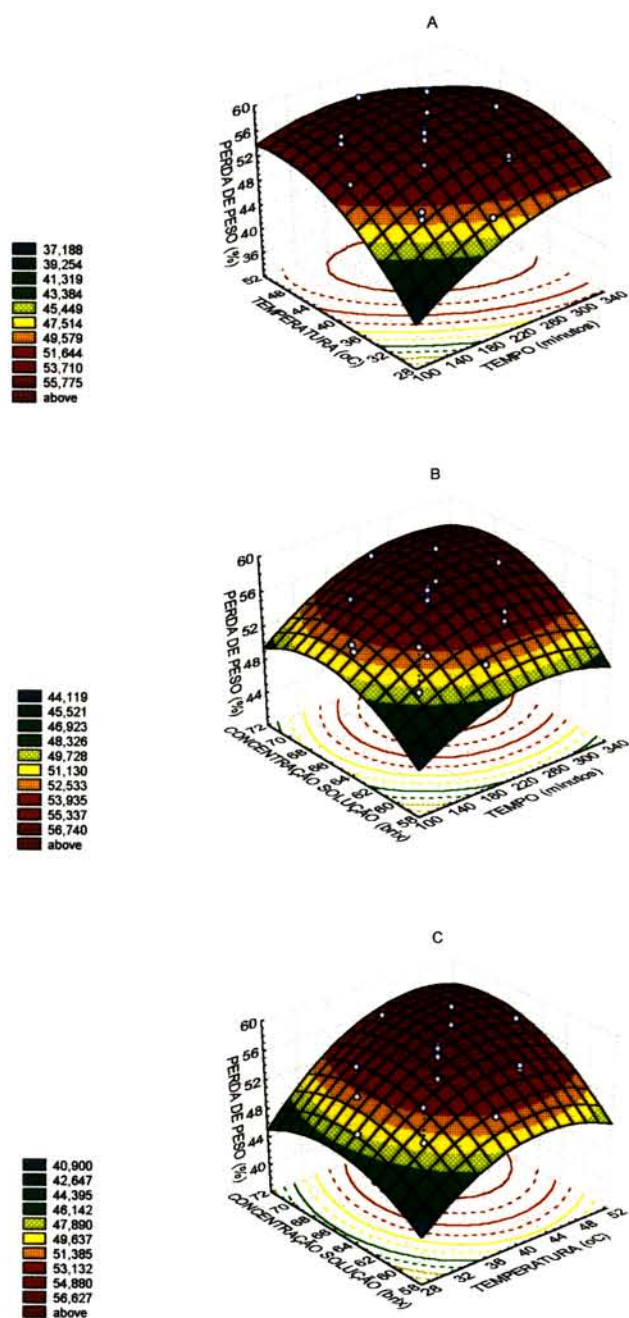


Figura 4.6 - Perda percentual de peso de pedaços de abacaxi revestidos com alginato. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

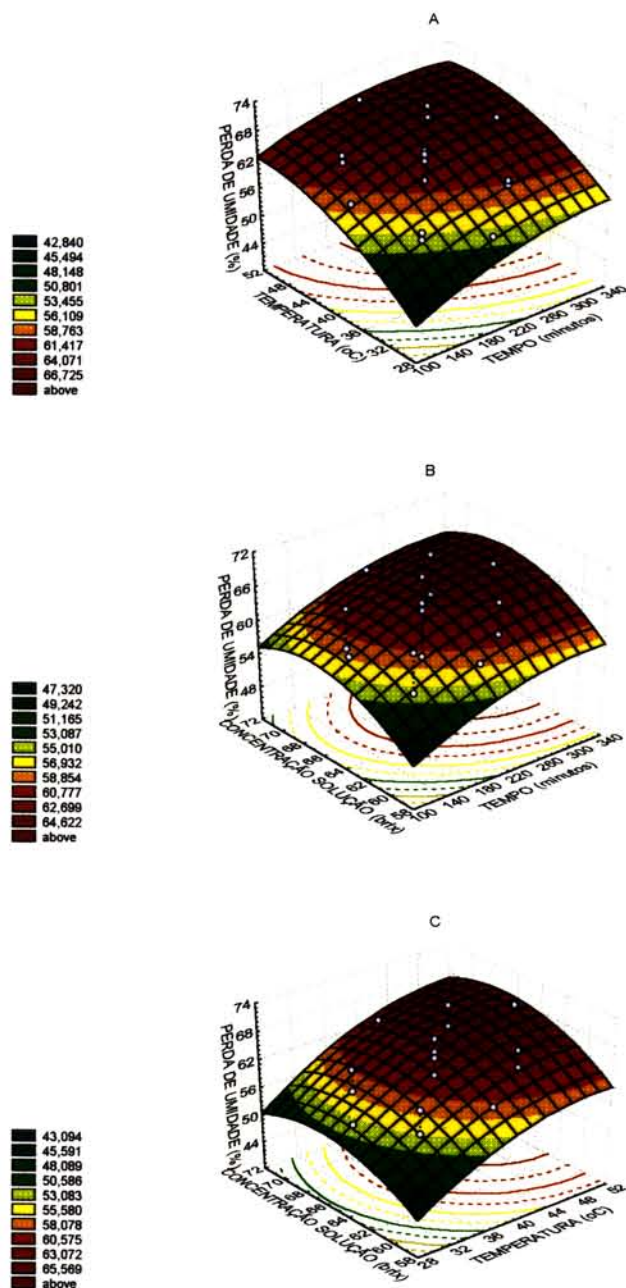


Figura 4.7 - Perda percentual de umidade de pedaços de abacaxi revestidos com alginato. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

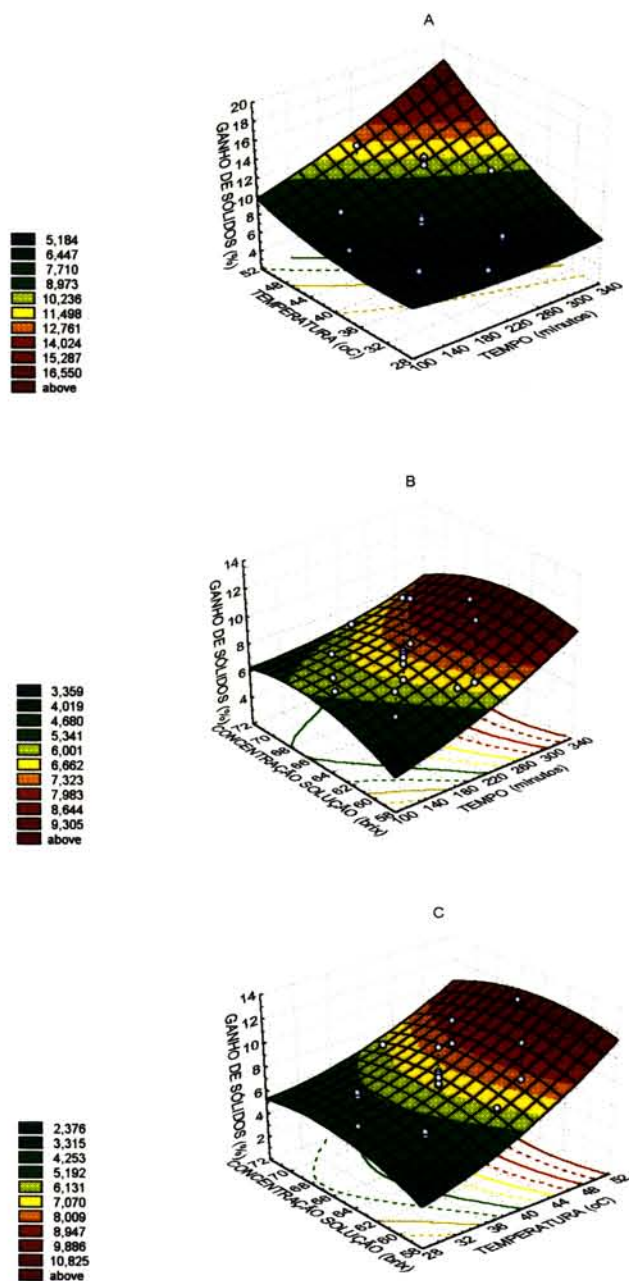


Figura 4.8 - Incorporação percentual de sólidos por pedaços de abacaxi revestidos com alginato. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

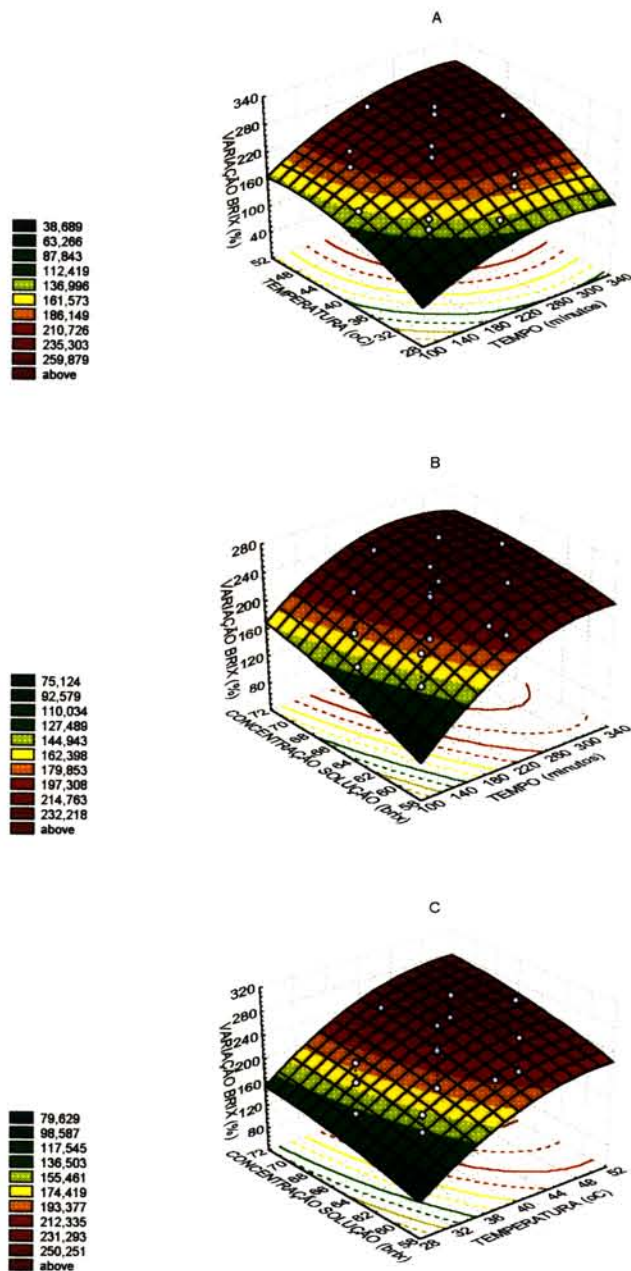


Figura 4.9 - Variação percentual no Brix de pedaços de abacaxi revestidos com alginato. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

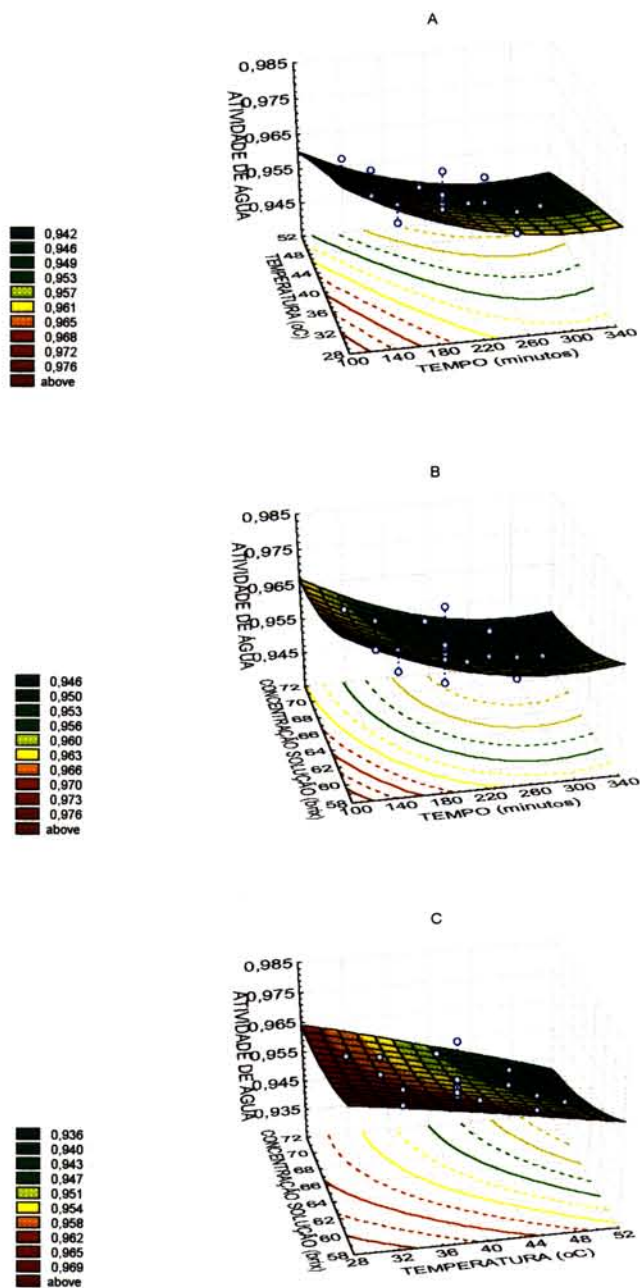


Figura 4.10 - Atividade de água final de pedaços de abacaxi revestidos com alginato. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

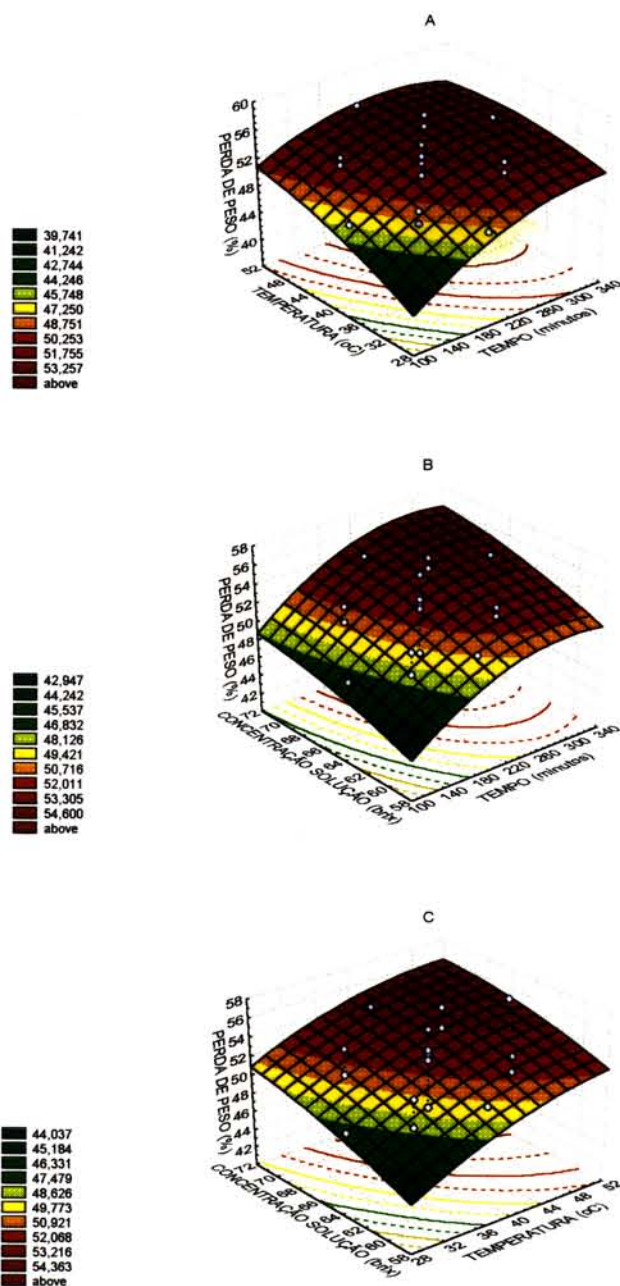


Figura 4.11 - Perda percentual de peso de pedaços de abacaxi revestidos com pectina. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

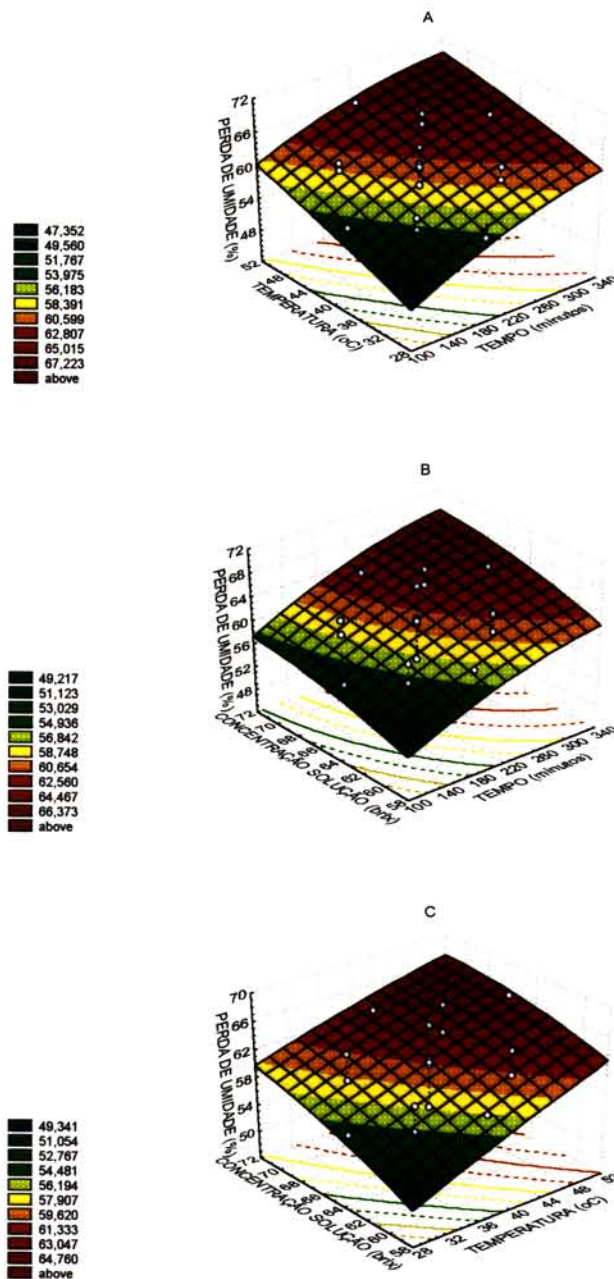


Figura 4.12 - Perda percentual de umidade de pedaços de abacaxi revestidos com pectina. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

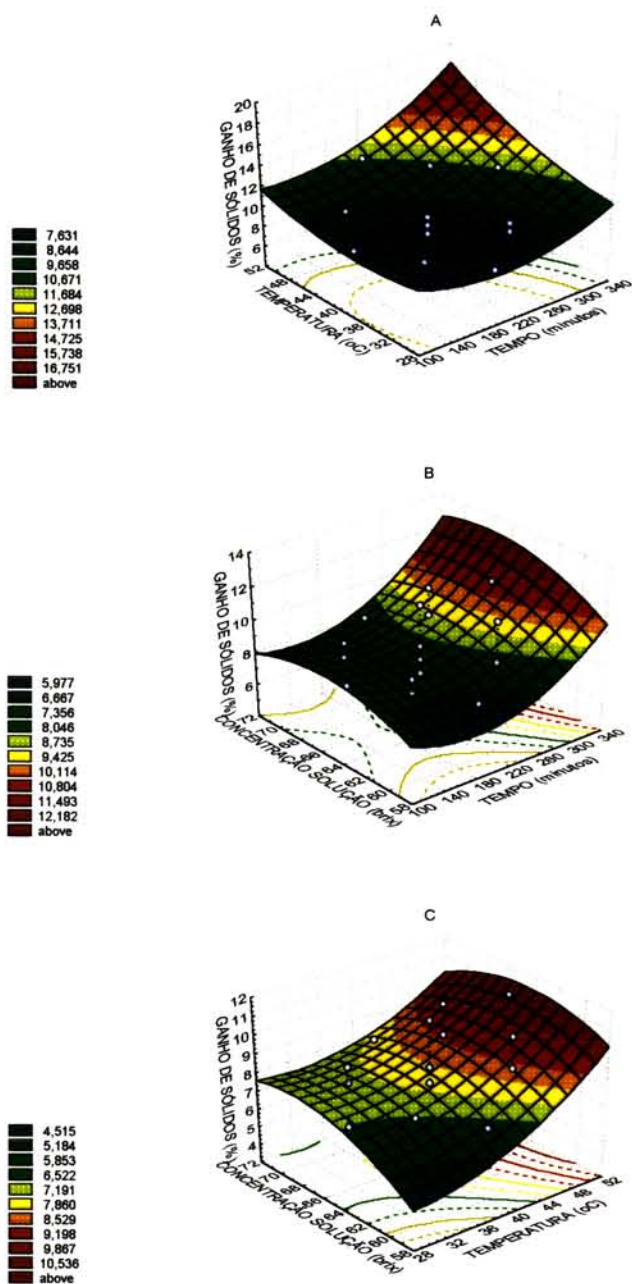


Figura 4.13 - Incorporação percentual de sólidos por pedaços de abacaxi revestidos com pectina. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

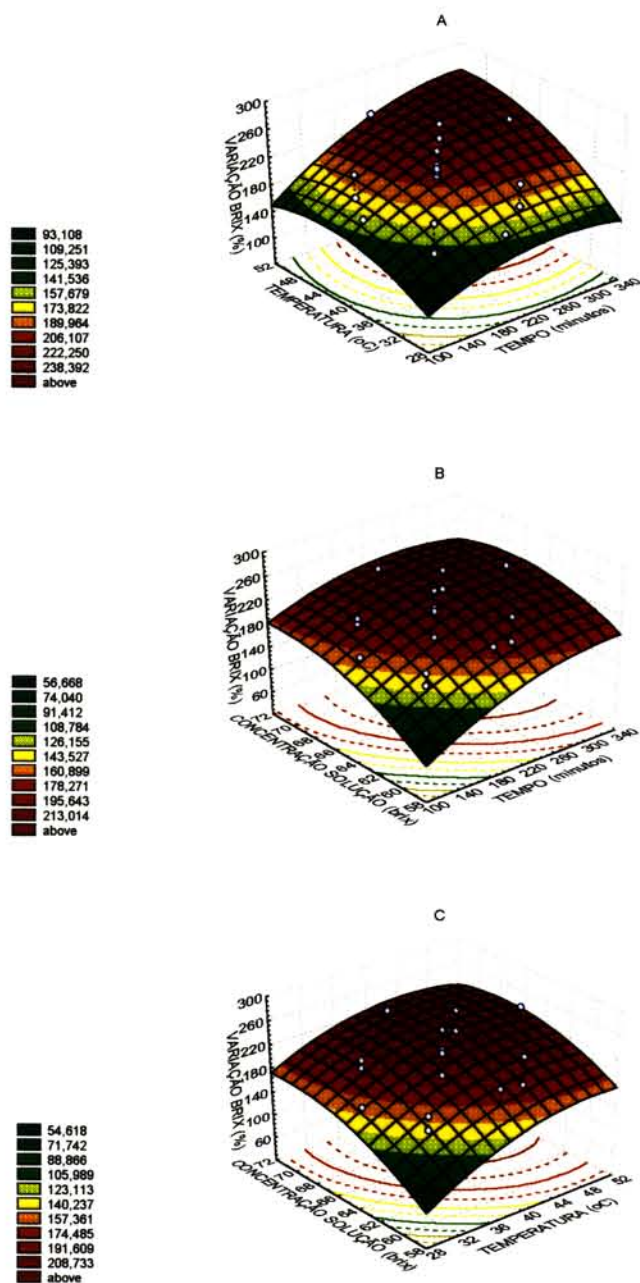


Figura 4.14 - Variação percentual no Brix de pedaços de abacaxi revestidos com pectina. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

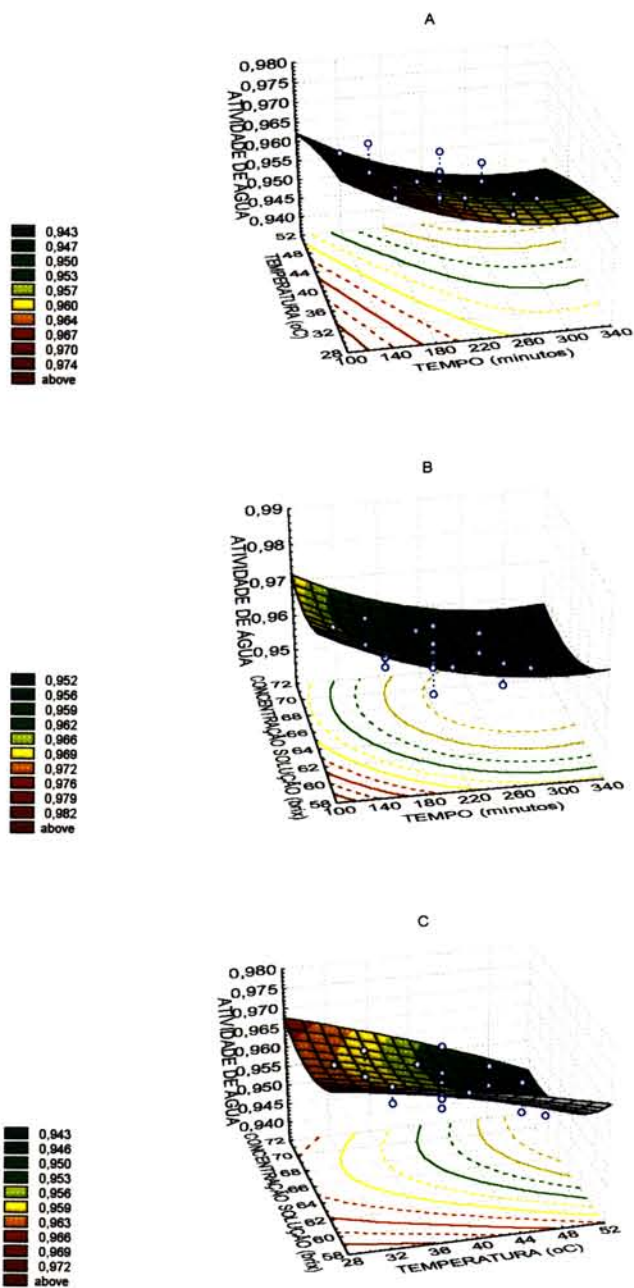


Figura 4.15 - Atividade de água final de pedaços de abacaxi revestidos com pectina. A: tempo x temperatura; B: tempo x concentração da solução; C: temperatura x concentração da solução.

4.3. EQUAÇÕES REPRESENTATIVAS DAS RESPOSTAS

As equações representativas de cada resposta são apresentadas a seguir, acompanhadas dos respectivos valores de F e r^2 .

Considera-se:

t = tempo de processo (minutos);

T = temperatura (°C);

B = concentração da solução osmótica (°Brix).

4.3.1. Equações representativas das respostas referentes ao bloco A

- Perda de peso

$$PP_A (\%) = -522,980196 + 0,445053 \cdot t - 0,000492 \cdot t^2 + 5,004871 \cdot T - 0,043738 \cdot T^2 + 11,558890 \cdot B - 0,079826 \cdot B^2 - 0,001612 \cdot tT - 0,002027 \cdot tB - 0,008667 \cdot TB$$

(Equação 4.1)

$$F = 6,38 > F_{5\%} = 3,18$$

$$r^2 = 0,8644$$

- Perda de umidade

$$PU_A (\%) = -500,122385 + 0,617012 t - 0,000916 t^2 + 5,620283 T - 0,029316 T^2 + 9,962517 B - 0,052487 B^2 - 0,002348 tB - 0,035593 TB$$

(Equação 4.2)

$$F = 30,53 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9683$$

- Incorporação de sólidos

$$IS_A (\%) = 47,654980 + 0,124710 t - 0,000444 t^2 + 0,141813 T + 0,012528 T^2 - 2,196562 B + 0,023142 B^2 + 0,000787 tT + 0,001039 tB - 0,014494 TB$$

(Equação 4.3)

$$F = 14,27 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9369$$

- Variação no Brix

$$VB_A (\%) = -1380,405252 + 1,958849 t - 0,001242 t^2 + 12,821036 T - 0,059641 T^2 - 27,413338 B - 0,157210 B^2 - 0,006811 tT - 0,011672 tB - 0,025860 TB$$

(Equação 4.4)

$$F = 27,81 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9653$$

- Atividade de água

$$AW_A = 1,30608120 - 0,00035100 t + 0,000000518 t^2 - 0,00393031 T + 0,00001974 T^2 - 0,00582691 B + 0,00003278 B^2 + 0,00000105 tT + 0,00000009 tB + 0,00001904 TB$$

(Equação 4.5)

$$F = 10,02 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9093$$

4.3.2. Equações representativas das respostas referentes ao bloco B

- Perda de peso

$$PP_B (\%) = -429,548955 + 0,156253 t + 0,000258 t^2 + 2,797109 T - 0,040557 T^2 + 11,884253 B - 0,096907 B^2 - 0,002693 tT + 0,001416 tB + 0,022195 TB$$

(Equação 4.6)

$$F = 20,69 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9539$$

- Perda de umidade

$$PU_B (\%) = -583,367557 + 0,151401 t - 0,000209 t^2 + 2,750572 T - 0,032161 T^2 + 16,588890 B - 0,127817 B^2 - 0,000814 tT + 0,000301 tB + 0,011414 TB$$

(Equação 4.7)

$$F = 20,34 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9531$$

- Incorporação de sólidos

$$IS_B (\%) = -153,867492 - 0,005955 t + 0,000049 t^2 - 0,037709 T + 0,008394 T^2 + 4,704776 B - 0,030901 B^2 + 0,001879 tT - 0,001098 tB - 0,010916 TB$$

(Equação 4.8)

$$F = 9,95 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9087$$

- Variação no Brix

$$VB_B (\%) = -1981,249843 + 2,595962 t - 0,003257 t^2 + 24,815167 T - 0,279983 T^2 + 33,858234 B - 0,203982 B^2 + 0,011662 tT - 0,017386 tB + 0,018910 TB$$

(Equação 4.9)

$$F = 12,86 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9279$$

- Atividade de água

$$AW_B (\%) = 1,31665338 - 0,00028194 t + 0,00000051 t^2 + 0,00135937 T - 0,00000403 T^2 - 0,00902071 B + 0,00007124 B^2 + 0,00000097 tT - 0,00000088 tB - 0,00003322 TB$$

(Equação 4.10)

$$F = 5,81 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,8532$$

4.3.3. Equações representativas das respostas referentes ao bloco C

- Perda de peso

$$PP_C (\%) = -116,049216 + 0,168367 t - 0,000222 t^2 + 1,811313 T - 0,010441 T^2 + 2,811267 B - 0,017119 B^2 - 0,001320 tT + 0,000263 tB - 0,006192 TB$$

(Equação 4.11)

$$F = 5,23 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,8395$$

- Perda de umidade

$$PU_C (\%) = -149,464156 + 0,104335 t - 0,000127 t^2 + 1,743527 T - 0,003290 T^2 + 4,008741 B - 0,023083 B^2 - 0,000552 tT + 0,000441 tB - 0,013826 TB$$

(Equação 4.12)

$$F = 6,44 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,8655$$

- Incorporação de sólidos

$$IS_C (\%) = -116,4720 - 0,135225 t + 0,000167 t^2 - 0,209291 T - 0,009086 T^2 + 4,114854 B - 0,029277 B^2 + 0,001032 tT + 0,000614 tB - 0,008409 TB$$

(Equação 4.13)

$$F = 10,30 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,9115$$

- Variação no Brix

$$VB_c (\%) = -4471,283318 + 2,085294 t - 0,002171 t^2 + 29,620512 T - 0,244986 T^2 + 109,415392 B - 0,713419 B^2 + 0,016366 tT - 0,021747 tB - 0,152830 TB$$

(Equação 4.14)

$$F = 4,11 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,8045$$

- Atividade de água

$$AW_c (\%) = 1,66237064 - 0,00031058 t + 0,00000044 t^2 + 0,00232154 T - 0,00001001 T^2 - 0,02026123 B + 0,00015638 B^2 - 0,00000012 tT + 0,00000071 tB - 0,00003509 TB$$

(Equação 4.15)

$$F = 6,38 > F_{5\%} = 3,18 \quad r^2 = 0,8644$$

4.4. ANÁLISE DOS MODELOS E OTIMIZAÇÃO

Pode-se observar que todas as equações estão adequadas para representar as respectivas respostas, já que os valores de F são todos significativos ao nível de 5%, e os coeficientes de correlação (r^2) são superiores a 0,80.

Pela análise das superfícies, juntamente com as equações correspondentes a cada resposta, procedeu-se à determinação das condições experimentais ótimas.

O critério adotado para otimização do produto foi o seguinte: a obtenção de um produto que conjugasse máxima perda de umidade e mínima incorporação de açúcares.

Daí a questão: o que maximizar e/ou minimizar? A resposta dada a esta questão foi baseada nos resultados obtidos.

A simples maximização da perda de umidade conduziria a um produto com alta incorporação de sólidos; por outro lado, a simples minimização da incorporação de sólidos conduziria a um produto com baixa perda de umidade. A maximização da variação no Brix, assim como a minimização da atividade de água, resultariam em um produto com alta incorporação do soluto.

A perda de peso, nada mais sendo que a diferença entre perda de água e ganho de sólidos, representa muito bem o critério procurado para otimização do processo. A maximização da perda de peso envolveria um balanço entre maximização da perda de umidade e minimização da incorporação de sólidos, que é exatamente o que se procura obter.

Em consequência dessa análise dos possíveis critérios, as superfícies representativas da perda de peso acabaram por ser consideradas as mais representativas das condições ótimas. Daí a escolha final da **maximização da perda de peso** como critério principal para otimização do processo.

A fase final da escolha das condições experimentais ótimas consistiu em se determinar os pontos de inflexão dos gráficos referentes à perda de peso. Esses pontos foram obtidos a partir de derivações das equações referentes à perda de peso correspondentes a cada um dos três blocos. As derivações dessas equações em relação a cada um dos fatores resultaram em sistemas de 3 equações e 3 variáveis, para cada um dos blocos: (1) $\partial PP/\partial t = 0$; (2) $\partial PP/\partial T = 0$ e (3) $\partial PP/\partial B = 0$. (Sendo: PP=

= perda percentual de peso; t = tempo; T = temperatura; B = Brix da solução.) As resoluções dos sistemas tiveram como resultados os valores das variáveis independentes correspondentes aos pontos de inflexão (que as superfícies de resposta mostraram serem pontos de máximo).

A resolução do sistema formado pelas derivadas da equação 4.1 (correspondente à perda de peso nos ensaios do bloco A) resultou nas seguintes condições ótimas: 239 minutos de processo a 46°C , em solução de sacarose a 67°Brix . Sob estas condições, a perda de peso predita pela equação é de 32,17%.

No caso da equação 4.6, correspondente à perda de peso nos ensaios do bloco B, a resolução do sistema de derivadas resultou nas seguintes condições ótimas: 257 minutos de processo a $44,5^{\circ}\text{C}$, em solução osmótica a $68,5^{\circ}\text{Brix}$. Sob tais condições, o modelo previu uma perda de peso de 58,87%.

Para os ensaios do bloco C, a resolução do sistema resultou no ponto de inflexão formado pelas condições: 287 minutos, 46°C , 76°Brix . Sob tais condições, a perda de peso predita pela equação é de 56,65%.

Confirmando o que se havia observado graficamente, percebe-se o grande aumento acarretado por ambas as coberturas sobre a perda de peso do material durante o processo, em relação ao material não coberto.

Comparando-se os resultados obtidos, nota-se que o maior valor, entre as máximas perdas de peso, foi predito pelo modelo correspondente ao bloco B.

A perda de peso máxima predita para o bloco C não foi muito inferior à do bloco B; entretanto, ela ocorreria com a utilização de uma solução de sacarose a 76°Brix , concentração esta impraticável, dentro das condições experimentais adotadas. Como mostraram os testes preliminares, uma solução de sacarose a 76°Brix não se mantém

como tal, sob a faixa de temperatura utilizada, ocorrendo precipitação. Além disso, as condições ótimas preditas foram obtidas por extrapolação dos dados experimentais, já que a concentração de 76°Brix está fora da faixa de concentrações utilizada experimentalmente, o que, segundo THOMPSON (1982), invalida a predição; segundo este autor, os modelos matemáticos obtidos seriam confiáveis apenas dentro das faixas utilizadas experimentalmente.

Portanto, foram consideradas como ótimas as seguintes condições experimentais: desidratação de pedaços de abacaxi revestidos com **alginato de cálcio**, por **257 minutos**, em solução de sacarose a **68,5°Brix**, e à temperatura de **44,5°C**.

4.5. CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO OTIMIZADO

4.5.1. Respostas observadas *versus* respostas preditas

As respostas avaliadas no produto otimizado estão apresentadas na Tabela 4.4, assim como as respostas preditas pelos modelos.

Observa-se que há muito boa aproximação entre as respostas preditas e as observadas, o que novamente reforça a validade dos modelos.

Tabela 4.4 - Respostas preditas para o produto otimizado e respostas observadas experimentalmente

	RESPOSTA PREDITA	RESPOSTA OBSERVADA
Perda de peso (%)	58,87	57,35
Perda de umidade (%)	67,82	65,61
Incorporação de sólidos (%)	8,95	8,26
Variação no Brix (%)	267,73	253,92
Atividade de água final	0,945	0,948

4.5.2. Caracterização física e química

Os resultados das avaliações físicas e químicas do produto otimizado foram os seguintes:

- Teor de umidade: 57,73%;
- Teor de sólidos solúveis: 36,1 °Brix;
- Teor de açúcares totais: 35,71%;
- Teor de açúcares redutores: 22,42%;
- Acidez titulável (expressa em % de ácido cítrico): 1,09%;

- Relação Brix / acidez: 33,12;
- Atividade de água: 0,948;
- pH: 3,7;
- Teor de sorbato de potássio: 946 ppm;
- Teor de SO₂: 53 ppm.

Pode-se observar que o pH final do produto é inferior ao mínimo valor requerido para crescimento de bactérias, segundo ALZAMORA (1994). Entretanto, segundo a mesma autora, tal valor de pH, por si só, não seria suficiente para inibir o crescimento de bolores e leveduras. Conta-se, portanto, com a combinação dos obstáculos utilizados para inibição do crescimento desses últimos.

As concentrações dos conservantes químicos estão abaixo dos limites máximos previstos pela legislação para frutas cristalizadas e glaceadas.

Os valores de pH e a_w do produto final representam condições desfavoráveis à ocorrência da reação de Maillard, como já discutido no item 2.3.2. Além disso, contou-se com o efeito do SO₂ para retardar a reação. De fato, durante um período de estocagem de 2 meses, não foram observadas alterações visuais de coloração no produto.

4.5.3. Avaliação da estabilidade microbiológica

As contagens de bolores e leveduras, realizadas dentro de um período de 2 meses de estocagem, foram inferiores a 10 UFC/g. Portanto, pode-se concluir que o

produto otimizado apresentou vida de prateleira de **pelo menos** 2 meses à temperatura constante de 30°C, já que não foram feitas avaliações subsequentes.

4.5.4. Avaliação sensorial

Os resultados obtidos sensorialmente estão apresentados em histograma (Figura 4.16).

As médias ponderadas das respostas sensoriais, para cada atributo julgado, foram as seguintes:

- Aparência: 6,90
- Aroma: 6,83
- Sabor: 7,33
- Textura: 7,37

Pode-se perceber, pelos resultados, que o produto teve boa aceitação geral, em relação a todos os atributos julgados.

Entre as observações destacadas pelos provadores, a mais frequente foi com relação à manutenção das características sensoriais da fruta *in natura*.

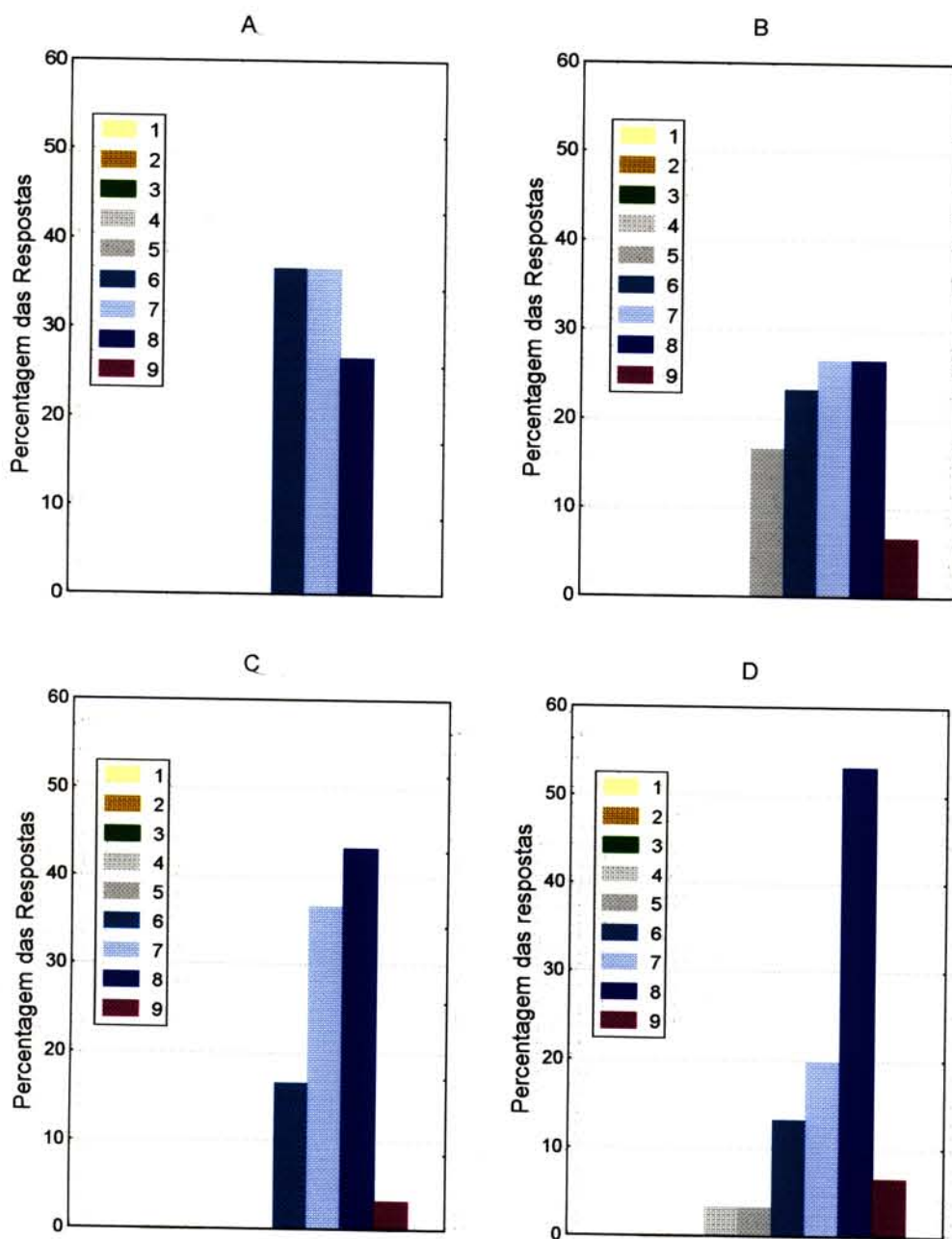


Figura 4.16 - Histogramas de distribuição das respostas sensoriais de aceitação, em escala hedônica de 9 pontos.
A: aparência; B: aroma; C: sabor e D: textura.

5. CONCLUSÕES:

- As condições ótimas do processo de desidratação osmótica de abacaxi, tomando-se por base o critério de conjugar uma máxima perda de água a uma mínima incorporação de sólidos, foram determinadas matematicamente como sendo as seguintes: abacaxi revestido com cobertura de alginato de cálcio, desidratado por 257 minutos a 44,5°C, em solução de sacarose a 68,5 °Brix.
- Os modelos matemáticos obtidos para as variáveis estudadas mostraram-se adequados para representação do processo, dentro das faixas experimentais utilizadas.
- Uma importante constatação feita a partir dos dados deste trabalho diz respeito à grande influência das coberturas utilizadas sobre as transferências de massa do processo, no sentido de reduzir a incorporação de solutos, ao mesmo tempo aumentando a perda de água pela fruta.
- O produto otimizado apresentou boa estabilidade, tendo apresentado uma vida-de-prateleira de pelo menos 2 meses à temperatura de 30°C; não foram feitas avaliações posteriores a esse período.
- Sensorialmente, o produto foi bem aceito, sendo que vários provadores se referiram à semelhança sensorial com a fruta fresca; isso era um resultado esperado, já que os fatores de preservação foram utilizados em baixos níveis, o que permitiu que os danos, especialmente ao sabor e à textura, fossem reduzidos em relação a produtos obtidos por processos convencionais.
- Pode-se dizer que o trabalho alcançou os objetivos a que se propôs, já que atingiu o objetivo de maximizar o balanço entre perda de água e ganho de solutos, e permitiu

a obtenção, por uma combinação de fatores de conservação (atividade de água, pH e uso de conservantes), de um produto similar à fruta fresca, e com boa estabilidade à temperatura ambiente.

- O processo estudado é uma boa alternativa para conservação do abacaxi, sendo tecnicamente simples e de custo relativamente baixo. Além disso, sempre deve ser considerado o aspecto da conveniência, já que se observa uma tendência crescente do consumidor a uma demanda por produtos que exijam o mínimo (ou nenhum) tempo de preparo. O produto em questão é similar à fruta fresca, com a grande vantagem de não necessitar de nenhuma forma de preparo por parte do consumidor.

BIBLIOGRAFIA:

- A.O.A.C. Association of Official Analytical Chemists: Official Methods of Analysis. 16. ed. Washington, 1995.
- AGUILERA, J.M.; CHIRIFE, J. Combined methods for the preservation of foods in Latin America and the CYTED-D project. **Journal of Food Engineering**, London, 22 (1-4): 433-444, 1994.
- AGUILERA, J.M.; CHIRIFE, J.; PARADA-ARIAS, E.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. CYTED-D AHL: an Ibero-American project on intermediate moisture foods and combined methods technology. **AIChE Symposium Series**, New York, 89 (297): 72-79, 1993.
- 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.
- ALZAMORA, S.M.; TAPIA, M.S.; ARGÁIZ, A.; WELLI, J. Application of combined methods technology in minimally processed fruits. **Food Research International**, London, 26 (2): 125-130, 1993.
- ARGAIZ, A.; LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J. Osmotic dehydration of papaya with corn syrup solids. **Drying Technology**, 12 (7): 1709-1725, 1994.
- B.A.M. **Bacteriological analytical manual**. 6.ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1984.

- 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.
- 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, 25 (5): 576-582, 1990.
- BLEINROTH, E.W. Matéria-prima. In: MEDINA, J.C. *et alii* **Abacaxi: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1987. p. 133-164.
- BOLIN, H.R.; HUXSOLL, C.C.; JACKSON, R.; NG, K.C. Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality. **Journal of Food Science**, Chicago, 48 (1): 202-205, 1983.
- BORSATO, D.; DA SILVA, R.S.F. Otimização de sistemas alimentares através da metodologia da superfície de resposta. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 5 (2): 132-143, 1985.
- CAMIRAND, W.; KROCHTA, J.M.; PAVLATH, A.E.; WONG, D.; COLE, M.E. Properties of some edible carbohydrate polymer coatings for potencial use in osmotic dehydration. **Carbohydrate Polymers**, Great Yarmouth, 17 (1): 39-49, 1992.
- 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, 19: 472-473, 1968.

- CHANES, J.W.; ALZAMORA, S.M.; RAPIA, M.S.; ARGALIZ, A. Aplicaciones de los factores combinados en frutas y hortalizas. 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. 155-166.
- CHIRIFE, J. Physicochemical aspects of food preservation by combined factors. **Food Control**, Oxford, 4(4): 210-215, 1993.
- CHIRIFE, J.; FAVETTO, G.J. Some physico-chemical basis of food preservation by combined methods. **Food Research International**, London, 25(5): 389-396, 1992.
- CÓDIGO SANITÁRIO. Decreto nº 12342, de 27 de setembro de 1978. Regulamento da promoção, preservação e recuperação da saúde no campo de competência da Secretaria de Estado da Saúde. 5ª ed. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado, 1992.
- COLLINS, J.L. **The pineapple**. New York: Interscience Publishers Inc., 1960. 532 p.
- CONTRERAS, J.E.; SMYRL, T.G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, Ottawa, 14 (4): 310-314, 1981.
- EICHNER, K.; KAREL, M. The influence of water content and water activity on the sugar-amino browning reaction in model systems under various conditions. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, 20(2): 218-223, 1972.
- ERBA, M.L.; FORNI, E.; COLONELLO, A.; GIANGIACOMO, R. Influence of sugar composition and air dehydration levels on the chemical-physical characteristics of osmodehydrofrozen fruit. **Food Chemistry**, Barking, 50(1): 69-73, 1994.

- 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, 22(1/2): 17-335, 1988.
- FERNANDEZ, D.; VELEZMORO, C.; ZAPATA, C. Determinacion de la difusividad efectiva de la sacarosa en papaya (*Carica papaya* L.) inmersa en soluciones azucaradas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, 15(3):246-250, 1995.
- FLOROS, J.D.; CHINNAN, M.S. Computer graphics-assisted optimization for product and process development. **Food Technology**, Chicago, 42 (2): 72 - 78, 1988.
- FOX, M.; LONCIN, M. Investigations into the microbiological stability of water-rich foods processed by a combination of methods. **Lebensmittel -Wissenschaft und-Technologie**, London, 15 (6): 321-325, 1982.
- GARROTE, R.L.; SILVA, E.R.; BERTONE, R.A. Osmotic concentration at 5°C and 25°C of pear and apple cubes and strawberry halves. **Lebensmittel -Wissenschaft und-Technologie**, London, 25 (2): 133-138, 1992.
- GIANGIACOMO, R.; TORREGIANI, D.; ABBO, E. Osmotic dehydration of fruit: Part 1. Sugars exchange between fruit and extracting syrups. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, 11 (3): 183-195, 1987.
- GONTARD, N.; GUILBERT, S. Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. **Boletim do SBCTA**, Campinas, 30(1): 3-15, 1995.

- GUILBERT, S. Technology and application of edible protective films. In: MATHLOUTHI, M., ed. **Food packaging and preservation: theory and practice**. London: Elsevier Applied Science Publishing Company, 1986. p. 371-394.
- GUILBERT, S. Use of superficial edible layer to protect intermediate moisture foods: application to the protection of tropical fruit dehydrated by osmosis. In: SEOW, C.C., ed. **Food preservation by moisture control**. New York: Elsevier Applied Science, 1988. p. 199-219.
- HAWKES, J.; FLINK, J.M. Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, 2 (4): 265-284, 1978.
- HENG, K.; GUILBERT, S.; CUQ, J.L. Osmotic dehydration of papaya: influences of process variables on the product quality. **Science des Aliments**, Paris, 10(4): 831-848, 1990.
- HORNER, K.J.; ANAGNOSTOPOULOS, G.D. Combined effects of water activity, pH and temperature on the growth and spoilage potencial of fungi. **Journal of Applied Bacteriology**, Cambridge, 36(3):427-436, 1973.
- IMERSON, A. Application of alginates. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A., eds. **Gums and Stabilizers for the Food Industry, 5**. Oxford: Pergamon Press, 1990. p. 553-592.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Vol. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2. ed. São Paulo, 1976.

- KENNEDY, J.F.; GRIFFITHS, A.J.; ATKINS, D.P. The applications of hydrocolloids: recent developments, future trends. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A., eds. **Gums and Stabilizers for the Food Industry, 2:** application of hydrocolloids. Wrexham: Pergamon Press, 1984. 569 p, pp.417-455.
- KESTER, J.J.; FENNEMA, O.R. Edible films and coatings: a review. **Food Technology**, Chicago, 40 (12): 47-59, 1986.
- KING, A.H. Brown seaweed extracts (alginates). In: GLICKSMAN, M. **Food Hydrocolloids**, vol. II. Boca Raton: CRC Press, 1983. pp. 115-188.
- KYZLINK, V. **Principles of food preservation**; Trad. de J. Spalek. Praha: Elsevier Science Publishing Co. Inc.; Co-edition: SNTL - Publishers of Technical Literature, 1990. 598 p. (Developments in Food Science, vol. 22).
- LABUZA, T.P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food technology**, Chicago, 34 (4): 36-41 e 59, 1980.
- LABUZA, T.P.; TANNENBAUM, S.R.; KAREL, M. Water content and stability of low-moisture and intermediate-moisture foods. **Food Technology**, Chicago, 24(5): 543-550, 1970.
- LEISTNER, L. Food preservation by combined methods. **Food Research International**, London, 25(2): 151-158, 1992.
- LEISTNER, L. Further developments in the utilization of hurdle technology for food preservation. **Journal of Food Engineering**, London, 22 (1-4): 421-432, 1994.

- LEISTNER, L.; GORRIS, L.G.M. Food preservation by hurdle technology. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, 6(2): 41-46, 1995.
- LENART, A.; LEWICKI, P.P. Osmotic dehydration of apples at high temperature. In: Mujumbar, A.S., ed. **Drying '89**. Bristol: Hemisphere Publishing Corporation, 1990. p. 7-14.
- LERICI, C.R.; PINNAVAIA, G.; DALLA ROSA, M.; MASTROCOLA, D. Applicazione dell'osmosi diretta nella disidratazione della frutta. **Industrie Alimentari**, 3: 184-190, 1983.
- LEVI, A.; GAGEL, S.; JUVEN, B. Intermediate moisture tropical fruits products for developing countries. I. Technological data on papaya. **Journal of Food Technology**, London, 18 (6): 667-685, 1983.
- 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**, 16: 17-24, 1984.
- LONCIN, M.; BIMBENET, J.J.; LENGES, J. Influence of the activity of water on the spoilage of foodstuffs. **Journal of Food Technology**, London, 3(2):131-142, 1968.
- LÓPEZ-MALO, A.; PALOU, E.; WELTI, J.; CORTE, P.; ARGAIZ, A. Shelf-stable high moisture papaya minimally processed by combined methods. **Food Research International**, London, 27 (6): 545-553, 1994.
- MAURO, M.A. **Cinética da desidratação osmótica de banana nanica**. Campinas, 1992. 183 p. Tese (Mestre em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

- McWEENY, D.J. Sulphur dioxide and the Maillard reaction in food. **Progress in Food and Nutrition Science**, Oxford, 5:395-404, 1981.
- MEDINA, J.C. Cultura. In: MEDINA, J.C. *et alii*, eds. **Abacaxi: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1987. p. 1-132.
- 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. 48 p.
- MORRIS, E.R. Comparison of the properties and function of alginates and carragenan. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A., eds. **Gums and Stabilizers for the Food Industry, 5**. Oxford: Pergamon Press, 1990. p.483-496.
- MOY, J.H.; LAU, N.B.H.; DOLLAR, A.M. Effects of sucrose and acids on osmotic dehydration of tropical fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, 2 (2): 131-135, 1978.
- NISPEROS, M.O.; BALDWIN, E.A. Edible coatings for whole and minimally processed fruits and vegetables. **Food Australia**, North Sydney, 48(1): 27-31, 1996.
- NISPEROS-CARRIEDO, M.O. Edible coatings and films based on polysaccharides. 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. 305-335.
- OAKENFULL, D. Gelling agents. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, 26(1): 1-21, 1987.

- PAGLIARINI, E.; PERI, C.; ZANONI, B.; GHIZARDI, M. Optimisation of olive paste expression: maximizing yield by central composite design approach. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, 71(4): 470-474, 1996.
- PAKULA, W. Badanie wpływu sztucznych blon półprzepuszczalnych na parametry odwadniania osmotycznego jablek. SGGW-R w Warszawie. Thesis for M. S. degree, 1977. Apud: 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**, 16: 17-24, 1984.
- PONTING, J.D. Osmotic dehydration of fruits - recent modifications and applications. **Process Biochemistry**, Watford, 8 (12): 18-20, 1973.
- PONTING, J.D.; WATTERS, G.G.; FORREY, R.R.; JACKSON, R.; STANLEY, W.L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, Chicago, 20 (10): 1365-1368, 1966.
- POTTER, E.F.; HENDEL, C.E. Determination of sulfite in dehydrated white potatoes by direct titration. **Food Technology**, Chicago, 5 (11): 473-475, 1951.
- PY, C.; LACOEUILHE, J.J.; TEISSON, C. Botany and physiology. In: PY, C. *et alii* **The pineapple: cultivation and uses**. Paris: G.P. Maisonneuve et Larose, 1987. p. 55-123.
- QUINTERO-RAMOS, A.; VEGA, C.; HERNANDEZ, E.; ANZALDUA-MORALES, A. Effects of the conditions of osmotic treatment on the quality of dried apple dices. **AIChE Symposium Series**, New York, 89 (297): 108-113, 1993.

- RAHMAN, M.S.; LAMB, J. Osmotic dehydration of pineapple. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, 27 (3): 150-152, 1990.
- RAOULT-WACK, A.L. Recent advances in the osmotic dehydration of foods. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, 5 (8): 255-260, 1994.
- SCHULTZ, T.H.; OWENS, H.S.; MacLAY, W.D. Pectinate films. **Journal of Colloid Science**, New York, 3: 53-62, 1948.
- SIME, W.J. The practical utilisation of alginates in food gelling systems. In: PHILLIPS, G.O.; WEDLOCK, D.J.; WILLIAMS, P.A., eds. **Gums and Stabilizers for the Food Industry, 2**: application of hydrocolloids. Wrexham: Pergamon Press, 1984. pp.177-188.
- TAPIA, M.S.; ELGUEZÁBAL, L.G.; DÍAZ, R.V. Ecología microbiana de alimentos conservados por métodos 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. 59-84.
- THOMPSON, D.R. Response surface experimentation. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, 6 (3): 155-188, 1982.
- TORREGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, London, 26 (1): 59-68, 1993.
- TORREGIANI, D.; FORNI, E.; RIZZOLO, A. Osmotic dehydration of fruit. Part 2: Influence of the osmosis time on the stability of processed cherries. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, 12 (1): 27-44, 1987.

- TROLLER, J.A. Influence of water activity on microorganisms in foods. **Food Technology**, Chicago, 34 (5): 76-80, 1980.
- VAN DEN BERG, C.; BRUIN, S. Water activity and its estimation in food systems: theoretical aspects. In: ROCKLAND, L.B.; STEWART, G.F., eds. **Water activity: influences on food quality**. New York: Academic Press, 1981. p. 1-61.
- VEGA-MERCADO, H.; MARTÍN, O.; MONSALVE-GONZÁLEZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Cambios físico-químicos que ocurren durante el procesado y almacenamiento de alimentos conservados por factores combinados. In: MAUPOEY, P.F.; GRAU, A.A.; BOIX, A.C., eds. **Aplicación de factores combinados en la conservación de alimentos**. Valencia: Universitat Politécnica de Valencia, Servicio de Publicaciones, 1994. p. 107-131.
- 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, 11(1): 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**, Mysore, 27 (5): 307-308, 1990.
- VIJAYANAND, P.; CHAND, N.; EIPESON, W.E. Optimization of osmotic dehydration of cauliflower. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, 19(4): 229-242, 1995.
- 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.

ANEXO

FICHA PARA ANÁLISE DE ACEITAÇÃO (ESCALA HEDÔNICA)

Por favor, prove a amostra. Classifique-a de acordo com a escala abaixo, segundo cada um dos atributos indicados (aparência, aroma, sabor, textura):

1. Desgostei extremamente
2. Desgostei muito
3. Desgostei moderadamente
4. Desgostei ligeiramente
5. Não gostei nem desgostei
6. Gostei ligeiramente
7. Gostei moderadamente
8. Gostei muito
9. Gostei extremamente

() APARÊNCIA () AROMA () SABOR () TEXTURA

Observações: