UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ESTUDO DO PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA E SECAGEM DE NECTARINA (*Prunus persica*)

Por

Eder Augusto Furtado Araujo

Engenheiro Químico

Mestre em Engenharia de Alimentos

Orientadora: Profa. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos.

Campinas – SP

Fevereiro - 2005

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

Araujo, Eder Augusto Furtado
Ar15e Estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*) / Eder Augusto Furtado Araujo.—Campinas, SP: [s.n.], 2005.

Orientador: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Nectarina (*Prunus persica*). 2.Osmose. 3.Desidratação. 4.Planejamento experimental. 5.Secagem. 6.Encolhimento. I.Murr, Fernanda Elizabeth Xidieh. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

cars-fea

Palavras-chave em inglês (Keywords): Nectarina (*Prunus persica*), Osmosis, Dehydration, Experimental design, Drying, Shrinkage
Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos
Banca examinadora: Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
Satoshi Tobinaga
Kil Jin Park
Antonio Carlos Luz Lisboa
Patrícia Moreira Azoubel
Denise Gomes Alves

BANCA EXAMINADORA

Campinas, 28 de fevereiro de 2005

_____

Profa. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr
(Orientadora)

_____

Prof. Dr. Satoshi Tobinaga
(Membro)

_____

Prof. Dr. Kil Jin Park
(Membro)

_____

Prof. Dr. Antônio Carlos Luz Lisbôa
(Membro)

_____

Dra. Patrícia Moreira Azoubel
(Membro)

_____

Profa. Dra. Denise Gomes Alves
(Membro)

Dedico aos meus pais, Expedito e Benedita
que, além da vida, me deram muito incentivo
para que este dia chegasse e que nunca mediram
esforços para me proporcionar uma formação digna.

À minhas irmãs Ellen e Evelyn
que mesmo longe sempre estiveram
no meu coração.

À Suzi pelo amor, incentivo e sempre estar
ao meu lado incondicionalmente, e ao Lupy
que me faz uma pessoa muito feliz todos
os dias. Amo vocês de paixão!

AGRADECIMENTOS

À Deus, que é Pai misericordioso e que sempre me ilumina e me guia pelos caminhos corretos nos momentos mais difíceis.

À Profa. Dra. Fernanda Elizabeth Xidieh Murr pela orientação e ensinamentos durante toda minha jornada na pós-graduação, obrigado!.

Aos membros da banca examinadora Dr. Satoshi Tobinaga, Dr. Kil Jin Park, Dr. Antônio Carlos Luz Lisbôa, Dra. Patrícia Moreira Azoubel e Dra. Denise Gomes Alves, pela disposição em fazer as correções em tempo hábil, e pelas valiosas sugestões para a melhoria deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo auxílio financeiro concedido.

À Corn Products Brasil pelo fornecimento da glicose de milho utilizada nos ensaios de desidratação osmótica.

Aos meus amigos do Laboratório de Medidas Físicas Ânoar Abbas, Graziella Colato, José Lucena Jr., Daniela Pelegrini, Maristela Santana, Fernando Cascardo (*in memorian*), Louise Akemi, Márcia Simões e César Lescano que sempre souberam fazer do LAMEFI um ambiente agradável e aconchegante para se trabalhar.

À Adélia Cristina, Ângela Grandin (LAMEFI - FEA) e Juliana Tófano (LABORATÓRIO DE SECAGEM – FEAGRI), pessoas que tenho uma grande estima, que sempre estavam dispostas a colaborar, através de seus conhecimentos ou com uma conversa para descontrair.

Aos meus amigos paraenses Ricardo Lyan (Dinho), Cristiane Santos, Lydiane Leal, Samira Leão e Laura Abreu, que estiveram comigo no início de tudo e ajudaram a superar a saudade de casa com momentos muito divertidos. Valeu galera!

Aos amigos dos laboratórios "vizinhos" Daniel Atala, Izabel Berto, Maria Ivone, Michelle Berteli, Nádia Rosa, Raul Nunes, Lucinewton.

Aos meus professores da pós-graduação que contribuíram com seus conhecimentos para minha formação acadêmica, em especial ao Prof. Dr. Satoshi Tobinaga e ao Prof. Dr. Kil Jin Park que, além dos conhecimentos técnicos, sempre estavam a disposição para esclarecer quaisquer dúvida.

Aos funcionários da secretaria do Departamento de Engenharia de Alimentos e ao Sr. Cosme Perrota pela disposição em ajudar sempre.

Seria praticamente impossível lembrar de todas as pessoas que contribuíram de alguma maneira para que este trabalho chegasse ao final, se eu esqueci de você, desculpe mas tenha certeza que sou grato a todos do fundo do meu coração.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS..... x
LISTA DE TABELAS..... xiv
RESUMO..... xvi
ABSTRACT..... xvii
1 – INTRODUÇÃO..... 1
1.1 – OBJETIVOS..... 2
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 3
2.1 – NECTARINA (*PRUNUS PERSICA*)..... 3
2.1.1 – Produção..... 5
2.1.2 – Comércio de fruta fresca..... 7
2.1.3 – Produção e mercado de fruta desidratada..... 9
2.1.4 – Comércio de frutas desidratadas..... 9
2.2 – DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA..... 11
2.2.1 – Propriedades do tecido vegetal..... 13
2.2.2 – Tipo e concentração da solução osmótica..... 14
2.2.3 – Tempo de imersão..... 16
2.2.4 – Temperatura..... 16
2.2.5 – Agitação..... 17
2.2.6 – Cinética da desidratação osmótica..... 17
2.3 – UMIDADE DE EQUILÍBRIO..... 22
2.4 – SECAGEM..... 23
2.4.1 – Período de taxa constante..... 25
2.4.2 – Período de taxa decrescente..... 25
2.4.3 – Secagem de frutas..... 26
2.5 – ENCOLHIMENTO..... 29
2.5.1 - Mecanismo de encolhimento..... 30

2.5.1.1 – Volume de água removida..... 31
2.5.1.2 – Mobilidade da matriz sólida..... 31
2.5.1.3 – Taxa de secagem..... 32
2.5.1.4 – Condições de processamento..... 32
2.6 – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL..... 36
2.7 – ANÁLISE SENSORIAL..... 37
3 – MATERIAL E MÉTODOS..... 39
3.1 – MATÉRIA-PRIMA..... 39
3.2 – METODOLOGIA..... 39
3.2.1 – Obtenção das Amostras..... 39
3.2.2 – Desidratação Osmótica..... 40
3.2.3 – Planejamento Experimental..... 41
3.2.4 – Secagem..... 43
3.2.5 – Encolhimento..... 43
3.2.6 - Atividade de água (a_w)..... 44
3.2.7 - Determinação do conteúdo de carotenóides..... 44
3.2.8 - Análise Sensorial..... 44
3.2.9 – Ajuste dos modelos matemáticos..... 45
4 – RESULTADOS..... 47
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA..... 47
4.2 – DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA..... 47
4.2.1 – Perda de Água..... 50
4.2.2 – Ganho de sólidos..... 58
4.2.3 – Perda de Peso..... 64
4.2.4 – Otimização do Processo de Desidratação Osmótica..... 71
4.3 – SECAGEM..... 74
4.4 – Modelagem Matemática da Secagem..... 78
4.4.1 – Modelo de Fick..... 78
4.4.2 - Modelo de Page..... 82
4.5 – ENCOLHIMENTO..... 85
4.6 - ENERGIA DE ATIVAÇÃO..... 94

4.7 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO PRODUTO FINAL..... 95
4.8 - ANÁLISE SENSORIAL..... 98
5 – CONCLUSÕES..... 103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS…… 105

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplar de nectarina..... 4
Figura 2.2 – Importação de frutas desidratadas em mil toneladas(FAO, 2003)..... 10
Figura 2.3 – Importação de frutas desidratadas em US$ 1000 (FAO, 2003)..... 10
Figura 2.4 – Fluxos de massa durante o processo de desidratação osmótica..... 12
Figura 2.5 – Fatores que afetam a qualidade sensorial do alimento..... 38
Figura 3.1 – Etapas desenvolvidas no processo de desidratação osmótica..... 40
Figura 4.1 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a resposta parda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose..... 52
Figura 4.2 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a resposta parda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho..... 52
Figura 4.6 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40^{o}C (c)..... 56
Figura 4.7 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40^{o}C (c)..... 57
Figura 4.8 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose..... 59
Figura 4.9 – Gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho..... 59
Figura 4.10 – Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40^{o}C (c)..... 62
Figura 4.11 – Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40^{o}C (c)..... 63
Figura 4.12 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose..... 65

Figura 4.13 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho..... 66
Figura 4.14 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c)..... 69
Figura 4.15 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c)..... 70
Figura 4.16 – Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose a: t=165 min (a); T= 40°C (b) e C=50% (c)..... 72
Figura 4.17 – Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t=165 min (a); T= 40°C (b) e C=50% (c)..... 73
Figura 4.18 – Curva de secagem de nectarina para velocidade do ar de 1,5m/s..... 75
Figura 4.19 – Curva de secagem de nectarina para velocidade do ar de 2,1m/s..... 75
Figura 4.20 – Taxa de secagem da nectarina *in natura*..... 77
Figura 4.21 – Taxa de secagem da nectarina desidratada osmoticamente em sacarose..... 77
Figura 4.22 – Taxa de secagem da nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho..... 77
Figura 4.23 – Ajuste do modelo de Fick para a nectarina seca *in natura*. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo..... 79
Figura 4.24 – Ajuste do modelo de Fick para a nectarina desidratada osmoticamente em sacarose e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo..... 79
Figura 4.25 – Ajuste do modelo de Fick para a nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo..... 80
Figura 4.26 – Ajuste do modelo de Page para a nectarina seca *in natura*. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo..... 83
Figura 4.27 – Ajuste do modelo de Page para a nectarina desidratada osmoticamente em sacarose e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo..... 83

Figura 4.28 – Ajuste do modelo de Page para a nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo..... 84
Figura 4.29 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 40°C e velocidade do ar de 1,5m/s..... 86
Figura 4.30 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 40°C e velocidade do ar de 2,1m/s..... 86
Figura 4.31 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 50°C e velocidade do ar de 1,5m/s..... 87
Figura 4.32 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 50°C e velocidade do ar de 2,1m/s..... 87
Figura 4.33 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,5m/s..... 88
Figura 4.34 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 2,1m/s..... 88
Figura 4.35 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina *in natura* seca a 40°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 91
Figura 4.36 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina *in natura* seca a 50°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 91
Figura 4.37 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina *in natura* seca a 60°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 91
Figura 4.38 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em sacarose seca a 40°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 92

Figura 4.39 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em sacarose seca a 50°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 92
Figura 4.40 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em sacarose seca a 60°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 92
Figura 4.41 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em xarope de milho seca a 40°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 93
Figura 4.42 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em xarope de milho seca a 50°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 93
Figura 4.43 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em xarope de milho seca a 60°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s..... 93
Figura 4.44 – Perdas de carotenóides totais após a secagem de nectarina in natura e pré-tratada osmoticamente..... 97
Figura 4.45 – Perfil dos provadores utilizados no teste de aceitabilidade..... 98
Figura 4.46 – Histograma de freqüência dos valores atribuídos para a aparência e aroma das amostras de nectarina com e sem pré-tratamento..... 99
Figura 4.47 – Histograma de freqüência dos valores atribuídos para o sabor e textura das amostras de nectarina com e sem pré-tratamento..... 99
Figura 4.48 – Histograma de freqüência dos valores atribuídos para a textura das amostras de nectarina com e sem pré-tratamento..... 99
Figura 4.49 – Histograma de intenção de compra..... 10

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Composição química da nectarina..... 5
Tabela 2.2 – Principais países produtores de nectarina e pêssegos (1000 ton)..... 6
Tabela 2.3 – Estados brasileiros produtores de nectarina e pêssego (1998)..... 7
Tabela 3.1 – Especificações e composição do xarope de milho MOR-REX 1940..... 41
Tabela 3.2 – Matriz de planejamento da desidratação osmótica..... 42
Tabela 3.3 – Níveis das variáveis estudadas no planejamento fatorial completo..... 42
Tabela 4.1 – Composição parcial da nectarina..... 47
Tabela 4.2 – Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose..... 48
Tabela 4.3 – Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho..... 48
Tabela 4.4 – Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho..... 50
Tabela 4.5 – Análise de variância do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho..... 53
Tabela 4.4 – Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho..... 58
Tabela 4.5 – Análise de Variância do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho..... 60
Tabela 4.6 – Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho..... 64
Tabela 4.7 – Análise de Variância do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho..... 66
Tabela 4.8 – Melhores parâmetros de temperatura (T), concentração (C) e tempo de imersão (t) na desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose e xarope de milho..... 72
Tabela 4.9 – Valores experimentais e preditos pelos modelos das respostas PP, PA e GS para as condições otimizadas..... 73
Tabela 4.10 – Umidade relativa do ar e umidade de equilíbrio para as condições de processo para a fruta *in natura*, desidratada osmoticamente com sacarose (DOS) e desidratada osmoticamente com xarope de milho (DOG)..... 74
Tabela 4.11 – Valores de difusividade efetiva da água, R^2 e P para a nectarina seca *in natura*, pré-tratada osmoticamente com sacarose e pré-tratada osmoticamente com xarope de milho, respectivamente..... 78
Tabela 4.12 – Valores de K, b, R^2 e P do modelo de Page para a nectarina seca *in natura*, pré-tratada osmoticamente com sacarose e pré-tratada osmoticamente com xarope de milho..... 84
Tabela 4.13 – Coeficientes de encolhimento obtidos através do modelo uniforme 1... 90
Tabela 4.14 – Valores de energia de ativação calculados para a nectarina seca in natura e desidratada osmoticamente..... 95

Tabela 4.15 – Conteúdo de carotenóides na nectarina seca *in natura* e pré-tratada osmoticamente..... 96
Tabela 4.16 – Resultados de atividade de água da nectarina seca..... 98
Tabela 4.17 – Aceitação média dos atributos aparência, aroma, sabor, textura e impressão global de nectarina seca com e sem pré-tratamento osmótico..... 101

RESUMO

Neste trabalho estudou-se o processo combinado de desidratação osmótica seguido de secagem convencional a ar. O processo de desidratação osmótica foi realizado utilizando-se soluções de sacarose e glicose de milho, em diferentes concentrações e temperaturas. O processo osmótico foi delineado de acordo com um planejamento experimental completo (2^3), tendo como fatores a temperatura e a concentração da solução desidratante e o tempo de imersão, onde objetivou-se como resposta uma máxima perda de água com uma mínima incorporação de soluto. Na etapa de secagem foi feito um estudo tendo como variáveis a velocidade e a temperatura do ar, a fim de avaliar a influência dessas variáveis na cinética de secagem da fruta *in natura* e pré-tratadas osmoticamente. Estudou-se também o fenômeno do encolhimento durante o processo de secagem. O produto final foi avaliado através de determinações de carotenóides, atividade de água e análise sensorial.

ABSTRACT

In this work it was studied the combined process of osmotic dehydration with conventional air drying. The process of osmotic dehydration was carried out using sucrose and corn glucose solutions, in different concentrations and temperatures. The osmotic process was delineated according a complete experimental design (2^3), using as factors temperature and solution concentration and immersion time. As desirable answers were high water loss and a low solute incorporation. In drying process was studied as variables speed and the temperature of the air, in order to evaluate the influence of those variables in drying kinetics of fruit *in natura* and osmotically pretreated. It was also studied the phenomenon of the shrink during drying process. Final product was evaluated through carotenoid determinations, water activity and sensorial analysis.

1 – INTRODUÇÃO

O interesse pela fruticultura de clima temperado no estado de São Paulo vem crescendo de forma notável nos últimos anos, observando-se um aumento constante da área cultivada e da produção. Cerca de uma dezena de culturas de importância econômica, dentre elas a nectarina (*Prunus persica*), vem se expandindo nas encostas das Serras do Mar, Mantiqueira, Paranapiacaba e, mais recentemente, penetrando em pleno planalto paulista.

A sazonalidade de produção das frutas de clima temperado por si só justifica a necessidade de se industrializar parte das colheitas, como medida de amparo à agricultura e visando maior disponibilidade de alimentos de alta qualidade para o mercado brasileiro e para a exportação durante o maior parte do ano.

Sendo o Brasil um país que apresenta uma vasta diversidade frutífera e um valor de perdas bastante significativo, faz-se necessária a busca de processos que confiram a essas frutas um maior tempo de vida útil.

A conservação de frutas vem ganhando um destaque especial nas últimas décadas principalmente utilizando o processo convencional de secagem. Entretanto, a técnica combinada de desidratação osmótica e secagem vêm sendo bastante utilizada, pois segundo diversos pesquisadores essa combinação confere ao produto final uma série de benefícios, quando comparada ao processo convencional de secagem isolado.

1.1 – OBJETIVOS

O presente projeto tem como objetivo realizar o estudo do processo combinado de desidratação osmótica e secagem de nectarina (*Prunus persica*).

Os objetivos específicos são:

- Obter os melhores parâmetros de temperatura, concentração da solução e tempo de imersão, na desidratação osmótica de nectarina usando como agente desidratante sacarose e xarope de milho.
- Obter modelos matemáticos capazes de prever a cinética de perda de água e ganho de sólidos, utilizando como ferramenta a metodologia de superfície de resposta.
- Estudar a cinética de secagem da nectarina *in natura* e osmoticamente desidratada.
- Comparar os produtos finais com a fruta *in natura*, através de determinações de atividade de água e teor de carotenóides.
- Avaliar sensorialmente a fruta *in natura* juntamente com a melhor condição escolhida, para cada agente osmótico, através de teste de aceitabilidade.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – NECTARINA (*Prunus persica*)

A nectarina é uma variedade botânica de pessegueiro, originária da China, caracterizada pela ausência de pêlos nos frutos como mostra a Figura 2.1. Pertence à família *Rosaceae*, e a própria planta conta com hábitos vegetativos e produtivos semelhantes aos de um pessegueiro comum. Trata-se assim de uma espécie de clima temperado, de folhas caducas, exigente de um período de frio hibernal, de modo constante. É também muito exigente em tratos culturais especializados e de modo intensivo. Sua origem é motivo de dúvida para alguns, que a consideram um cruzamento entre pessegueiro e ameixeira. Na realidade, a nectarina surgiu há muitos anos de uma mutação (variação genética hereditária) do pessegueiro, cuja diferença fundamental é a ausência de pilosidade na película da fruta (NAKASU *et al.*, 1997).

Uma grande variedade de cultivares de nectarina pode ser encontrada no Brasil. Algumas apresentam polpa de coloração amarela e acidez forte como a Rubro-sol (Sunred), Rosalina (IAC 3074-49), Colombiana (Fla. 1937-S), Sunripe e Sunlite (Fla. 44-28), sendo estes dois últimos opções varietais para áreas mais frias. Outras apresentam polpa amarela e doce como a Centenária (IAC N 2080-7) e Somel (IAC N 1974-7). Existe ainda um terceiro grupo que apresenta polpa branca e doce-acidulado equilibrado que é composto pelas variedades Josefina (IAC N 1579-1), Precoce de Itupeva (IAC N 4474-5) e Branca de Guapiara (IAC N 2374-8) (IAC, 1998).

As novas variedades do Instituto Agronômico de Campinas - (IAC, 1998) não demandam períodos frios como as varietais acima mencionadas.

Figura 2.1 – Exemplar de nectarina.

A composição química da nectarina, segundo FRANCO (1992), está apresentada na Tabela 2.1 onde se destaca o seu teor de potássio bastante elevado chegando a valores bem próximos dos encontrados para a banana que é uma fruta reconhecidamente rica nesse mineral.

O potássio é um elemento mineral muito importante no organismo humano exercendo diversas funções em vários sistemas e órgãos, sendo as principais: intervir na regulação osmótica e equilíbrio hídrico do organismo, interferir na síntese protéica, sendo necessário para o armazenamento de proteína muscular, atuar na transmissão nervosa, na tonicidade muscular, na função renal e na contração da musculatura cardíaca entre outras. Ainda segundo FRANCO (1992), é recomendado a ingestão de 200mg/dia de potássio para adolescentes e adultos.

Destaca-se ainda na composição da nectarina a quantidade de vitamina A, niacina (vitamina do complexo B), e ainda, em menor quantidade, vitamina C. A vitamina A é indispensável para a proteção da visão, conserva a saúde da pele e auxilia no crescimento. A niacina é uma vitamina bastante importante, pois atua juntamente com outras substâncias na digestão, além de estimular o apetite. Cada 100g da fruta fornecem aproximadamente 64 calorias.

Tabela 2.1 – Composição química da nectarina.

Composição	Teor/100g
Retinol (mcg)	165,0
Tiamina (mcg)	20,0
Riboflavina (mcg)	50,0
Niacina (mg)	1,0
Ácido ascórbico (mg)	13,0
Calorias	64,0
Glicídos (g)	17,1
Proteínas (g)	0,6
Cálcio (mg)	24,0
Fósforo (mg)	1,0
Ferro (mg)	0,3
Sódio (mg)	6,0
Potássio (mg)	294,0

Fonte: FRANCO (1992).

2.1.1 - Produção

A nectarina e o pêssego são frutas muito apreciadas no mundo, pelo sabor, pela aparência e pelo seu valor econômico no âmbito da cadeia produtiva. No Brasil é possível produzir estas frutas apenas nos estados do sul, onde predomina o clima temperado (EMBRAPA CLIMA TEMPERADO, 2002).

De acordo com a Embrapa a produção mundial de nectarina e pêssego está em torno de 12 milhões de toneladas, crescendo ao redor de 20% a cada 10 anos. A China é o maior produtor mundial, com cerca de 27% de participação na oferta global, seguida pela Itália, Estados Unidos e Espanha, conforme mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Principais países produtores de nectarina e pêssegos (1000 ton).

País	1990	%	1998	%
Mundo	9.244,4	100	11.064,5	100
China	1.129,1	12,2	2.996,4	27,1
Itália	1.719,7	18,6	1.428,7	12,9
E.U.A.	1.223,8	13,2	1.300,0	11,7
Espanha	629,3	6,8	887,5	8,0
Grécia	786,9	8,5	480,0	4,3
França	491,9	5,3	470,0	4,2
Turquia	350,0	3,8	400,0	3,6
Chile	196,0	2,1	285,0	2,6
Argentina	220,0	2,4	280,0	2,5
África do Sul	145,3	1,6	240,0	2,2

Fonte: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – FIPE citado por EMBRAPA CLIMA TEMPERADO.

Em termos de América Latina, o Chile é o maior produtor, com produções ao redor de 285 mil toneladas. No âmbito do Mercado Comum do Cone Sul (Mercosul) destacam-se, além do Chile, a Argentina e o Brasil com produções de 280 mil e 146 mil toneladas respectivamente.

No Brasil, o pêssego e a nectarina são produzidos nos estados do sul, onde as condições naturais, sobretudo o clima temperado, favorecem a exploração comercial. O Rio Grande do Sul é o principal produtor, com cerca de 46% da produção nacional, ocupando uma área superior a 10 mil hectares, conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Estados brasileiros produtores de nectarina e pêssego (1998)

Estado	Área (há)	Produção	% Participação
Rio Grande do Sul	13.000,00	80.000	46,53
Santa Catarina	4.187,2	30.190	17,56
São Paulo	3.266,0	35.184	20,46
Paraná	1.985,0	18.317	10,65
Minas Gerais	700,00	8.000	4,65
Outros	26,0	254	0,15

Fonte: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – FIPE citado por EMBRAPA CLIMA TEMPERADO.

Toda produção nacional de nectarina e pêssego destina-se ao mercado interno. O Brasil não exporta essa fruta, sendo considerado um grande mercado para os principais produtores mundiais, principalmente para o Chile, país vizinho, e tradicional exportador da América Latina.

O abastecimento nacional provém de cinco pólos nacionais de produção: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. O período de oferta se inicia em setembro com a produção paulista e termina em fevereiro com a produção gaúcha.

Segundo dados da FAO (2002) a produção brasileira de pêssegos e nectarinas, no ano de 2001, ocupou uma área de 22.500 hectares atingindo 183.000 toneladas.

2.1.2 – Comércio de fruta fresca (TODA FRUTA, 2004)

O consumo de fruta fresca é crescente em todo o mundo, por uma série de fatores que levam a modificações nos hábitos alimentares, como:

- maior cuidado com a saúde e aspectos nutritivos dos alimentos, com sensibilidade crescente em relação a fatores ecológicos e dietéticos;
- campanhas publicitárias sobre os benefícios de consumo de frutas e hortaliças;

- envelhecimento da população, que amplia o conjunto consumidor de maior idade (calcula-se que nos E.U.A. o segmento populacional entre 55 e 66 anos consome quase 40% mais frutas e hortaliças que a média);
- tendência a desprendimento dos horários e costumes, o que aumenta a substituição das refeições por lanches rápidos;
- procura por ganho de tempo e por alimentos individualizados de fácil preparo;
- consumidor aberto a novidades, atraídos por produtos novos e uma tendência à busca de novos sabores.

O consumo *per capita* de frutas é alto na Espanha, seguido pela Itália e Alemanha, com valores equivalentes ao dobro do consumo brasileiro. O consumo de frutas na França, E.U.A. e Japão também fica bem abaixo da média dos maiores consumidores, indicando potencial de ampliação de mercado.

Apesar de termos um mercado interno importante e crescente, é fundamental ampliar as exportações. Dos 34 milhões de toneladas de frutas produzidas pelo Brasil em 2002, apenas 0,7% foi direcionada para o mercado externo. Os principais importadores em volume foram os países baixos, Reino Unido, Argentina, Espanha e Estados Unidos. Os dois primeiros por serem pontos de entrada de mercadorias para a Europa, devido à magnitude e eficiência de sua estrutura portuária.

A exportação de frutas frescas pelo Brasil enfrenta barreiras que dificultam a ampliação e às vezes a manutenção do mercado. Como exemplo temos as barreiras sanitárias, que vedam a importação da maioria das frutas e legumes brasileiros e, para a grande parte daqueles cuja entrada é permitida em outros países, um obstáculo é o requisito obrigatório da obtenção pelos importadores de licenças prévias de importação, que afeta praticamente 100% das importações desses produtos.

Internamente o comércio de frutas frescas muitas vezes é limitado por sua perecibilidade, distância do mercado, produção concentrada em uma determinada época do

ano, má conservação de estradas, alto custo do transporte refrigerado, inexistência de uma cadeia ininterrupta de frio, entre outros.

2.1.3 – Produção e mercado de frutas desidratadas

O Brasil é um dos três maiores produtores mundiais de frutas, com uma produção que supera 34 milhões de toneladas. A base agrícola da cadeia produtiva das frutas abrange 2,2 milhões de hectares, gera 4 milhões de empregos diretos (2 a 5 pessoas por hectare) e um PIB agrícola de US$ 11 bilhões. Além disso, para cada 10.000 dólares investidos em fruticultura, são gerados 3 empregos diretos permanentes e 2 empregos indiretos (TODA FRUTA, 2004).

A fruticultura voltada especificamente para a agroindústria, com exceção da laranja, ainda é bastante limitada no Brasil. Na maioria dos casos os fruticultores produzem predominantemente para o mercado *in natura*, onde em geral conseguem um retorno maior, vendendo apenas o excedente a um preço menor para a indústria. Portanto, no Brasil, a produção e comercialização de frutas processadas acompanham de perto a produção e comercialização de fruta fresca.

Entre os produtos processados, as frutas desidratadas se destacam por serem normalmente de fácil obtenção, manterem as características do produto natural, reduzirem os custos de transporte e por possuírem características que dificultam o desenvolvimento de microrganismos que poderiam promover a deterioração da fruta fresca.

2.1.4 – Comércio de frutas desidratadas

A todos os fatores viabilizadores e propulsores do consumo de frutas frescas, acrescenta-se à possibilidade de consumo durante todo o ano e a praticidade de uso, quando se trata de frutas conservadas por processos como secagem e desidratação, redução da perecibilidade e do volume a ser transportado, além de facilitar a exportação de alguns produtos que deixam de estar sujeitos a lei de proteção de plantas de países importadores.

A importação mundial de frutas desidratadas em 2002 foi de 223.492.000 toneladas, no valor de US$ 280.730.000. Os maiores importadores em volume foram a China, Rússia, Alemanha e Malásia (Figura 2.2), e em valor foram o Reino Unido, E.U.A., Alemanha e China (Figura 2.3). Em 2002 o Brasil importou 172.000 toneladas de frutas desidratadas, no valor de US$ 738.000, e exportou 12.000 toneladas no valor de US$ 42.000. Portanto, apesar de ser um grande produtor de frutas, o Brasil importa mais frutas desidratadas do que exporta (FAO, 2003).

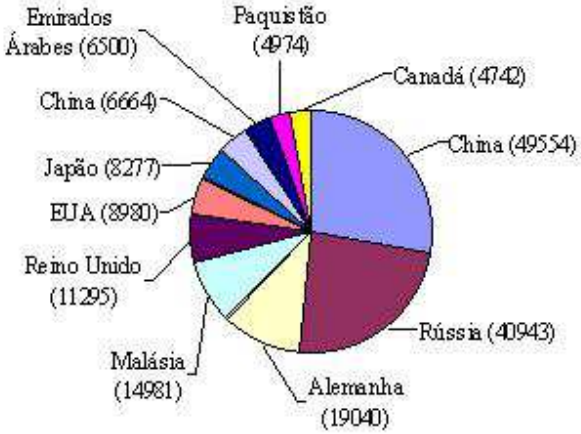


Figura 2.2 – Importação de frutas desidratadas em mil toneladas(FAO, 2003)

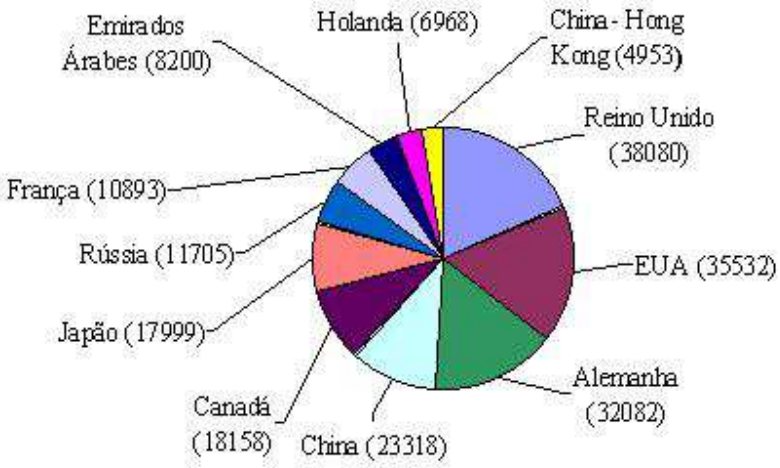


Figura 2.3 – Importação de frutas desidratadas em US$ 1000 (FAO, 2003)

No Brasil, a nectarina sempre mereceu um lugar de destaque no mercado consumidor do estado de São Paulo. Entretanto, o mesmo não acontecia na maioria dos outros estados, onde a fruta ainda é desconhecida até certo ponto pela maioria do consumidor brasileiro, como no Rio Grande do Sul por exemplo, onde o consumidor não estava disposto a pagar um preço mais elevado em relação ao pêssego. Como, de modo geral, a nectarina necessita de maiores cuidados, principalmente quanto ao controle de pragas e doenças, o produtor não pode comercializá-la a preço equivalente ao do pêssego.

Se comparada ao pêssego, maçã ou uva, a nectarina é uma fruta pouco difundida na região sul do Brasil, onde o número de cultivares comercialmente plantadas e adaptadas às condições edafoclimáticas dessa região é muito inferior às de pessegueiro, por exemplo.

Recentemente, a nectarina vem despertando maior interesse do público consumidor das grandes capitais; como consequência, produtores próximos a esses centros decidiram cultivá-la (RASEIRA & NAKASU, 1989). De acordo com PENTEADO *et al*. (1997) a nectarina consumida "*in natura*" é valorizada no mercado como um tipo de fruta das mais finas.

2.2 – DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

O processo de desidratação osmótica, também conhecido como desidratação-impregnação por imersão (DII), é um método no qual, o alimento inteiro ou fatiado é imerso em uma solução hipertônica de açúcar, sal, sorbitol, glicerol entre outros, ocorrendo uma transferência simultânea de soluto e água através das membranas das células, provocada pela alta pressão osmótica da solução (RAOULT-WACK *et al.*, 1994; LENART, 1996).

Em consequência dos gradientes de concentração da água e do soluto, ocorrem dois principais fluxos em contra-corrente através das paredes celulares, como mostra a Figura 2.4. Um fluxo de água difundindo-se desde o interior do produto até a solução – sendo este o fluxo responsável pelo aspecto da desidratação – e um fluxo em direção oposta, de

substância desidratante difundindo-se desde a solução até o produto (RAOULT-WACK *et al*., 1989). Em uma situação ideal, a membrana seria permeada apenas pelas moléculas do solvente e não pelas moléculas do soluto; entretanto na realidade, é observado que estas membranas celulares, constituídas principalmente por compostos lipo-proteicos, permitem, em menor quantidade, a passagem de moléculas de soluto. Por este motivo, a membrana é classificada como diferencialmente permeável (TORREGGIANI, 1993). Pode ocorrer ainda um terceiro fluxo, de menor intensidade, de substâncias solúveis que migram do alimento para a solução osmótica.

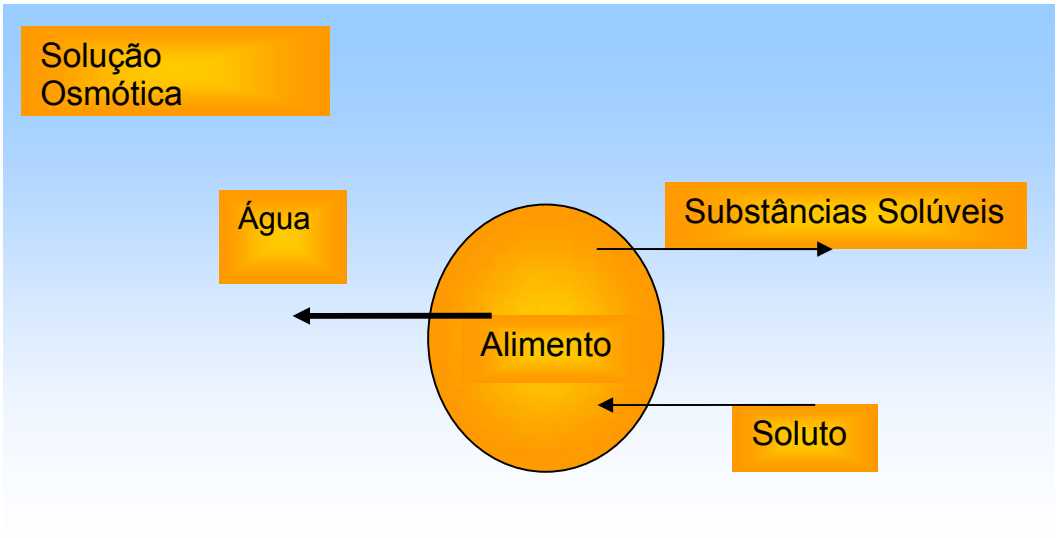


Figura 2.4 – Fluxos de massa durante o processo de desidratação osmótica.

Os produtos obtidos pelo processo de desidratação osmótica apresentam atividade de água ao redor de 0,90 segundo LENART (1996), ou seja, são produtos com umidade intermediária sendo por isso essa técnica bastante utilizada como um estágio preliminar para a secagem, pasteurização, congelamento ou liofilização.

O interesse no pré-tratamento utilizando desidratação osmótica em relação aos processos convencionais de desidratação, se justifica pelas vantagens que são apresentadas pelos produtos finais, como retenção da cor natural sem adição de sulfitos, alta retenção de componentes voláteis durante a etapa de secagem, redução do fenômeno do encolhimento.

São vantagens obtidas devido às condições amenas de operação, que, de uma maneira geral, provocam menores alterações na matéria-prima (PONTING *et al*, (1966), POKHARKAR *et al*. (1997)). De acordo com TORREGGIANI (1993) pode-se ainda modificar as propriedades funcionais e nutricionais do alimento, pela incorporação de solutos, sem a perda da integridade do alimento.

Diversos fatores podem influenciar a taxa de remoção de água bem como a de entrada de solutos no alimento; dentre eles destacam-se:

2.2.1 – Propriedades do tecido vegetal

A perda de água e o ganho de soluto pelo produto dependem primeiramente das propriedades do tecido vegetal. O branqueamento químico ou por calor, o congelamento, amadurecimento ou ação enzimática são fatores que afetam diretamente as características do tecido vegetal. Diferenças nas características do tecido vegetal como compactação, massa inicial de substâncias não solúveis, enzimas presentes, tamanho dos espaços intercelulares, presença de gás retido nos capilares e complexos de pectina e celulose e grau de gelificação determinam a cinética do processo (RAOULT-WACK *et al.*, 1994; TORREGIANNI, 1993).

Segundo PONTING (1973), a membrana plasmática é quem controla o processo de desidratação osmótica, permitindo a passagem das moléculas de água e em menor grau a passagem das moléculas do soluto. Entretanto, RAUOLT-WACK *et al.* (1994) afirmam que a presença de uma membrana celular não é condição necessária para que seja atingida uma alta perda de água e baixo ganho de soluto. Isso foi comprovado em estudos realizados utilizando um modelo de alimento gel.

MAURO & MENEGALLI (2003), estudaram a desidratação osmótica de batata na temperatura de 27°C e concentração de sacarose 50% (p/p). As autoras mediram os perfis de concentração de água e sacarose como função da posição para os tempos de imersão de 3, 6 e 12 horas. A análise do modelo proposto pelas pesquisadoras mostrou que, além dos

fatores estruturais do tecido celular, tais como, permeabilidade da membrana, porosidade e tortuosidade, a contração elástica do material é um fator adicional que influencia o comportamento do coeficiente de transferência. Ainda segundo as pesquisadoras o tecido celular promoveu alta resistência a difusão e próximo da interface batata-solução a resistência ao fluxo de sacarose foi maior do que a resistência ao fluxo de água, o que explicaria a eficiência da concentração osmótica para pequenos pedaços de vegetais.

2.2.2 – Tipo e concentração da solução osmótica

A solução osmótica deve ter uma baixa atividade de água, e, além disso, o soluto deve apresentar um sabor agradável e não ser tóxico. Segundo LENART (1996), os açúcares formam um grupo que se enquadra nesses requisitos e dentre eles a melhor substância é a sacarose, principalmente se após a osmose o produto for seco convencionalmente. ISLAM e FLINK (1982) citam o sal e o glicerol como boas substâncias para serem empregadas como agentes desidratantes.

O tipo de açúcar utilizado como substância osmótica afeta fortemente a cinética de transferência de massa. O aumento do peso molecular do soluto provoca uma diminuição de sólidos ganhos (a migração é limitada pelo alto peso molecular) e um aumento na perda de água, favorecendo com isso a perda de peso (CONTRERAS & SMYRL, 1981). Sacarídeos de baixo peso molecular, como a glicose e a frutose, favorecem o ganho de sólidos devido à alta velocidade de penetração das moléculas (TORREGGIANI, 1993). LENART (1996) sugere o uso de maltodextrinas e xarope de milho para a retirada de água de frutas e vegetais, quando o objetivo é reduzir o efeito adocicado oriundo da presença da sacarose.

De acordo com diversos autores (GIRALDO *et al.*, 2003; PARK *et al.*, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2003; SABLANI *et al.*, 2002), o aumento na concentração da solução osmótica proporciona uma maior perda de água e, conseqüentemente, uma maior perda de peso pela fruta.

CONTRERAS & SMYRL (1981), estudaram a desidratação osmótica de maçãs utilizando soluções de xarope de milho. Segundo os autores, a temperatura e concentração da solução mostraram exercer influência significativa na perda de água nas condições estudadas. Os autores compararam os resultados obtidos com os resultados reportados por HAWKES & FLINK (1978), que desidrataram maçã em solução de sacarose, e verificaram que a incorporação de sólidos foi muito inferior nas amostras desidratadas com xarope de milho. A justificativa dada para este comportamento foi a composição do xarope de milho que apresenta em sua composição carbohidratos de alto peso molecular, o que certamente dificultou a penetração de soluto nas amostras.

LAZARIDES *et al*. (1995) mostraram que a concentração da solução osmótica (45-65% p/p) teve um efeito significativo na perda de água e no ganho de sólidos na desidratação osmótica de maçãs em solução de sacarose. Concentrações altas de sacarose favoreceram a incorporação de açúcar.

SABLANI *et al.* (2002) obtiveram os coeficientes de distribuição de equilíbrio para a desidratação osmótica de cubos de maçã em soluções de sacarose a diferentes concentrações e temperaturas. A faixa de concentração estudada variou de 30% a 70% p/p, e a de temperatura variou de 22^0C a 90^0C. O coeficiente de distribuição para os sólidos aumentou com o aumento na temperatura e diminuiu com o aumento na concentração de sacarose, enquanto que, o coeficiente de distribuição para água, diminuiu com o aumento da temperatura e aumentou com o aumento da concentração da solução osmótica.

CORZO & GOMES (2004) otimizaram o processo de desidratação osmótica de melão utilizando metodologia de superfície de resposta. Os autores estudaram a influência das variáveis concentração da solução, temperatura do processo e o tempo de imersão sobre as respostas perda de água, perda de peso e aumento do Brix. Os resultados experimentais mostraram que o aumento da concentração da solução favoreceu a perda de água e por consequência a perda de peso também.

2.2.3 – Tempo de imersão

De acordo com RAOULT-WACK *et al.* (1994), a transferência de massa, durante a desidratação-impregnação por imersão de frutas e verduras, ocorre principalmente nas duas primeiras horas. Depois, esta torna-se progressivamente menor, até que o fluxo de água não ocorra mais, enquanto o ganho de sólidos continua invariavelmente. Desta forma, o produto tende a aumentar o peso, tornando-se rico em soluto desidratante.

NIETO *et al*. (2004) estudaram a desidratação osmótica de maçã em solução osmótica de glicose e também sacarose. Segundo os autores as maiores taxas de desidratação foram obtidas durantes as duas primeiras horas de processo, com gradual redução após este tempo. Já para o ganho de sólidos, um comportamento inverso foi observado, ou seja, o aumento do tempo de imersão promoveu um incremento do ganho de sólidos.

2.2.4 – Temperatura

Segundo PONTING (1966), a taxa de transferência de massa aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura, porém o escurecimento não enzimático, o amolecimento da parede vegetal e a deterioração de sabor que se iniciam a partir de 50°C limitam o processo; a temperatura máxima de processo é uma particularidade de cada produto. Além do efeito na cinética, CONTRERAS e SMYRL (1981) ressaltam que altas temperaturas permitem melhor circulação da solução osmótica devido à redução da viscosidade.

RODRIGUES *et al*. (2003) estudaram a desidratação osmótica de mamão em solução de sacarose contendo diversos aditivos. Os autores utilizaram a segunda lei de Fick para estudar a cinética do processo, e de acordo com os resultados obtidos, o aumento da temperatura do processo juntamente com o aumento da concentração das soluções, promoveram um aumento nos valores das difusividades.

2.2.5 – Agitação

De acordo com PONTING (1966) o processo de desidratação osmótica é mais rápido quando conduzido sob agitação, porém, segundo o autor deve-se fazer um controle da agitação para que não haja danos ao produto, além de se levar em consideração os custos relacionados com equipamento, energia, entre outros. Segundo HAWKES e FLINK (1978) a agitação tem o papel de diminuir a resistência à transferência de massa, causada pela viscosidade da solução desidratante.

ERTEKIN e CAKALOZ (1996) ao estudarem a influência da agitação nas taxas de perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica de ervilhas, verificaram que, em solução contendo 40% de sacarose e 20% de citrato, houve um aumento de quatro vezes nos valores de difusividade quando o sistema agitado foi comparado com um sistema estático.

O efeito da agitação e de diferenças estruturais em maçãs foi estudado por MAVROUDIS *et al*. (1998). Os experimentos foram realizados na temperatura de 20°C em solução de sacarose a 50% (p/p), sendo o número de Reynolds utilizado para quantificar a agitação. De acordo com os resultados obtidos, as amostras submetidas a um fluxo turbulento apresentaram perda de água maior que as amostras desidratadas em fluxo laminar, enquanto que, o ganho de sólidos não foi afetado pela agitação.

2.2.6 – Cinética da desidratação osmótica

Os valores de perda de água, ganho de sólidos e perda de peso podem ser calculados através das Equações 2.1, 2.2 e 2.3, respectivamente (HAWKES e FLINK, 1978).

- Perda de Água (PA)

$$PA(\%) = \frac{MA_o - MA_t}{M} \cdot 100 \qquad (2.1)$$

Onde:

MA_0: massa de água inicialmente presente (g);

MA_t: massa de água no produto no tempo t (g);

M: massa inicial da amostra (g).

- Ganho de sólidos (GS)

$$GS(\%) = \frac{MS_t - MS_o}{M} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Onde:

MS_0: massa de sólidos inicialmente presente (g);

MS_t: massa de sólidos no tempo t (g).

- Perda de peso (PP)

$$PP(\%) = \frac{M - M_t}{M} \cdot 100 \quad (2.3)$$

Onde:

M_t = massa da amostra no tempo t (g).

Muitos trabalhos descrevem a modelagem matemática da perda de água e ganho de sólidos na desidratação osmótica (BERISTAIN *et al.*, 1990; HOUGH *et al.*, 1993; MAURO & MENEGALI, 1995). A maioria dos modelos existentes está baseada na Lei de Fick e nas soluções analíticas de equações de difusão apresentadas por CRANK (1975).

Considerando uma geometria de placa plana infinita, com transferência de massa unidirecional, regime não estacionário, sólido com concentração de superfície constante e resistência externa à transferência de massa desprezível, os coeficientes de difusividade aparente da água do sólido podem ser calculados pela Equação (2.4):

$$\frac{MA_t - MA_e}{MA_o - MA_e} = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left[-(2n+1)^2\pi^2 D_a\frac{t}{L^2}\right] \quad (2.4)$$

Onde:

MA_t = massa de água no produto no tempo t (g);

MA_e = massa de água no produto no equilíbrio (g);

MA_o = massa de água inicialmente presente (g);

D_a = difusividade aparente (m^2/s);

t = tempo (s);

L = dimensão característica ou meia espessura (m).

AZUARA *et al.* (1992) desenvolveram um modelo matemático de dois parâmetros através do balanço de massa, para predizer a cinética de desidratação osmótica e o ponto final de equilíbrio. Esse modelo apresenta a vantagem de não necessitar do valor no equilíbrio, reduzindo assim o tempo necessário de experimento e os problemas de instabilidade física e biológica do material.

Segundo os autores o balanço de massa para o movimento de água no interior do alimento é dado por:

$$PA_t = MA_e - MA_S \quad (2.5)$$

Onde:6

PA_t: quantidade de água deixando a amostra no tempo t;

MA_e: massa de água no produto no equilíbrio;

MA_S: massa de água que pode difundir para fora do alimento, mas que permanece dentro do mesmo no tempo t.

A quantidade de massa de água perdida no tempo t foi calculada pela Equação (2.1).

Para uma determinada condição de temperatura e concentração o valor da massa de água perdida no equilíbrio (MA_e) é fixa enquanto que os valores da perda de água (PA_t) e

da massa de água que permanece no alimento (MA_S) são funções da taxa de perda de água e do tempo. Os valores de PA e MA_S são inversamente proporcionais e esta relação é dada pela Equação (2.6):

$$MA_s = \frac{PA_t}{K} \tag{2.6}$$

Sabendo-se que a taxa de perda de água é função da temperatura, concentração da solução desidratante e do tempo do processo e ainda sabendo-se que no início do processo a concentração inicial é conhecida e a temperatura é mantida constante, a taxa de perda de água fica sendo apenas função do tempo. A partir destas considerações a Equação (2.7) foi proposta para o parâmetro K como uma função do tempo (*t*) e de uma constante relacionada com a perda de água (S_1):

$$K = S_1 t \tag{2.7}$$

Substituindo as Equações (2.6) e (2.7) na Equação (2.5), temos:

$$PA_t = \frac{S_1 t (MA_e)}{1 + S_1 t} \tag{2.8}$$

Para ganho de sólidos tem-se:

$$GS_t = \frac{S_2 t (MS_e)}{1 + S_2 t} \tag{2.9}$$

Para a condição de equilíbrio (t_e) a Equação torna-se uma assíntota em um valor correspondente a PA_e. Para o cálculo da perda de água pelo alimento em qualquer tempo t, na Equação (2.8), é necessário saber os valores de S_1 e PA_e, que podem ser calculados através de regressão linear (Equação (2.10)) aplicada aos dados obtidos experimentalmente

para um curto período de tempo:

$$\frac{t}{PA_t} = \frac{1}{S_1(MA_e)} + \frac{t}{MA_e} \tag{2.10}$$

Baseado na segunda lei de Fick, para uma placa plana em contato com uma quantidade infinita de solução, considerando regime transiente e curtos períodos de tempo a equação simplificada é do tipo (CRANK, 1975):

$$\frac{PA_t}{MA_e} = 2\left(\frac{D\,t}{\pi\,L^2}\right)^{1/2} \tag{2.11}$$

Onde:
D: difusividade aparente (m^2/s);
t: tempo (s);
L: Espessura da placa (m).

Esta Equação foi aplicada na etapa inicial de adsorção, quando assumiu-se que a difusão ocorreu em um meio semi-infinito. Nesta etapa a quantidade de água saindo do alimento assim como a quantidade de sólidos entrando são diretamente proporcionais à raiz quadrada do tempo. O valor de D calculado pela Equação (2.11) é uma média para concentrações diferentes durante o processo difusional.

Fazendo a relação entre a Equação (2.11) e o modelo proposto por AZUARA *et al.* (1992), Equação (2.9), obteve-se uma expressão simples para o cálculo da difusividade aparente em função do tempo (Equação (2.12)):

$$D_t = \frac{\pi t}{4}\left[\left(\frac{S_1 L}{1+S_1 t}\right)\left(\frac{MA_e^{mod}}{MA_e^{exp}}\right)\right]^2 \tag{2.12}$$

Onde:

MA_e^{mod} : valor no equilíbrio obtido a partir da Equação (2.9) (g);

MA_e^{exp} : valor no equilíbrio obtido experimentalmente (g);

D_t: difusividade aparente no tempo t (m^2/s).

Se o valor de MA_e^{exp} é desconhecido, assume-se que seu valor seja igual a MA_e^{mod} e a Equação (2.12) pode ser usada para obter boas estimativas para D_t, desde que os dados da cinética sejam adequadamente ajustados pela Equação (2.10).

A difusividade aparente média (D_m) foi calculada de acordo com a Equação (2.13).

$$D_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} (D_t)_i}{n} \tag{2.13}$$

PELEG (1988) propôs um modelo não exponencial de dois parâmetros capaz de descrever o processo de desidratação por osmose e PALOU *et al.* (1994) o aplicou na desidratação osmótica de mamão (Equação 2.14):

$$X(t) = X_0 \pm \frac{t}{k_1 + k_2 t} \tag{2.14}$$

Onde X representa o conteúdo de umidade; o sinal negativo corresponde à cinética de remoção de água em termos de umidade, enquanto que o sinal positivo corresponde à cinética de ganho do soluto.

2.3 – UMIDADE DE EQUILÍBRIO

LEWIS (1921) introduziu o conceito de umidade de equilíbrio na secagem, relacionando a taxa de secagem com a umidade livre, ou seja, o conteúdo total de umidade menos a umidade de equilíbrio.

Segundo TREYBAL (1968), a umidade de equilíbrio pode ser interpretada como sendo o conteúdo de umidade que este apresenta quando a pressão de vapor de água em sua superfície se iguala à pressão de vapor de água no ar que o envolve.

O conteúdo de umidade de equilíbrio é particularmente importante na secagem porque ele representa o valor limite para uma dada condição de umidade relativa e temperatura. Se o alimento for seco até um conteúdo de umidade menor, que normalmente possui quando em equilíbrio com o ambiente, ele retornará ao seu equilíbrio na estocagem ou manipulação, se precauções não forem tomadas (CHEN & CHEN, 1974).

LABUZA *et al*. (1972) relata que uma característica fundamental de materiais biológicos, que influencia todo aspecto de manuseio, estocagem, processamento e consumo de produtos alimentares é sua higroscopicidade, que segundo o pesquisador, é a relação existente entre a água e outros compostos de um produto.

Sendo assim, a maior ou menor intensidade com que a água se liga ao alimento pode ser expressa pela chamada atividade de água (a_W), que pode ser definida como a relação entre a pressão do vapor de água no ar e a pressão de vapor de água no ar saturado, medidas a mesma temperatura. Reações químicas e atividade microbiológica são diretamente controladas pela atividade de água, deste modo é necessário o conhecimento de isotermas de sorção que descrevam satisfatoriamente esse comportamento (LABUZA, 1980).

2.4 – SECAGEM

KEEY (1972) define a secagem como sendo a remoção de uma substância volátil (comumente, mas não exclusivamente, água) de um produto sólido, isto é, a operação na qual a atividade de água de um alimento é diminuída pela remoção de água, através de sua vaporização A água presente no sólido é chamada de umidade. Portanto, a secagem de nosso interesse é caracterizada pela evaporação da água do material biológico.

Durante a secagem ocorrem dois processos simultâneos, um de transferência de calor e outro de transferência de massa. A transferência de calor ocorre no interior e do meio para a superfície, enquanto que, a transferência de massa acontece durante a remoção da água da superfície do material por meio de um fluido secante externo, que é geralmente o ar (MENON & MUJUMDAR, 1987). Os fatores que governam a velocidade desses fenômenos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como pressão de vapor d'água no material e no ar de secagem, temperatura e velocidade do ar de secagem, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta para secagem (VAN ARSDEL, 1973).

Os métodos de cálculo da taxa de secagem diferem de acordo com o período verificado no processo: taxa constante e/ou taxa decrescente. Para produtos agrícolas e alimentícios, o período de taxa decrescente é quase sempre o único observado, e nesse caso a transferência interna de água é que governa e determina a taxa de secagem (DAUDIN, 1983).

Existem diversas teorias para explicar o fenômeno da secagem. As mais importantes são aquelas que tentam explicitar os fenômenos físicos internos que governam o período de taxa decrescente de secagem. Dentre essas teorias existentes, o problema reside em encontrar a teoria aplicável aos materiais biológicos dentro da validade de hipóteses pertinentes à mesma. Podemos citar as teorias: difusão líquida, capilar, vaporização-condensação, Luikov, Philip e De Vries e Fortes e Okos (PARK, 1987).

Um dos primeiros a interpretar a secagem como fenômeno de difusão interna de água líquida foi LEWIS (1921). CRANK (1975) apresentou diversas soluções analíticas para a 2ª Lei de Fick considerando diferentes formas geométricas, na forma de séries infinitas, considerando distribuição de umidade inicial uniforme e em ausência de qualquer resistência térmica. A solução analítica para a 2ª Lei de Fick para geometria de placa plana está apresentada na Equação (2.4).

Do ponto de vista de cinética de secagem, de um modo geral, os materiais apresentam duas ou mais fases distintas de secagem, uma que ocorre a taxa de evaporação constante, e nas demais a taxa de evaporação é decrescente, apresentando ainda uma fase anterior a estas que é chamada de período de indução (KEEY, 1972).

2.4.1 – Período de taxa constante

Neste período, a secagem é controlada somente pelas condições ambientais. De acordo com SHERWOOD (1929), a secagem é similar à evaporação de água de uma superfície livre.

Este período é raramente observado na secagem de materiais biológicos, e pode ser detectado apenas sob condições especiais de processos (NOGUEIRA, 1991).

2.4.2 – Período de taxa decrescente

O período de taxa decrescente tem seu início quando termina o período de taxa constante, no teor de umidade crítica. Se o teor de umidade for abaixo da umidade crítica, todo o processo de secagem ocorre no período de taxa decrescente.

Segundo STRUMILLO & KUDRA (1986), a secagem a taxa decrescente é dividida em duas fases:

- Primeira fase: a água livre (fase líquida) presente no interior do produto é contínua, sem a presença de ar, e ocupa todos os poros do produto. O movimento de agia do interior para a superfície ocorre por capilaridade e este mecanismo controla a velocidade de secagem.

- Segunda fase: a remoção de água da superfície de evaporação provoca a entrada de ar no interior do produto, que dão origem a bolsas de ar que ficam dispersas na fase líquida dentro dos poros. Nesta fase o escoamento capilar ocorre apenas em alguns pontos localizados.

Segundo CHIRIFE (1983), os principais mecanismos de transporte durante este período são: difusão líquida, escoamento capilar e difusão de vapor.

A velocidade das reações que ocorrem no interior dos alimentos é fortemente influenciada pela variação de umidade durante a desidratação. Assim, numerosos estudos têm sido realizados para representar o período de taxa decrescente através de modelos matemáticos. Isso pode ser feito assumindo que um determinado mecanismo de movimento de umidade prevalece no interior do material, e desenvolver modelos para representar esse mecanismo, ou construindo a curva de secagem do material e ajustar modelos já existentes a essa curva (LUCCAS, 1996).

2.4.3 – Secagem de frutas

A secagem de frutas é uma forma de conservação praticada desde a antiguidade. O processo visa a redução da atividade de água do alimento a qual está relacionada intimamente com a sua estabilidade física, química e microbiológica. Outro objetivo da secagem de frutas é a significante redução em volume e peso, o que promove uma maior facilidade no transporte e armazenamento do produto alimentício.

Dentre estas teorias o modelo de difusão líquida tem sido amplamente utilizado por diversos autores no estudo de secagem de alimentos (PINTO E TOBINAGA (1996); PARK (1987); AGUERRE *et al.* (1985); MAZZA e LEMAGUER (1980); VACCAREZZA *et al.* (1974)).

Em geral o coeficiente de difusão é obtido por ajuste das curvas teóricas aos dados experimentais de secagem e é também denominado difusividade efetiva, por englobar efeitos de diferentes fenômenos durante a migração de umidade (QUEIROZ, 1994).

A difusividade efetiva de umidade é uma importante propriedade de transporte, sendo útil na análise das operações de processamento de produtos alimentícios, como a secagem. Entretanto, devido à complexa composição e estrutura física dos alimentos, é

difícil se conseguir estimativas precisas desta propriedade, sendo assim necessárias medidas experimentais, como descrito por SARAVACOS (1989).

De acordo com BRENNAN *et al.* (1980) a temperatura e a umidade são as variáveis mais relevantes em comparação a outras que afetam a difusividade efetiva, entretanto, devem ser mencionadas a constituição química e física do produto, forma e tamanho as quais podem adequar-se ao modelo matemático utilizado para descrever o processo. Uma outra variável bastante estudada é a velocidade do ar de secagem.

ARAUJO (2000) estudou o processo combinado de desidratação osmótica e secagem em banana nanica. Os resultados encontrados pelo autor indicaram que o processo osmótico realizado com soluções de sacarose em diversas concentrações afetou negativamente a secagem, reduzindo os valores de difusividade efetiva das amostras pré-tratadas em relação aos valores encontrados para a amostra controle (*in natura*).

KAYMAK-ERTEKIN & SULTANOGLU (2000) estudaram a desidratação osmótica de maçã em soluções de sacarose, dextrose e a combinação sacarose+dextrose, para diferentes temperaturas. Os resultados obtidos mostraram que o aumento da concentração e temperatura provocaram um aumento na perda de água do material. Os autores observaram também que a solução composta de sacarose +dextrose apresentou maiores perdas de água quando a concentração de dextrose foi aumentada.

MASKAN (2001) estudou a secagem de kiwi comparando o processo convencional de secagem com ar com a secagem com microondas e a combinação dos dois processos. Para a secagem convencional foi utilizada temperatura de 60°C com velocidade do ar de 1,29m/s. O autor verificou que o processo realizado com microondas apresentou taxas de secagem muito superiores ao processo convencional e também ao processo combinado.

PARK *et al.* (2002), também estudaram o comportamento da cinética de secagem precedida de desidratação osmótica. Os autores desidrataram osmoticamente pêra em solução de sacarose, e em seguida submeteram o material à secagem nas temperaturas de

40, 60 e 80°C com velocidades do ar de 1,0 e 2,0m/s. A secagem foi analisada em termos da difusividade efetiva e da taxa de secagem. Segundo os autores o aumento da temperatura e da velocidade do ar favoreceram o processo de secagem, aumentando a difusividade efetiva do material, sendo as amostras pré-tratadas osmoticamente a que apresentaram maiores valores de difusividade.

AZOUBEL (2002), estudando a secagem de pedúnculo de caju, pré-tratado osmoticamente com sacarose ou xarope de milho, observou que, o pré-tratamento osmótico provocou uma redução nos valores de difusividade efetiva da água. Segundo a autora, essa redução foi provocada pela incorporação de sólidos ocorrida na etapa preliminar de desidratação osmótica, sendo esta influência mais significativa para as amostras pré-tratadas em solução de sacarose.

EL-AOUAR *et al.* (2003) estudaram a influencia do pré-tratamento osmótico utilizando sacarose na secagem de mamão formosa. Os parâmetros estudados na secagem foram temperatura do ar (40 e 60°C) e velocidade do ar (1,25 e 3,25m/s). Segundo os autores, tanto a temperatura como a velocidade do ar influenciaram a taxa de secagem no início do processo. Ainda segundo EL-AOUAR *et al.* (2003), o processo osmótico provocou diferenças na taxa de secagem das amostras pré-tratadas.

SEVERINE *et al*. (2005) estudaram o processo combinado de branqueamento e secagem convencional e com microondas. A etapa de branqueamento foi realizada em diferentes condições e com diferentes soluções. De acordo com os autores o ensaios realizados utilizando secagem convencional em secador de bandejas foram os que apresentaram melhores resultados em termos de velocidade de secagem e capacidade de reidratação. De acordo com os dados obtidos, o valor da constante de secagem nas amostras branqueadas em solução de xarope de milho+cloreto de sódio foi menor do que os valores encontrados para as amostras não branqueadas ou branqueadas em cloreto de sódio. Segundo os autores este comportamento pode ser atribuído à incorporação de sólidos durante o branqueamento tendo como conseqüência a redução da atividade de água.

2.5 - ENCOLHIMENTO

A desidratação de alimentos é um dos processos mais utilizados para promover a estabilidade dos mesmos no que diz respeito ao decréscimo considerável na atividade de água do material, redução da atividade microbiológica e minimização das mudanças físico-químicas durante a estocagem (MAYOR & SERENO, 2004).

A presente demanda por produtos de alta qualidade no mercado alimentício requer produtos desidratados que mantenham um alto nível nutricional e propriedades sensoriais semelhantes ao alimento fresco. Uma compreensão completa dos fatores responsáveis pela diminuição da qualidade do produto durante o processo de desidratação é muito relevante.

Uma das mais importantes mudanças físicas que o alimento sofre durante a secagem é a redução de volume. A perda de água e o aquecimento causam *stress* na estrutura celular do alimento, provocando mudanças na forma e reduzindo assim suas dimensões.

Encolhimento de materiais alimentícios tem uma conseqüência negativa na qualidade do produto desidratado. Mudanças na forma, perda de volume ou aumento da dureza causam, na maioria dos casos, uma impressão negativa ao consumidor. Por outro lado, existem produtos secos que tradicionalmente apresentam um aspecto encolhido como, por exemplo, produtos em forma de passas.

Rachaduras superficiais é um outro fenômeno que pode ocorrer durante a secagem. Isto acontece quando o encolhimento acontece de forma não uniforme durante o processo, o que conduz a formação de tensões não equilibradas e conseqüentemente produzindo rachaduras no material. Este comportamento foi observado por diversos autores (AKIYAMA & HAYAKAWA, 2000; GOGUS & LAMB, 1998; MENSAH *et al*., 1984)

Uma outra importante conseqüência do encolhimento é o decréscimo na capacidade de reidratação do produto seco.

O encolhimento é um fenômeno diretamente ligado ao processo de secagem, em que os produtos com elevados teores de umidade inicial sofrem modificações em suas dimensões durante o processo. As células vivas, de origem animal ou vegetal, exibem um comportamento denominado "turgor", onde o líquido contido distende a parede celular e esta por sua vez comprime o líquido contido nela. Durante a secagem, ao se retirar à água presente no alimento, diminui-se a tensão que o líquido exerce contra a parede celular. Esta diminuição da tensão provocará o encolhimento do material (VAN ARSDEL, 1947).

A quantificação deste fenômeno, de acordo com PARK (1987), é importante pelo fato de tornar possível à análise da cinética de secagem e consequentemente a totalidade do fenômeno de secagem. Do ponto de vista matemático, o efeito do encolhimento causa mudanças nas condições de contorno, para a resolução da segunda lei de Fick .

2.5.1 - Mecanismo de encolhimento

Sistemas alimentícios sólidos e semi-sólidos são altamente heterogêneos e podem ser considerados como consistindo de uma rede sólida tridimensional ou uma matriz usualmente com uma grande quantidade de água, na maioria dos casos uma solução aquosa. Biopolímeros são elementos estruturais comuns da matriz sólida. Em casos mais complexos a composição da estrutura é formada pela incorporação de elementos estruturais (AGUILERA, 1992).

A particular estrutura do material e as características mecânicas dos elementos em equilíbrio definem o volume da amostra e determinam o seu tamanho e formato. Quando a água é removida do material, um desequilíbrio de pressão é produzido entre o interior do material e a pressão externa, gerando contração que leva o material a encolher ou entrar em colapso, mudando a forma e ocasionalmente produzindo rachaduras no produto. Esta é também uma das razões pela qual a secagem a vácuo e a liofilização promovem, em geral, um menor encolhimento.

De acordo com MAYOR & SERENO (2004) existem alguns fatores que afetam a magnitude do encolhimento durante os processos de desidratação tais como o volume de água removida, a mobilidade da matriz sólida, a taxa de secagem e as condições de processamento.

2.5.1.1 – Volume de água removida

O encolhimento de materiais biológicos aumenta com o aumento do volume de água removida, uma vez que, quanto maior a quantidade de água removida do material, maior serão as tensões de contração originadas no interior do mesmo (MAYOR & SERENO, 2004).

Em alguns casos, o equilíbrio mecânico é alcançado quando o volume encolhido do material se iguala ao volume de água removida. Em outros casos, porém, o volume de água removido durante as fases finais de secagem é maior que a redução de volume da amostra. Tal fato pode ser explicado pela diminuição na mobilidade do matriz sólida do material a baixos conteúdos de umidade.

2.5.1.2 – Mobilidade da matriz sólida

A mobilidade da matriz sólida está intimamente relacionada ao seu estado físico. Uma mobilidade alta corresponde a um comportamento visco elástico típico de um estado de borracha enquanto que, uma baixa mobilidade corresponde a um comportamento elástico típico de um estado vítreo. LEVI e KAREL (1995) concluíram que a mobilidade da matriz sólida é um processo dinâmico com taxas que dependem da diferença ($T - T_g$), onde T é a temperatura da amostra que sofre desidratação e T_g é sua temperatura de transição vítrea.

Quando o processo de secagem encontra-se na faixa de baixo conteúdo de umidade, onde transição vítrea é predominante, a rigidez do material faz com que o encolhimento cesse, o que causa o aumento na porosidade da amostra (MAYOR & SERENO, 2004).

2.5.1.3 – Taxa de secagem

Quando são observadas altas taxas de secagem e gradientes de umidade pelo material, o baixo conteúdo de umidade na superfície externa do produto pode induzir a uma transição vítrea e a formação de uma crosta porosa rígida na superfície do material o que traz complicações para o encolhimento subseqüente da parte interna do alimento ainda no estado de borracha. WANG & BRENNAN (1995), durante a secagem de batatas, mostraram microscopicamente este efeito de endurecimento superficial.

Por outro lado, quando se têm baixas taxas de secagem, a difusão de água do interior para a superfície do material acontece à mesma taxa que a evaporação de água da superfície do mesmo. Desta forma, o material encolhe uniformemente até as últimas fases do processo de secagem (MAYOR & SERENO, 2004).

O efeito do endurecimento superficial não pode ser observado caso as condições de secagem não permitam uma transição de fase na superfície do material, até mesmo a altas taxas de secagem.

2.5.1.4 – Condições de processamento

Vários autores vêm tentando estudar a influência das diferentes condições de processo nas mudanças de volume dos materiais durante a secagem. Na maioria dos casos, tal análise é realizada verificando o efeito de cada condição de processo como temperatura, velocidade do ar ou umidade relativa do ar. Infelizmente, os resultados encontrados na literatura não trazem resultados que elucidem sobre a influência destas condições de processamento no encolhimento (MAYOR & SERENO, 2004).

DEL VALLE *et al.*, 1998 verificaram que o aumento da temperatura do ar de secagem produziu um menor encolhimento quando o estudo foi realizado com maçã, entretanto, tal influência não ficou bem definida em estudos realizados por RATTI (1994) quando este autor estudou o encolhimento de batata, maçã e cenoura.

KHRAISHEH *et al.* (1997), trabalhando com batata concluiu que o aumento na velocidade do ar produziu um menor encolhimento, cuja magnitude dependeu apenas do tipo de material utilizado. RATTI (1994), ao estudar a influência do encolhimento na secagem de batata, maçã e cenoura também observou comportamento semelhante.

A influência da umidade relativa do ar no fenômeno do encolhimento também foi estudada. LANG & SOKHANSANJ (1993), observaram uma pequena influência da umidade relativa do ar no encolhimento que indicava aumentar com o aumento da umidade relativa do ar. Entretanto, RATTI (1994), não encontrou influência significativa da umidade relativa do ar no encolhimento.

Uma revisão na literatura mostra que diversos estudos foram realizados considerando-se o encolhimento na secagem de materiais biológicos. MAYOR & SERENO (2004), fizeram uma vasta revisão sobre os modelos de secagem que levam em consideração o encolhimento. De acordo com os autores os modelos dividem-se em dois grandes grupos:

- Modelos Fundamentais: os modelos fundamentais são baseados em interpretações físicas dos sistemas alimentícios estudados e tentam predizer mudanças na geometria do material baseados nas leis da conservação de massa e volume.

- Modelos Empíricos: os modelos empíricos consistem em aplicar um ajuste aos dados experimentais de encolhimento em função do conteúdo de umidade do material.

Em ambos os casos, os modelos se dividem em lineares e não lineares.

Um dos modelos fundamentais apresentados por MAYOR & SERENO (2004) é o modelo proposto por SUZUKI *et al.* (1976), que trabalhando com cenoura, batata, batata-doce e rabanete, analisaram o fenômeno do encolhimento utilizando três modelos:

- **Modelo de secagem uniforme**: assumiu-se que o volume de encolhimento era igual ao volume de água que era retirada durante a secagem. Como o volume da água corresponde à fração desidratável, relacionando o encolhimento ao ponto de equilíbrio, a equação obtida depende somente da umidade e densidade na condição de equilíbrio.

Uniforme 1

$$\frac{A}{A_0} = \left[\frac{X + a}{X_0 + a}\right]^n \tag{2.15}$$

$$a = X_e\left(\frac{1}{\rho_e} - 1\right) + \frac{1}{\rho_e} \tag{2.16}$$

Onde:

A: área da amostra no tempo t (m^2)

A_0: área inicial da amostra (m^2)

X: umidade da amostra (g_{H2O}/ g ms)

X_0: umidade inicial (g_{H2O}/ g ms)

X_e: umidade de equilíbrio (g_{H2O}/ g ms)

ρ_e: densidade de equilíbrio (g/m^3)

n: expoente das equações 2.16, 2.17 e 2.18

Uniforme 2

$$\frac{A}{A_0} = (b\,X + c)^n \tag{2.17}$$

$$b = \frac{\rho_0}{(X_0 + 1)} \tag{2.18}$$

$$c = 1 + b - \rho_0 \tag{2.19}$$

Onde:

ρ_0: densidade inicial (g/m^3)

- **Modelo de secagem central:** onde foi assumido que a concentração variava do centro (local mais úmido) à superfície (local mais seco), relacionando com a isoterma de equilíbrio. Portanto supõe-se que a camada seca é separada do centro úmido, considerando ainda que a densidade do centro seja igual a do material no ponto de equilíbrio.

$$\frac{A}{A_0} = (K\,X + 1)^n \tag{2.20}$$

$$K = \frac{1 - Y}{X_0 - X_e} \tag{2.21}$$

$$Y = \frac{(X_e + 1)\rho_0}{(X_0 + 1)\rho_e} \tag{2.22}$$

- **Modelo de secagem semi-central:** assume-se que a densidade da camada seca não é sempre igual a densidade do material seco, uma vez que a umidade na fase gasosa contribui menos que a umidade na fase líquida. Neste caso, a densidade da camada seca é um valor intermediário entre a densidade inicial e a densidade do material seco.

$$\frac{A}{A_0} = W\,X + Z \tag{2.23}$$

$$W = \frac{1 - Y}{X_0 - X_e - N(Y\,X_0 - X_e + Y - 1)} \tag{2.24}$$

$$Z = \frac{Y\,X_0 - X_e - N(Y\,X_0 - X_e + Y - 1)}{X_0 - X_e - N(Y\,X_0 - X_e + Y - 1)} \tag{2.25}$$

$$N = \frac{\rho_e - (1 - X)\rho_e}{\rho_0} \tag{2.26}$$

UDDIN *et al.* (1990), estudando o encolhimento em tomates relacionou a espessura reduzida da amostra (L') de acordo com a expressão:

$$\frac{L'}{L} = \left(\frac{m_t}{m_0} \right)^n \tag{2.27}$$

Sendo m_t a massa total da amostra no tempo t (g), m_0 a massa total da amostra no tempo t = 0 (g), L a espessura inicial da amostra (m) e n o coeficiente de encolhimento

Onde o valor de *n* depende das características do material e varia na faixa de 0 caso não haja encolhimento a 1, caso em que o volume encolhido é igual ao volume de água perdida. O valor calculado da espessura reduzida da amostra é substituído na Equação de Fick (2.4) e assim o valor da difusividade pode ser calculado levando-se em consideração o encolhimento do material.

2.6 – PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Nos últimos anos a ferramenta do planejamento experimental vem recebendo especial atenção ao se planejar a realização de experimentos, pois é uma alternativa para racionalizar o número de experimentos a serem realizados facilitando ainda uma melhor compreensão dos resultados obtidos em que se pode extrair o máximo de informações a respeito das condições estudadas com um número reduzido de ensaios experimentais.

A metodologia de superfície de resposta é uma técnica de otimização baseada no emprego de planejamentos fatoriais, introduzida por G. E. P. Box (1973) na década de 50, e que desde então tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais. A metodologia de superfícies de resposta é constituída de duas etapas distintas: modelagem e deslocamento. Essas etapas são repetidas tantas vezes quantas forem necessárias, com o objetivo de atingir uma região ótima (máxima ou mínima) da superfície investigada. A modelagem normalmente é feita ajustando-se modelos lineares ou quadráticos a resultados experimentais obtidos a partir de planejamentos fatoriais. O deslocamento se dá sempre ao longo do caminho de máxima inclinação de um determinado modelo, que é a trajetória na qual a resposta varia de forma mais pronunciada (BARROS NETO, 2001).

De acordo com BARROS NETO *et al*., 2001, a essência de um bom planejamento consiste em projetar um experimento de forma que ele seja capaz de fornecer exatamente o tipo de informação que procuramos. Para isso, é preciso definir claramente que objetivo se pretende alcançar com os experimentos, porque isso determinará que tipo de planejamento experimental deve ser utilizado. Quando se deseja fazer uma triagem inicial dos fatores, é vantajoso começar pela execução de planejamentos fatoriais fracionários. Esses planejamentos são extremamente econômicos e podem ser usados para estudar vinte ou mais fatores experimentais ao mesmo tempo. Os planejamentos fatoriais completos avaliam quantitativamente a influência das variáveis sobre a resposta de interesse, bem com suas possíveis interações. Quando o objetivo principal do pesquisador é otimizar o seu sistema, isto é, maximizar ou minimizar algum tipo de resposta, utiliza-se à metodologia da superfície de resposta.

2.7 – ANÁLISE SENSORIAL

Segundo o IFT (INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY) a análise sensorial é uma disciplina usada para provocar, medir, analisar e interpretar as reações produzidas pelas características dos alimentos e materiais, como elas são percebidas pelos órgãos da visão, olfato, gosto, tato e audição.

A análise sensorial tem duas aplicações básicas: Em pesquisa e no desenvolvimento de novos produtos e no controle de qualidade.

A aplicação da análise sensorial no controle de qualidade pode ser dividida em:

- controle de processo de fabricação: controle de matéria-prima, controle de variações no processamento, controle de variação de ingredientes;
- controle de produto acabado: verificar possíveis perdas na qualidade sensorial do produto devido ao armazenamento, determinar limites entre graus de qualidade (tipos ou categorias), seleção de métodos instrumentais que apresentam boa correlação com atributos sensoriais do alimento;

- controle de mercado: estudos comparativos entre produtos concorrentes; estudos de aceitação.

Segundo DUTCOSKY (1996) a qualidade sensorial de um alimento é a interação de um conjunto de fatores entre o homem e o alimento como apresentado na Figura 2.5.

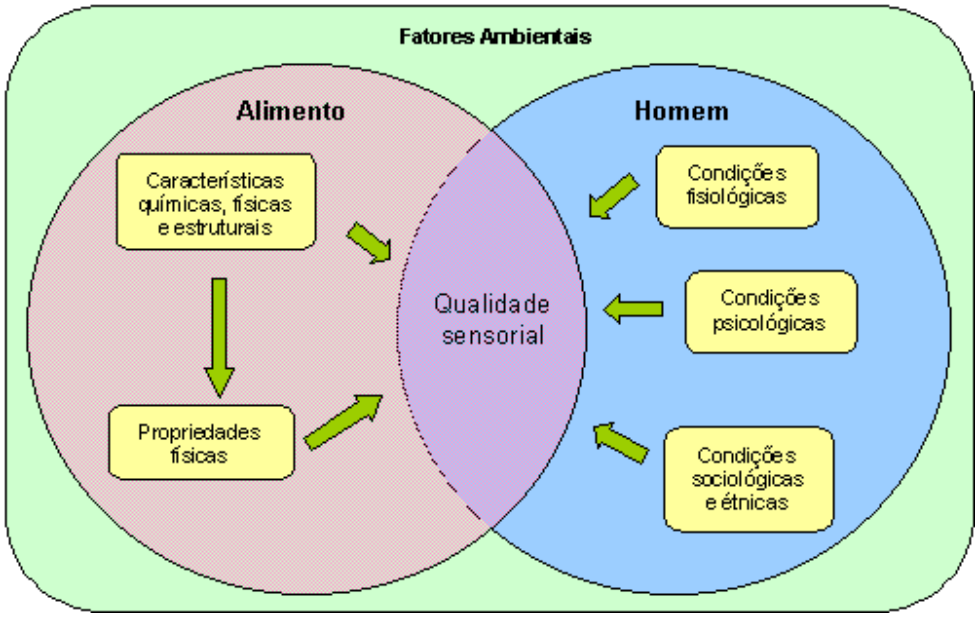


Figura 2.5 – Fatores que afetam a qualidade sensorial do alimento.

Na indústria de alimentos o uso de técnicas modernas de análise sensorial tem sido um meio seguro para caracterizar diferenças e similaridades entre produtos, otimizar atributos sensoriais de aparência, aroma, sabor e textura, bem como avaliar alterações sensoriais que podem ocorrer ao longo do tempo.

3 – MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – MATÉRIA-PRIMA

Os experimentos foram realizados utilizando nectarina (*Prunus persica*) variedade *sunred*, adquiridos em mercado local e proveniente de Holambra-SP

Na escolha do estádio de maturação para realizar os experimentos foram adotados como critérios: teor de sólidos solúveis (°Brix), coloração da casca, firmeza do tecido da fruta, facilidade de corte e facilidade de remoção do caroço. Optou-se por uma faixa de sólidos solúveis entre 8 a 10°Brix pois, abaixo desta o caroço encontrava-se bastante aderido ao tecido da fruta dificultando sua retirada e o corte da mesma. Para valores acima de 10°Brix o tecido da fruta não apresentava firmeza necessária para se proceder ao corte, pois a fruta já se encontrava bastante madura. Foram descartadas frutas que apresentavam injúria de qualquer espécie.

3.2 – METODOLOGIA

3.2.1 – Obtenção das Amostras

A geometria adotada para a realização dos ensaios foi de placa plana. Inicialmente foi feito um corte longitudinal na fruta obtendo-se duas metades. Após a remoção do caroço, essas metades foram novamente cortadas no sentido longitudinal e cada quarto teve suas extremidades eliminadas. Em seguida com o auxílio de um cortador de aço, desenvolvido para esta finalidade, foram retiradas fatias retangulares (3,8cm x 2cm) com 0,5cm de espessura, sendo que a fatia obtida da parte mais externa, que ficou com a casca, foi desprezada.

3.2.2 – Desidratação Osmótica

Depois da obtenção das fatias, as amostras foram pesadas e colocadas em béqueres de 600mL contendo a solução desidratante. O conjunto amostra-solução desidratante foi então levado à incubadora refrigerada TECNAL, modelo TE-421, com controle de agitação e temperatura.

Uma razão de 1:10, amostra:solução, foi utilizada para reduzir a diluição da solução durante o tempo de experimento. Foi adotada uma agitação constante de 80rpm, pois esta agitação promoveu uma movimentação satisfatória da amostra dentro da solução sem que a mesma sofresse impacto com as paredes do béquer. Os experimentos foram realizados em triplicata e a Figura 3.1 mostra um fluxograma das etapas realizadas no processo de desidratação osmótica.

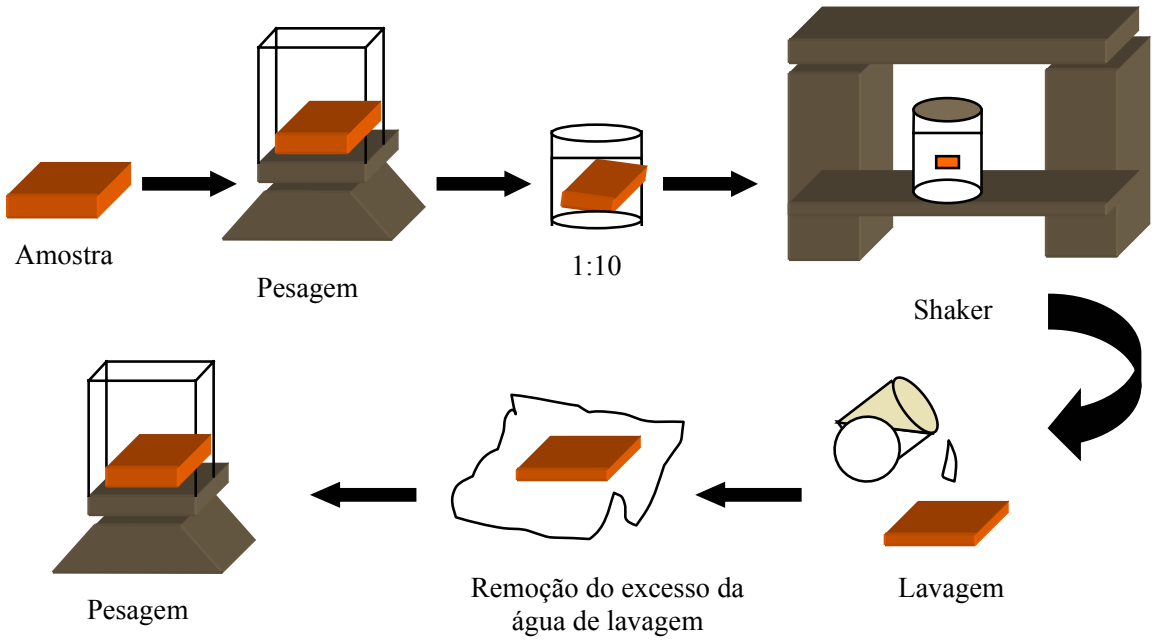


Figura 3.1 – Etapas desenvolvidas no processo de desidratação osmótica.

A desidratação osmótica foi realizada utilizando-se dois agentes desidratantes, sacarose comercial e xarope de milho MOR-REX®1940 (Corn Products Brasil). As especificações e composição do xarope de milho estão apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Especificações e composição do xarope de milho MOR-REX® 1940.

Características físico-químicas	Mínimo	Máximo
Umidade (%)	-	5,0
Dextrose equivalente	38	40
pH	4,5	5,5
Composição aproximada em açúcares (% base seca)		
Dextrose	15	
Maltose	12	
Outros açúcares	73	

3.2.3 – Planejamento Experimental

A desidratação osmótica foi realizada de acordo com um planejamento fatorial completo 2^3, com pontos centrais (nível 0) e pontos axiais (níveis $\pm \alpha$). Desta forma cada fator foi estudado em 5 níveis diferentes conforme mostrado na Tabela 3.2. Os fatores estudados, para cada agente osmótico, foram a temperatura da solução, concentração da solução e tempo de processo. Os níveis estudados de cada variável estão apresentados na Tabela 3.3.

Para a análise dos dados experimentais obtidos, bem como elaboração dos modelos, foi utilizado o software STATISTICA 5.0. Foi considerado preditivo o modelo que apresentou regressão significativa, ao nível de confiança de 95%, falta de ajuste não significativa e alto valor do coeficiente de correlação R^2.

Tabela 3.2 – Matriz de planejamento da desidratação osmótica.

Ensaio	Temperatura (°C)	Concentração (%)	Tempo (min)
01	34	44	120
02	46	44	120
03	34	56	120
04	46	56	120
05	34	44	210
06	46	44	210
07	34	56	210
08	46	56	210
09	40	50	165
10	40	50	165
11	40	50	165
12	30	50	165
13	50	50	165
14	40	40	165
15	40	60	165
16	40	50	90
17	40	50	240

Tabela 3.3 – Níveis das variáveis estudados no planejamento fatorial completo.

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

3.2.4 - Secagem

As amostras de nectarina *in natura* e pré-tratadas osmoticamente, nas condições ótimas pré-determinadas, foram secas nas temperaturas de 40, 50 e 60°C e velocidades do ar de 1,5 e 2,1m/s. A umidade de equilíbrio, para cada condição de processo estudada, foi determinada dinamicamente e os dados experimentais foram ajustados utilizando o modelo difusional de Fick e o modelo de Page, e os ajustes foram avaliados utilizando-se como critérios o coeficiente de correlação (R^2) e o erro relativo médio (P).

3.2.5 - Encolhimento

A variação da área das amostras foi determinada utilizando-se câmera digital Sony P-50; onde as amostras foram fotografadas em tempos pré-determinados e as medidas das dimensões foram realizadas utilizando-se o software CorelDraw 10.0. Para evitar erros nas medições das dimensões foi mantida uma distância focal constante e as amostras foram fotografadas em conjunto com um referencial.

A variação de volume das amostras, em cada tempo, foi medida pelo deslocamento de volume de tolueno utilizando-se uma bureta que tinha em sua extremidade superior um recipiente acoplado, onde a amostra era colocada (Figura 3.2)

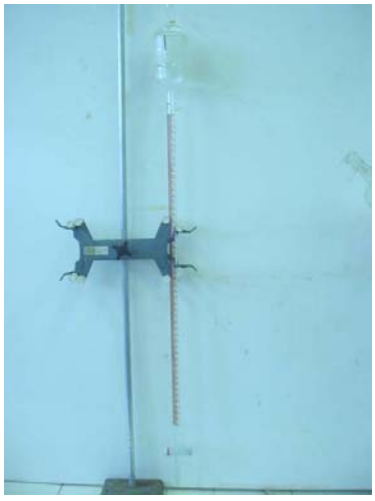


Figura 3.2 – Aparato utilizado para determinação do volume das amostras.

A espessura da amostra foi determinada multiplicando-se a área pelo volume obtidos em cada tempo.

O ajuste dos dados experimentais foi feito utilizando-se o modelo uniforme 1 proposto por SUZUKI *et al.* (1976).

3.2.6 - Atividade de água (a_w)

As determinações da atividade de água foram realizadas em triplicata utilizando-se analisador de atividade de água DECAGON, série 3TE. As leituras foram feitas na temperatura de 25°C.

3.2.7 - Determinação do conteúdo de carotenóides

O conteúdo de carotenóides nas amostras secas foi determinado utilizando-se a metodologia desenvolvida por RODRIGUEZ *et al.* (1976), e a β-criptoxantina foi o carotenóide de interesse por ser este predominante na nectarina. O conteúdo de carotenóides foi calculado de acordo com a Equação (3.1).

$$X(\mu g / g) = \frac{\frac{abs.100.10^6}{a.v}}{m} \qquad (3.1)$$

Onde *abs* é a máxima absorbância obtida para a amostra, *a* é a absorbância da β-criptoxantina, *v* é o volume em que a amostra está diluída e *m* é a massa da amostra.

3.2.8 - Análise Sensorial

O teste sensorial foi aplicado entre 09h e 11h no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Nutrição da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp.

Foram utilizados 20 provadores não treinados, de ambos os sexos, recrutados entre funcionários e alunos da faculdade.

O procedimento experimental consistiu em cada provador receber uma amostra codificada de cada vez (apresentação monádica) juntamente com a ficha de avaliação. Para cada amostra o julgador tinha que avaliar os atributos aparência, aroma, sabor, textura e impressão global em uma escala não estruturada de nove pontos. Cada julgador tinha ainda que indicar em uma outra ficha na qual sua intenção de compra diante de cada amostra avaliada, em uma escala de cinco pontos que variava de certamente não compraria a certamente compraria.

3.2.9 – Ajuste dos modelos matemáticos

Os ajustes dos dados experimentais aos modelos, tanto na desidratação osmótica quanto na secagem, foram realizados utilizando-se regressão linear e não linear do pacote estatístico do STATISTICA 5.0. Para verificar o ajuste dos modelos aos dados experimentais, calculou-se o desvio médio relativo (P), que é definido como a diferença relativa entre os valores experimentais e preditos (Equação (3.2)), sendo considerado preditivo o modelo que apresentar valores de P menores que 10% (LOMAURO *et al.*, 1985).

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{\left| M_e - M_p \right|}{M_e} \qquad (3.2)$$

Onde:

M_p: valores preditos pelo modelo;

M_e: valores obtidos experimentalmente;

n: número de dados.

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A Tabela 4.1 apresenta os valores obtidos nas determinações realizadas na nectarina "*in natura*", onde se verifica que o produto apresenta um alto valor de umidade. A análise de atividade de água mostrou que a fruta apresenta um elevado valor dessa propriedade (0,986), sendo portanto facilmente susceptível a deterioração. Os resultados obtidos para a acidez, açúcares redutores e totais encontram-se bem próximos dos encontrados por ESTI *et al.* (1997) que foram de 0,60 para a acidez e 3,3 e 12,7 para açúcares redutores e totais, respectivamente. O conteúdo de carotenóides totais, calculado em função da betacriptoxantina, está muito próximo do encontrado por GODOY & RODRIGUEZ-AMAYA (1998).

Tabela 4.1 – Composição parcial da nectarina

Determinação	Valor médio
Umidade (base úmida %)	86,79
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	10,00
Acidez (% ac. cítrico)	0,65
Açúcares redutores (%)	3,00
Açúcares totais (%)	11,90
Carotenóides totais (μg/g ms)	107,17
Atividade de água	0,991

4.2 – DESIDRATAÇÃO OSMÓTICA

Os resultados de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos da desidratação osmótica de nectarina, em solução de sacarose e xarope de milho, de acordo com o planejamento experimental, estão apresentados na Tabela 4.2 e Tabela 4.3, respectivamente.

Tabela 4.2 – Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose.

Ensaio	T (ºC)	C (%)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)
1	34	44	120	16,66	23,29	6,63
2	46	44	120	20,41	28,48	8,07
3	34	56	120	20,79	26,78	5,99
4	46	56	120	23,81	33,80	9,99
5	34	44	210	23,57	31,90	8,33
6	46	44	210	31,39	40,39	9,00
7	34	56	210	29,94	37,95	8,01
8	46	56	210	40,32	50,62	10,30
9	30	50	165	23,53	30,83	7,30
10	50	50	165	23,95	36,95	13,00
11	40	40	165	21,93	26,40	4,47
12	40	60	165	34,99	42,00	7,01
13	40	50	90	14,05	21,15	7,10
14	40	50	240	32,70	40,93	8,23
15	40	50	165	23,19	31,20	8,01
16	40	50	165	20,44	29,23	8,79
17	40	50	165	23,14	31,24	8,10

Tabela 4.3 – Valores de perda de peso, perda de água e ganho de sólidos obtidos experimentalmente na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho.

Ensaio	T (ºC)	C (%)	t (min)	PP (%)	PA (%)	GS (%)
1	34	44	120	15,63	17,04	1,42
2	46	44	120	25,47	27,54	2,07
3	34	56	120	17,98	19,77	1,80
4	46	56	120	31,34	34,01	2,67
5	34	44	210	20,75	22,78	2,03
6	46	44	210	36,62	39,02	2,40
7	34	56	210	28,38	30,83	2,45
8	46	56	210	44,89	47,96	3,07
9	30	50	165	20,52	21,39	0,87
10	50	50	165	36,91	39,14	2,23
11	40	40	165	16,78	18,56	1,78
12	40	60	165	30,45	32,88	2,43
13	40	50	90	19,88	22,22	2,35
14	40	50	240	32,22	35,63	3,41
15	40	50	165	27,20	28,96	1,76
16	40	50	165	29,84	31,43	1,60
17	40	50	165	29,07	30,64	1,57

Uma avaliação geral dos resultados obtidos mostra que, para a mesma condição de processo, as amostras desidratadas osmoticamente em sacarose apresentaram, na grande maioria, maiores valores das respostas estudadas quando comparadas com as amostras desidratadas em xarope de milho. Esse comportamento pode ser atribuído à composição da xarope de milho utilizada, uma vez que esta apresenta um alto teor de polissacarídeos, o que aumenta a viscosidade da solução dificultando com isso a transferência de massa entre a solução desidratante e a amostra.

Segundo alguns trabalhos encontrados na literatura, a agitação e maiores valores de temperatura promovem uma redução na viscosidade da solução, o que leva a maiores taxas de transferência entre a amostra e a solução desidratante (HAWKES e FLINK (1978), PONTING (1966)).

Observando-se os valores de ganho de sólidos obtidos para os dois agentes desidratantes utilizados, verifica-se que, para o xarope de milho os valores estão bem abaixo dos valores encontrados para a sacarose. CONTRERAS & SMYRL (1981), compararam o ganho de sólidos obtido para a maçã, quando esta foi desidratada osmoticamente em solução de xarope de milho na concentração de 42%, com os resultados obtidos por HAWKES E FLINK (1978), que desidrataram maçã em solução de sacarose com concentração de 40%. A comparação dos resultados mostrou que as maçãs desidratadas com xarope de milho apresentaram valores de ganho de sólidos muito menores do que as desidratadas com sacarose. CONTRERAS E SMYRL (19981) comentam que, uma vez que o xarope de milho contém uma grande proporção de carbohidratos de alto peso molecular, é improvável que as moléculas maiores consigam penetrar na fruta em uma maior extensão durante o processo osmótico, resultando com isso em uma menor incorporação de soluto.

A concentração e a composição da solução são variáveis que influenciam na perda de água e no ganho de sólidos. RAOULT-WACK *et al.* (1991) estudaram a influência da concentração e do peso molecular do soluto na perda de água e no ganho de sólidos e

observaram que, para as mais altas concentrações o ganho de sólidos é muito menor que a perda de água (efeito desidratante).

4.2.1 – Perda de Água

A Tabela 4.4 apresenta os efeitos lineares e quadráticos dos parâmetros estudados, bem como suas interações, na perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e xarope de milho. Os valores em negrito indicam que o fator ou a interação é significativo para um nível de confiança de 95% ($p \leq 0,05$).

Tabela 4.4 – Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho.

	Sacarose		**Xarope de milho**	
	Valor do efeito	**p**	**Valor do efeito**	**P**
Média global	**30,49**	**0,00***	**30,23**	**0,00***
Efeitos principais				
Temperatura–L	**6,39**	**0,00***	**12,88**	**0,00***
Temperatura-Q	**2,78**	**0,06****	0,69	0,62
Concentração-L	**7,51**	**0,00***	**7,36**	**0,00***
Concentração-Q	**3,00**	**0,05****	**-2,52**	**0,10****
Tempo-L	**11,97**	**0,00***	**9,48**	**0,00***
Tempo-Q	0,77	0,38	-0,25	0,85
Efeito de interação				
Temperat.*conc.	1,50	0,20	1,16	0,49
Temperat.*tempo	2,24	0,11	2,16	0,21
Conc.*tempo	1,87	0,15	1,94	0,26

L: linear Q: quadrático *p < 0,05 **p < 0,1

Para a sacarose verifica-se que todos os efeitos principais, com exceção do termo quadrático do tempo, exerceram influência significativa sobre a resposta perda de água.

Na média, os valores de perda de água utilizando sacarose, ficaram ao redor de 30%, com valores máximos alcançando 50% de perda. KOWALSKA e LENART (2001) ao estudarem a desidratação osmótica de maçã em solução de sacarose na concentração de 61,5% e temperatura de 30°C observaram uma perda de água de 48% nos primeiros 30 minutos de processo.

Através do gráfico de Pareto (Figura 4.1), verifica-se que o termo do tempo linear foi a variável que exerceu maior influência sobre a resposta perda de água, apresentando uma influência positiva, ou seja, a mudança dessa variável de um nível menor para um nível maior ocasionou um incremento nos valores de perda de água. Concentração e temperatura da solução também apresentaram efeito significativo sobre a resposta perda de água.

Comportamento semelhante da influência das variáveis, sobre a perda de água, foi observado por UDDIN *et al*. (2004) ao estudar a transferência de massa durante a desidratação osmótica de cenoura, utilizando a metodologia de superfície de resposta. Os autores verificaram que, o tempo e a concentração de sacarose, seguido da temperatura foram as variáveis que influenciaram os valores de perda de água.

Com relação ao termo quadrático da temperatura, o mesmo não foi descartado do modelo pois, apesar de não apresentar influência significativa ao nível de 95%, mostrou influenciar significativamente os valores de perda de água para um nível de significância de 90%, não sendo assim conveniente descartar esta variável.

Para o xarope de milho, além da média, os termos lineares da temperatura, concentração e tempo foram significativos, para a resposta perda de água, ao nível de confiança de 95%. Também foi considerado significativo o termo quadrático da concentração pelo fato de apresentar influência significativa de 90% sobre a resposta estudada.

Sendo o efeito estimado, o quanto um fator ou variável influencia uma resposta, a temperatura foi a variável que mostrou ter maior influência sobre a resposta perda de água (Figura 4.2), quando xarope de milho foi utilizada como agente osmótico, seguida do tempo e concentração.

CORZO E GOMEZ (2004) ao estudarem a desidratação osmótica de melão também utilizando um planejamento experimental completo 2^3, verificaram que após provocarem

perturbações nos fatores temperatura, concentração e tempo de desidratação, as variáveis que apresentaram maior influência sobre a perda de água foram a temperatura e o tempo.

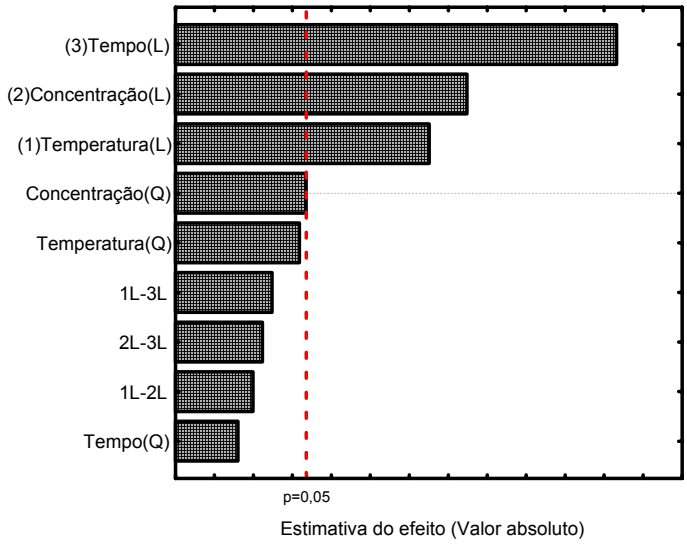


Figura 4.1 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose.

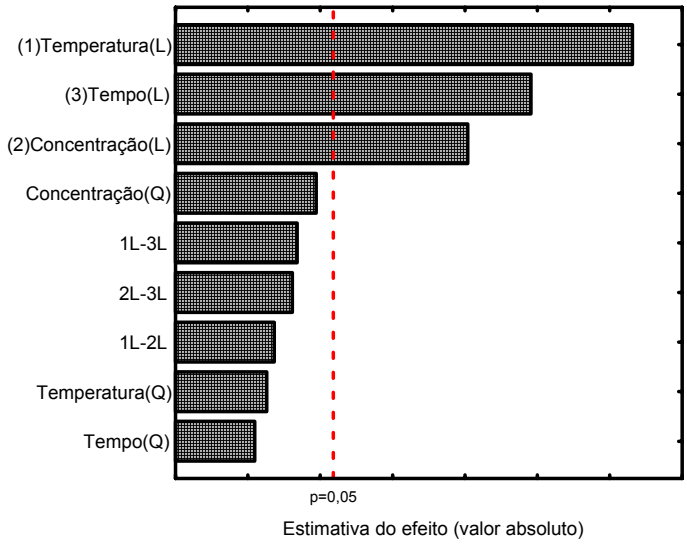


Figura 4.2 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho.

Após a retirada dos termos que não apresentaram influência significativa sobre a resposta perda de água, foi feita a análise de variância (ANOVA) e aplicado o teste F, para

se verificar a significância da regressão e avaliar os modelos propostos para cada agente desidratante.

Tabela 4.5 – Análise de Variância do modelo ajustado para perda de água na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho

	Sacarose					
Fonte de variação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**$F_{calculado}$**	**$F_{tabelado}$**	**R^2**
Regressão	857,87	5	171,57	34,11	3,20	0,94
Resíduo	55,33	11	5,03			
Falta de ajuste	52,69	9				
Erro puro	2,64	2				
Total	913,20	16				
	Xarope de milho					
Fonte de variação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**$F_{calculado}$**	**$F_{tabelado}$**	**R^2**
Regressão	1081,05	4	270,26	57,26	3,26	0,95
Resíduo	56,69	12	4,72			
Falta de ajuste	53,50	10				
Erro puro	3,19	2				
Total	1137,74	16				

GL: grau de liberdade; SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática.

De acordo com a Tabela 4.5, verifica-se que os modelos apresentaram regressão significativa (valor de $F_{calculado}$ superior ao valor de $F_{tabelado}$). Entretanto, segundo BARROS NETO *et al*. (2001), uma regressão, embora significativa do ponto de vista do teste F, pode não ser útil para realizar previsões por cobrir uma faixa de variação pequena dos fatores estudados. BOX & WETZ (1973) sugeriram que para uma regressão ser significativa não apenas estatisticamente, mas também ser útil para fins preditivos, o valor de $F_{calculado}$ para a regressão deve ser de quatro a cinco vezes superior ao valor de $F_{tabelado}$.

A análise de variância realizada mostrou que os modelos ajustados, tanto para desidratação osmótica em sacarose como em xarope de milho, foram significativos e preditivos satisfazendo o critério sugerido por BOX & WETZ (1973). A Tabela 4.5 mostra ainda que os coeficientes de correlação (R^2) foram superiores a 0,90, ou seja, a percentagem da variação explicada pelos modelos foi de 94% para a sacarose, enquanto que, para a xarope de milho essa percentagem foi de 95%.

Aplicou-se também o teste F para avaliar a falta de ajuste dos modelos e verificou-se que os valores de $F_{calculados}$ foram inferiores aos valores de $F_{tabelado}$, indicando que a falta de ajuste não teve significância, ao nível de 95%, nos modelos propostos para os dois agentes osmóticos.

Sendo assim, os modelos codificados propostos para representar a perda de água na desidratação osmótica de nectarina, em solução de sacarose e xarope de milho, estão apresentados nas Equações 4.1 e 4.2, respectivamente.

$$PA\ (\%) = 30{,}98 + 3{,}20T + 1{,}28T^2 + 3{,}76C + 1{,}39C^2 + 5{,}99t \quad (4.1)$$

$$PA\ (\%) = 30{,}45 + 6{,}44T + 3{,}68C - 1{,}31C^2 + 4{,}74t \quad (4.2)$$

onde:
T – ^{0}C
C – %
t - minutos

As Figuras 4.3 e 4.4 apresentam as superfícies de resposta geradas a partir dos dados experimentais obtidos para o agente osmótico sacarose e xarope de milho, respectivamente.

Para a desidratação osmótica em solução de sacarose, Figura 4.3a, observa-se que, dentro da faixa estudada, valores elevados de perda de água (acima de 50%) são obtidos quando a combinação de altas concentrações e altas temperaturas é utilizada.

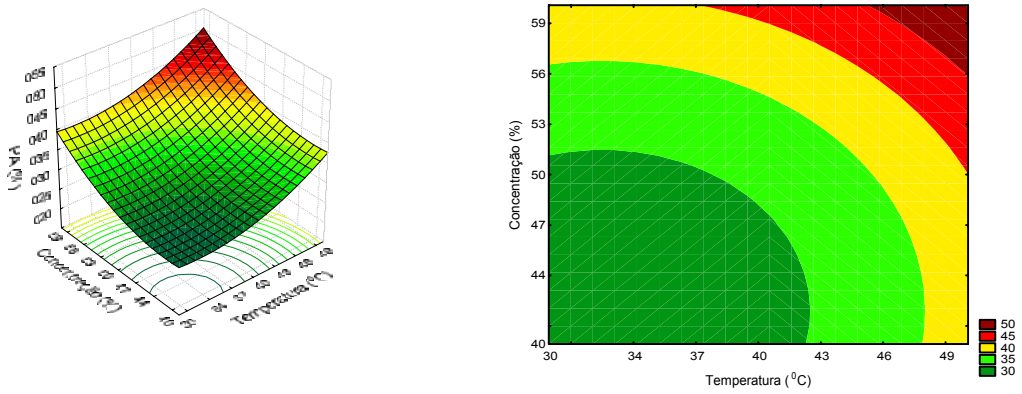
De todos os efeitos principais, a temperatura foi a que apresentou menor efeito sobre a resposta. Isto pode ser melhor visualizado através da Figura 4.3(a), onde variando-se a temperatura do nível inferior ao central, os valores de perda de água não são alterados para concentrações de até 50%.

Observando-se a Figura 4.3b e Figura 4.3c, verifica-se que longos tempos de imersão combinados com altas temperaturas ou com altas concentrações também se obtém valores de perda de água superiores a 50%.

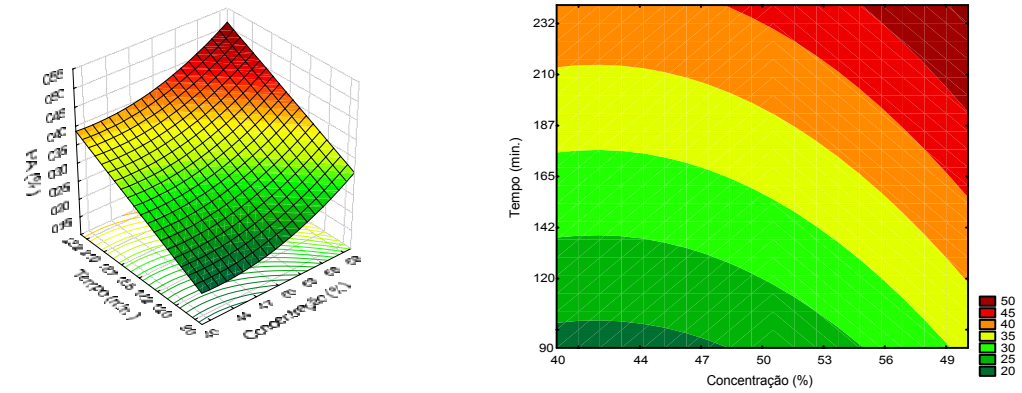
CORZO & GOMEZ (2004) estudando a desidratação osmótica de melão em soluções de sacarose, encontram valores de perda de água próximos a 40%, quando a desidratação osmótica foi realizada com altas temperaturas e tempos de imersão ao redor de 60 minutos ou quando longos tempos de imersão (superiores a 100 minutos) foram utilizados independentemente da temperatura, dentro da faixa estudada.

Com relação à perda de água na desidratação osmótica realizada com xarope de milho (Figura 4.4), para se obter altos valores de perda de água verificou-se comportamento semelhante ao observado para a sacarose, ou seja, é necessária a combinação de altas temperaturas com concentrações superiores a 50% (Figura 4.4a). Altos valores de temperatura (superiores a 46°C) também são necessários quando combinados com o tempo de imersão para que sejam alcançados valores elevados de perda de água como indica a Figura 4.4c.

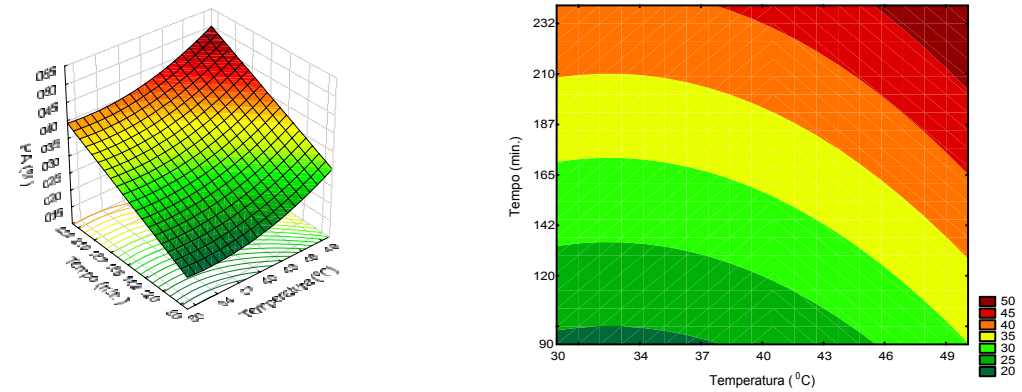
Para a combinação concentração com tempo de imersão (Figura 4.4b) verifica-se que, utilizando-se concentrações intermediárias com tempos superiores a 190 minutos obtém-se valores de perda de água superiores a 40%.



(a)

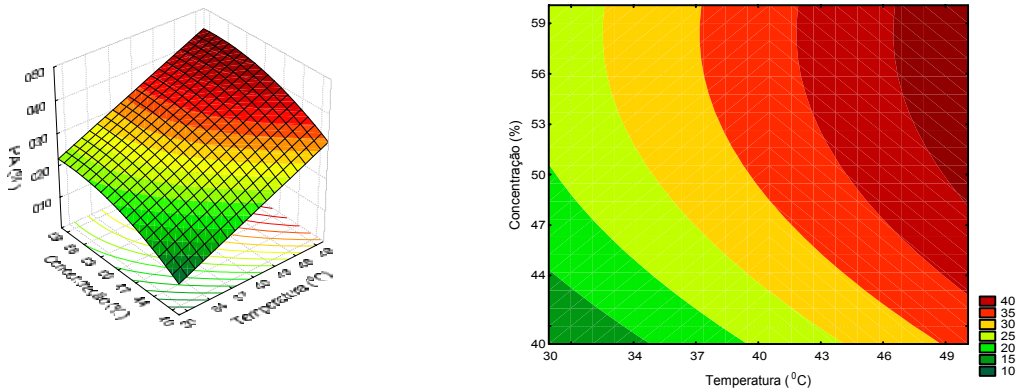


(b)

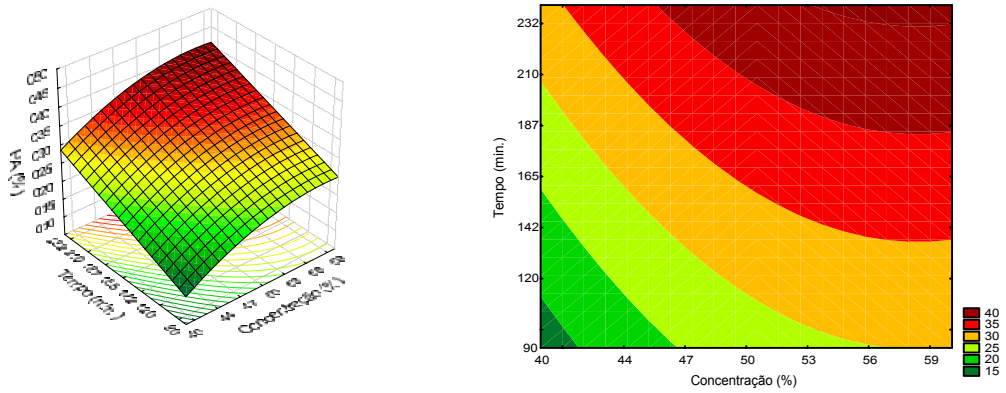


(c)

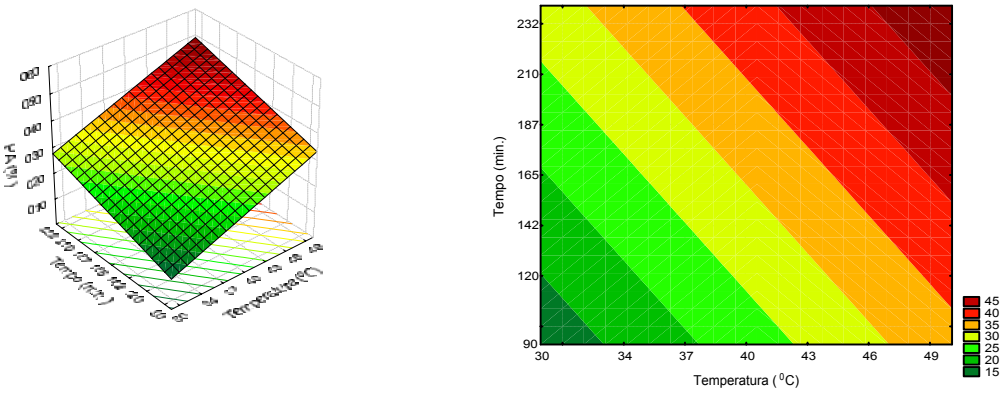
Figura 4.3 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.4 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de água da desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).

4.2.2 – Ganho de sólidos

Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e das interações no ganho de sólidos do processo de desidratação osmótica de nectarina, desidratada em soluções de sacarose e xarope de milho, são mostrados na Tabela 4.6. Os gráficos dos efeitos estimados para os dois agentes osmóticos estão apresentados nas Figuras 4.5 e 4.6.

Tabela 4.6 – Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho.

	Sacarose		**Xarope de milho**	
	Valor do efeito	**p**	**Valor do efeito**	**P**
Média global	**8,27**	**0,00***	**1,64**	**0,00***
Efeitos principais				
Temperatura–L	**2,63**	**0,00***	**0,70**	**0,00***
Temperatura-Q	**1,51**	**0,01***	-0,05	0,43
Concentração-L	**0,95**	**0,04***	**0,46**	**0,00***
Concentração-Q	**-1,60**	**0,01***	**0,34**	**0,00***
Tempo-L	**1,00**	**0,03***	**0,55**	**0,00***
Tempo-Q	-0,24	0,59	**0,89**	**0,00***
Efeito de interação				
Temperat.*conc.	**1,04**	**0,08****	0,12	0,16
Temperat.*tempo	-0,62	0,26	-0,13	0,12
Conc.*tempo	-0,07	0,89	0,02	0,75

L: linear Q: quadrático *p < 0,05 **p < 0,1

Observa-se que todos os efeitos principais foram significativos, com exceção do tempo quadrático, quando se utilizou sacarose como agente osmótico. Com relação aos efeitos de interação apenas a interação temperatura*concentração apresentou efeito significativo sobre a resposta, ao nível de confiança de 95%.

A variável temperatura (termo linear) foi a que apresentou maior influência sobre a resposta. Concentração e temperatura quadrática tiveram valores absolutos praticamente iguais, entretanto a concentração apresentou efeito negativo sobre o ganho de sólidos.

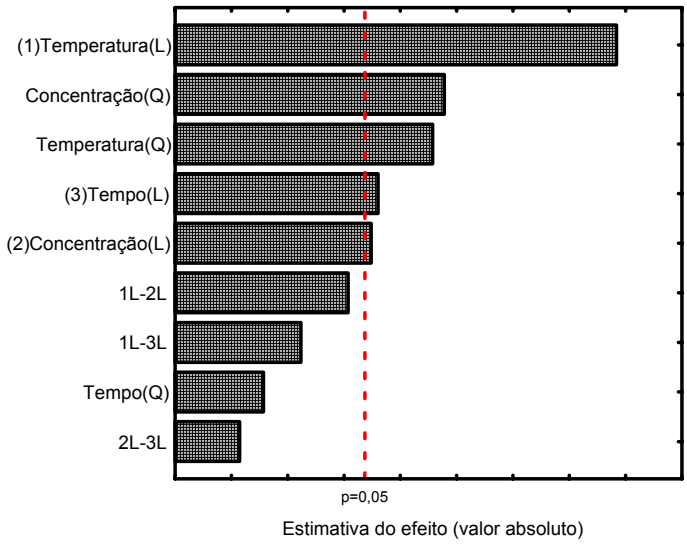


Figura 4.5 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose.

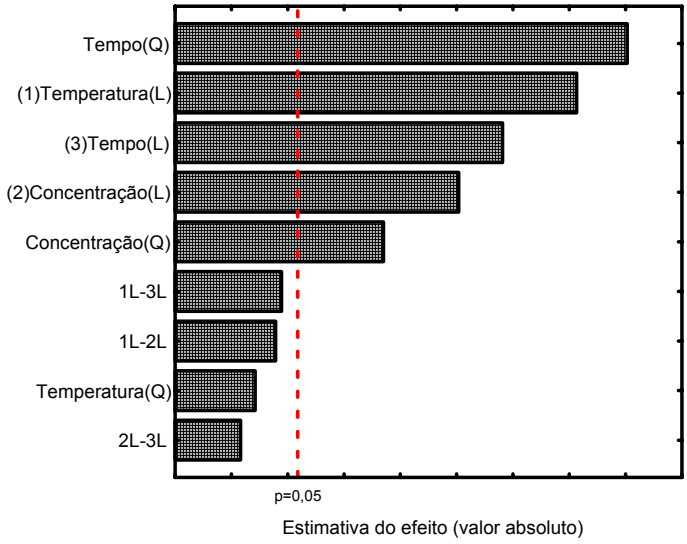


Figura 4.6 – Gráfico de pareto dos efeitos das variáveis sobre o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho.

Para o xarope de milho, os efeitos significativos foram temperatura linear, concentração linear e quadrática e tempo linear e quadrático; sendo que a maior influência sobre a resposta foi verificada para o tempo quadrático seguido do termo linear da temperatura.

Os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 4.7 mostram que os modelos ajustados apresentaram regressão significativa, ao nível de confiança de 95%, com valores de R^2 superiores a 0,90, e falta de ajuste não significativa, sendo os modelos portanto considerados significativos e preditivos.

Tabela 4.7 – Análise de Variância do modelo ajustado para ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho

	Sacarose					
Fonte de variação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**$F_{calculado}$**	**$F_{tabelado}$**	**R^2**
Regressão	51,89	6	8,65	19,22	3,22	0,92
Resíduo	4,49	10	0,45			
Falta de ajuste	4,13	8				
Erro puro	0,36	2				
Total	56,38	16				
	Xarope de milho					
Fonte de variação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**$F_{calculado}$**	**$F_{tabelado}$**	**R^2**
Regressão	6,05	5	1,21	88,73	3,20	0,97
Resíduo	0,15	11	$1,36 \times 10^{-2}$			
Falta de ajuste	0,13	9				
Erro puro	0,02	2				
Total	6,20	16				

Sendo assim, os modelos codificados propostos para descrever o ganho de sólidos na desidratação osmótica de nectarina, em soluções de sacarose e xarope de milho são:

$$GS(\%) = 8{,}11 + 1{,}32T + 0{,}79T^2 + 0{,}48C - 0{,}76C^2 + 0{,}50t + 0{,}52TC \quad (4.3)$$

$$GS(\%) = 1{,}60 + 0{,}35T + 0{,}23C + 0{,}18C^2 + 0{,}27t + 0{,}45t^2 \quad (4.4)$$

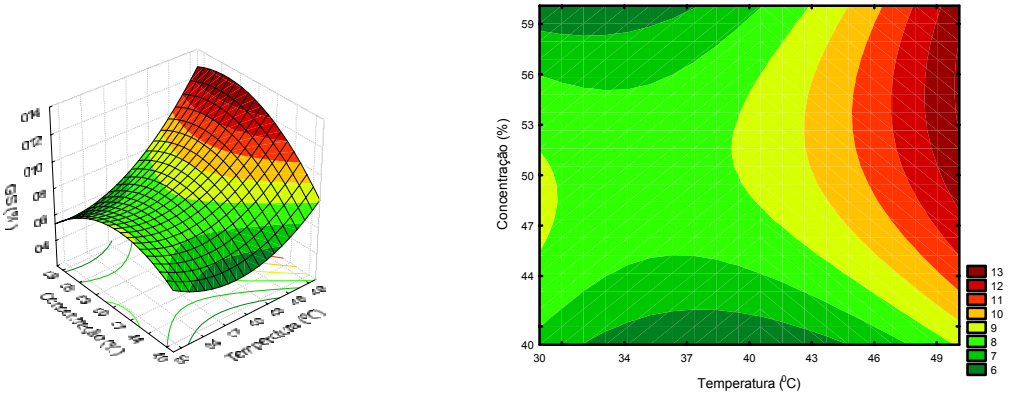
Onde:
T – ^{0}C
C – %
t – minutos

Observando a Figura **4.7**a verifica-se que a menor incorporação de sólidos foi obtida quando baixas temperaturas são utilizadas (30 a 37^{0}C) com altas concentrações de sacarose (próximas a 60%). Por outro lado quando a combinação de concentrações próximas ao

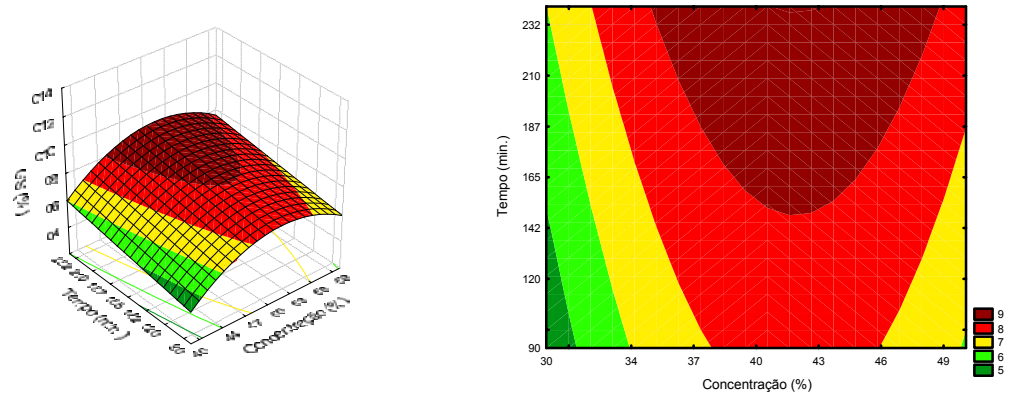
limite inferior estudado com temperaturas intermediárias também se obtém os menores valores de incorporação de soluto.

A combinação de tempo de imersão de até 142 minutos com baixa concentração (30%) mostrada na Figura **4.7**b também provocou uma menor entrada de sacarose na amostra. Analisando ainda a Figura **4.7**b (superfície de resposta) observa-se que valores intermediários de concentração apresentaram maiores valores que ganho de sólidos quando comparados com valores próximos da concentração máxima estudada. SANJINEZ (1999) também verificou comportamento semelhante ao estudar a desidratação osmótica de goiaba em solução de sacarose. Segundo RAOULT-WACK *et al.* (1989), em altas concentrações, esta aparente contradição pode ser atribuída a influência recíproca entre as transferências de água e soluto em que, a entrada de açúcar na fruta acontece por difusão havendo, entretanto, arraste de parte desse açúcar pelo fluxo de água que sai do alimento. Se este fenômeno é significativo, indica então que a penetração de açúcar está limitada a periferia da fruta desidratada. Este fenômeno ocorreu com a nectarina e pode ser observado analisando as Figuras 4.3b e 4.7b onde nas concentrações intermediárias tem-se menores valores de perda de água com maiores valores de ganho de sólidos, por outro lado, quando a concentração se aproxima do limite máximo comportamento inverso ocorre, ou seja, maiores valores de perda de água são obtidos com elevada redução do ganho de sólidos.

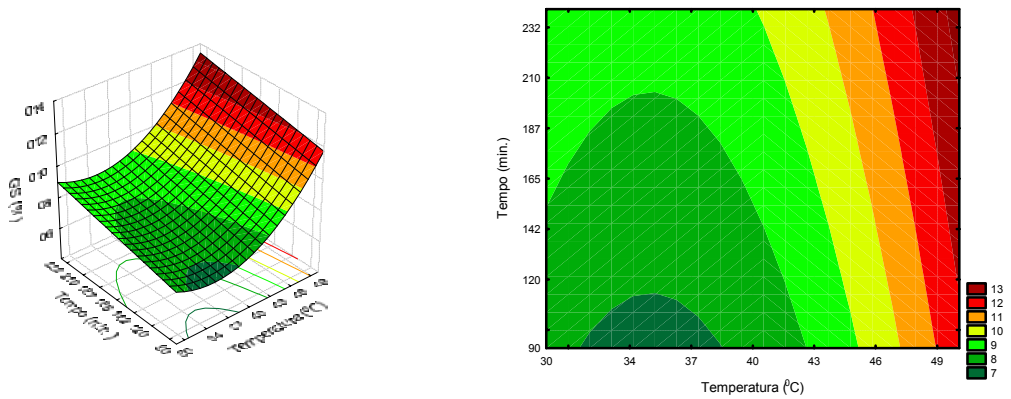
Com relação ao processo realizado com xarope de milho, uma ampla faixa de concentração (40 a 53%) pode ser utilizada com baixas temperaturas (30 a 34^0C) para que haja uma mínima incorporação de soluto na fruta, como indica a Figura 4.8(a). A Figura 4.8(c) mostra que também pode ser utilizada uma ampla faixa de tempo de imersão (142 a 160 minutos), quando a temperatura está próxima de 30^0C. Analisando a Figura 4.8b observa-se que uma região de mínimo é encontrada, quando o tempo de imersão e a concentração da solução são combinados. Neste caso uma ampla faixa de tempo (142 a 160 minutos) pode ser utilizada com a concentração variando de 45 a 49% para se obter mínima incorporação de sólidos.



(a)

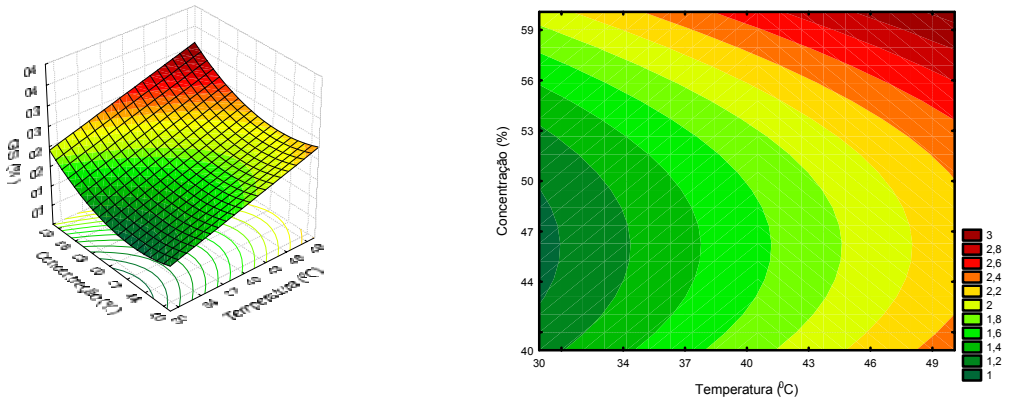


(b)

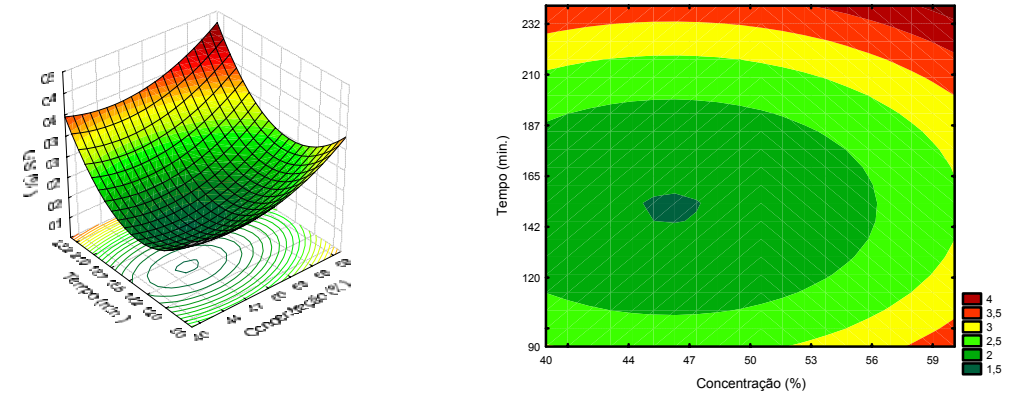


(c)

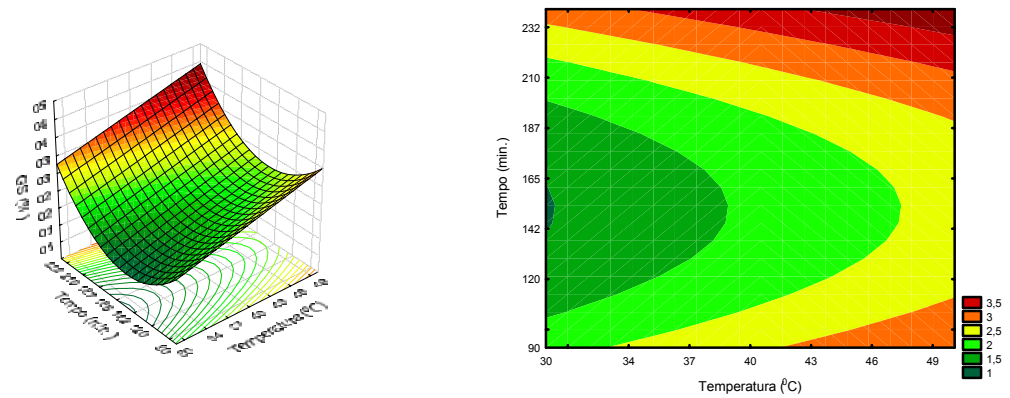
Figura 4.7 – Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.8 – Superfícies de resposta e curvas de nível para o ganho de sólidos da desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).

4.1.3 – Perda de Peso

Aos dados experimentais obtidos para a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina, em solução de sacarose e xarope de milho, foi aplicada uma análise estatística, e os resultados estão apresentados na Tabela 4.8. Os efeitos dos fatores lineares, quadráticos e de interação, em negrito, indicam que estes exercem influência significativa sobre a resposta ao nível de 95% de confiança ($p \leq 0,05$). Estes efeitos significativos podem ser mais facilmente visualizados através das Figuras 4.9 e 4.10.

Tabela 4.8 – Efeito estimado, erro puro e grau de significância estatística (p) sobre a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho.

	Sacarose		**Xarope de milho**	
	Valor do efeito	**p**	**Valor do efeito**	**P**
Média global	**22,22**	**0,00***	**28,59**	**0,00***
Efeitos principais				
Temperatura–L	**3,76**	**0,02***	**12,18**	**0,00***
Temperatura-Q	1,27	0,40	0,75	0,60
Concentração-L	**6,56**	**0,00***	**6,90**	**0,00***
Concentração-Q	**4,60**	**0,01***	**-2,86**	**0,08****
Tempo-L	**10,97**	**0,00***	**8,93**	**0,00***
Tempo-Q	1,01	0,50	-1,13	0,43
Efeito de interação				
Temperat.*conc.	0,46	0,79	1,04	0,54
Temperat.*tempo	2,86	0,14	2,29	0,20
Conc.*tempo	1,94	0,29	1,92	0,28

L: linear Q: quadrático *p < 0,05 **p < 0,1

Para a desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose, os parâmetros temperatura linear, concentração linear, concentração quadrática e tempo linear foram significativos e todos apresentaram efeito positivo sobre a resposta, ou seja, se o fator passar de um nível mais baixo para um nível mais alto o valor da resposta será aumentado. Para a resposta perda de peso, a variável tempo linear foi a que apresentou o maior efeito.

Com relação à desidratação osmótica em xarope de milho, as variáveis que apresentaram efeito significativo sobre a resposta foram as mesmas encontradas para a

sacarose, e assim como para a desidratação osmótica utilizando sacarose, todos os termos lineares significativos apresentaram efeito positivo sobre a resposta estudada.

Os efeitos que exerceram maior influência na perda de peso na desidratação osmótica de nectarina, na desidratação osmótica em solução de sacarose e em xarope de milho, foram o tempo-L e a temperatura-L, respectivamente.

CONTRERAS & SMYRL (1981), relatam que a perda de peso em anéis de maçã, desidratados com xarope de milho, foi fortemente influenciada pela temperatura da solução osmótica como também pelo tempo de imersão. A concentração também foi outro fator que influenciou significativamente na perda de peso, entretanto, para as concentrações de 42 e 50% não foram observadas diferenças significativas.

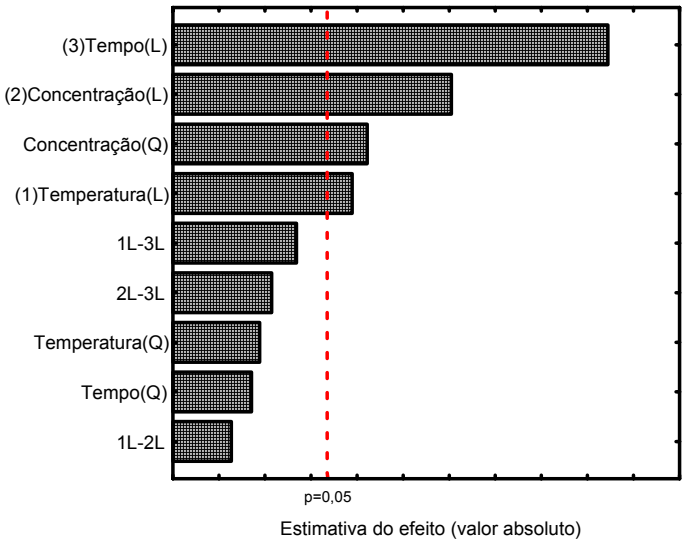


Figura 4.9 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose.

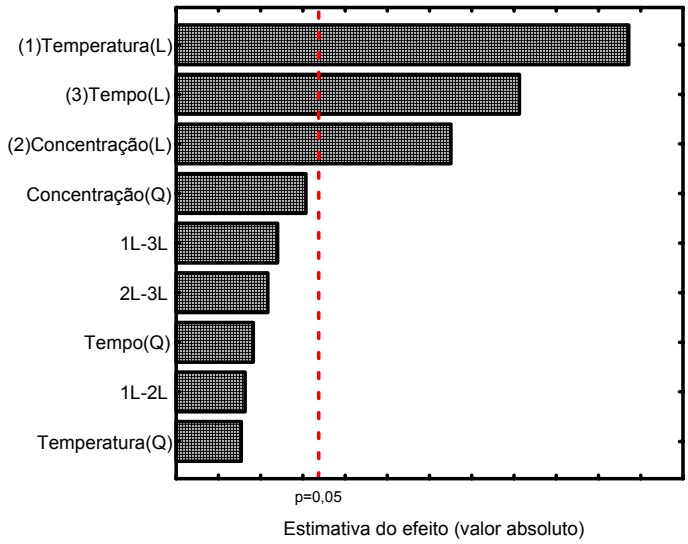


Figura 4.10 – Gráfico de Pareto dos efeitos das variáveis sobre a perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de xarope de milho.

Após a eliminação dos fatores não significativos, verificou-se através de Análise de Variância (ANOVA), a significância da regressão utilizando o teste F, para o planejamento estudado, e os resultados estão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Análise de Variância do modelo ajustado para perda de peso na desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose e de xarope de milho

	Sacarose					
Fonte de variação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**$F_{calculado}$**	**$F_{tabelado}$**	**R^2**
Regressão	660,51	4	165,13	28,13	3,26	0,90
Resíduo	70,42	12	5,87			
Falta de ajuste	65,48	10				
Erro puro	4,94	2				
Total	730,93	16				
	Xarope de milho					
Fonte de variação	**SQ**	**GL**	**MQ**	**$F_{calculado}$**	**$F_{tabelado}$**	**R^2**
Regressão	966,35	4	241,59	44,66	3,26	0,94
Resíduo	64,88	12	5,41			
Falta de ajuste	61,20	10				
Erro puro	3,68	2				
Total	1031,23	16				

GL: grau de liberdade; SQ: soma quadrática; MQ: média quadrática.

A análise de variância realizada mostrou que os modelos ajustados, tanto para desidratação osmótica em sacarose como em xarope de milho, foram significativos e preditivos satisfazendo o critério sugerido por BOX e WETZ (1973). Os coeficientes de correlação (R^2) foram superiores a 0,90, ou seja a percentagem da variação explicada pelos modelos foi de 90% para a sacarose, enquanto que, para o xarope de milho essa percentagem foi de 94%.

Os modelos propostos para representar a perda de peso em solução de sacarose e de xarope de milho estão apresentados nas Equações 4.5 e 4.6, respectivamente.

$$PP\,(\%) = 23{,}35 + 1{,}88T + 3{,}28C + 2{,}04C^2 + 5{,}48t \tag{4.5}$$

$$PP\,(\%) = 28{,}40 + 6{,}09T + 3{,}45C - 1{,}39C^2 + 4{,}47t \tag{4.6}$$

Onde:

T : temperatura (ºC);

C : concentração (%);

t : tempo (min).

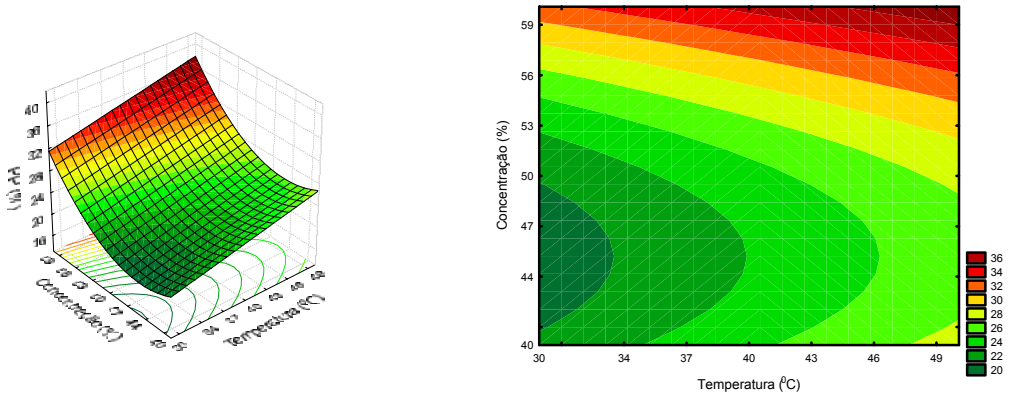
As superfícies de resposta e as curvas de nível geradas pelos modelos propostos para cada agente osmótico são apresentadas nas Figuras 4.11 e 4.12. Estas superfícies ratificam o comportamento observado na análise dos efeitos realizada anteriormente e permite a visualização da variação da resposta perda de peso em função de cada parâmetro estudado.

Analisando a Figura 4.11(a) observa-se que para se obter perda de peso elevada, é necessária a utilização de elevada concentração combinada com alta temperatura. Em relação ao tempo de imersão, quando este é combinado com altas concentrações (Figura 4.11(b)) altos valores de perda de peso são alcançados.

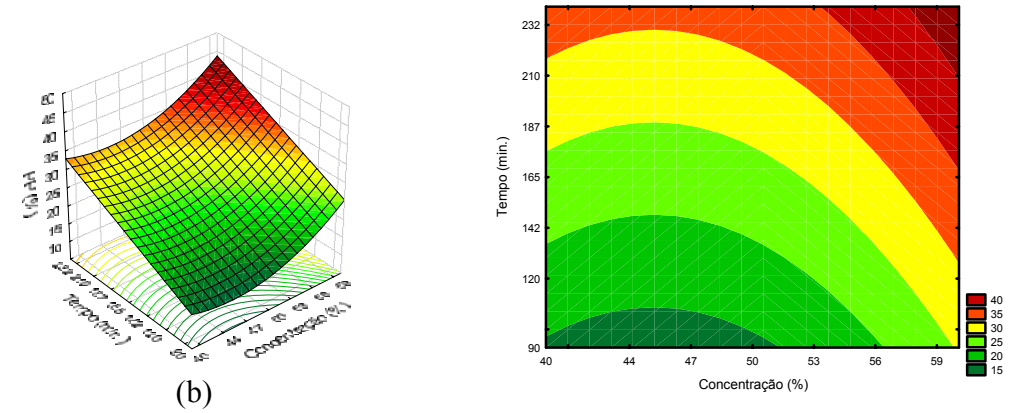
Através da Figura 4.11(c) observa-se que uma ampla faixa de temperatura pode ser utilizada quando combinada com tempos superiores a 200 minutos, para que se alcance valore de perda de peso elevados.

Durante a desidratação osmótica de melão com sacarose (CORZO & GOMEZ, 2004), foi observado que, a perda de peso aumenta quando a temperatura é modificada do nível inferior (36,6°C) para o nível superior (53,4°C) e o tempo é aumentado do nível médio (90 minutos) para o nível superior do planejamento (140 minutos).

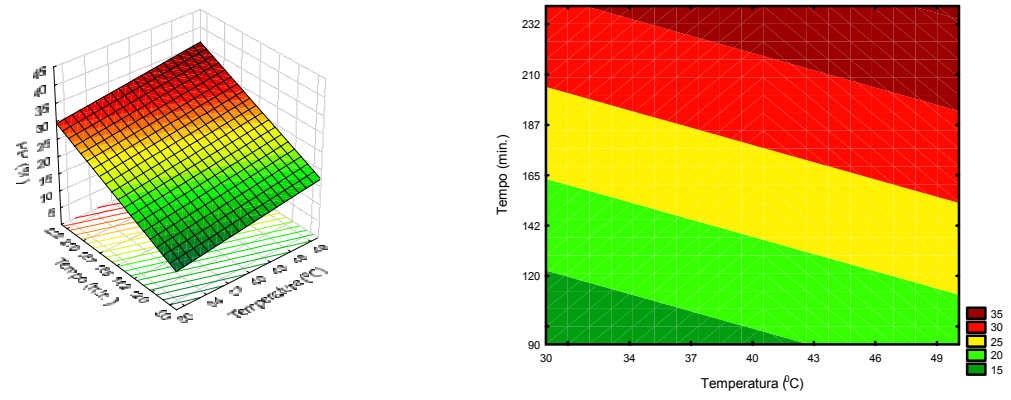
De acordo com a Figura 4.12(a) uma ampla faixa de concentração pode ser utilizada quando combinada com temperaturas superiores a 45°C, para se obter altos valores de perda de peso. Observando a Figura 4.12b verifica-se que altos valores de perda de peso são obtidos quando a combinação de concentrações superiores a 48% são utilizadas com altos valores de tempo de imersão (210 a 240 minutos). Nesta faixa de tempo de imersão é necessária ainda à combinação com temperaturas compreendidas entre 45 e 50^0C (Figura 4.12c).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.11 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).

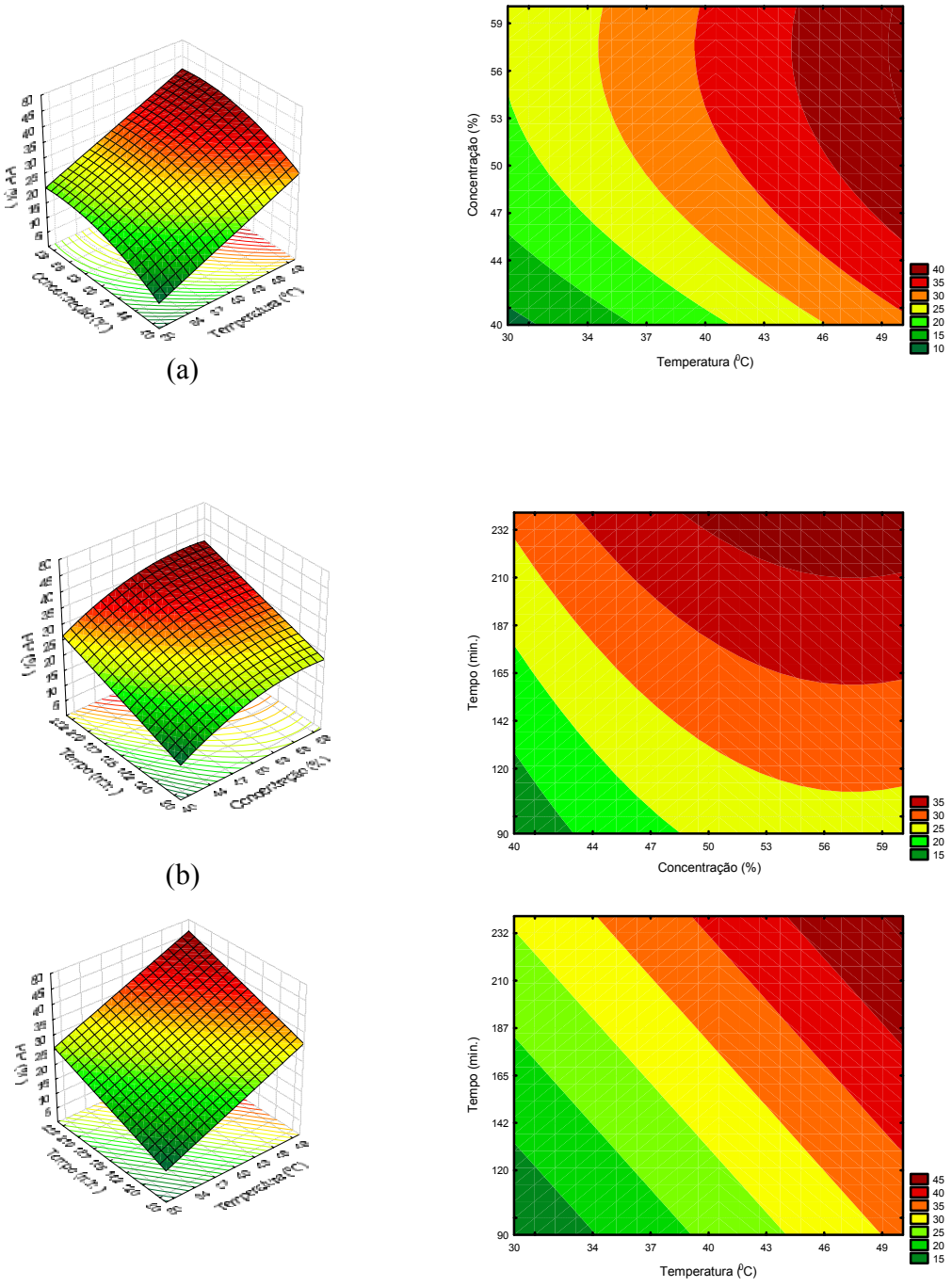


Figura 4.12 – Superfícies de resposta e curvas de nível para a perda de peso da desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t= 165 min (a), C= 50% (b) e T= 40°C (c).

4.1.4 – Otimização do Processo de Desidratação Osmótica

O pré-tratamento osmótico teve como objetivo manter ao máximo as características iniciais da fruta *in natura*, utilizando temperaturas que não provocassem alterações na estrutura do material, mas que possibilitassem a máxima remoção de água com mínima incorporação de soluto. Para determinar a região com essas características, máxima perda de água e mínima incorporação de soluto, utilizou-se a relação GS/PA.

As Figuras 4.13 e 4.14 apresentam as curvas de níveis para a relação GS/PA na desidratação osmótica de nectarina, dentro da faixa experimental estudada de temperatura (30 a 50°C), concentração (40 a 60%) e tempo (90 a 240 minutos).

Observando-se a Figura 4.13 verifica-se que o menor valor para a relação GS/PA é obtido quando o valor máximo da concentração é empregado (60%) para uma faixa de temperatura baixa (30-35^{0}C) e tempos de processo que podem variar entre 220 e 240 minutos, quando a sacarose é utilizada com agente desidratante.

Em relação a Figura 4.14, que se refere às curvas de nível da desidratação osmótica realizada em xarope de milho, observa-se que uma ampla faixa de concentração pode ser empregada (46 a 55%) quando a temperatura variar dentro da faixa de 45 a 50^{0}C e os tempos de imersão estiverem compreendidos entre 150 e 200 minutos.

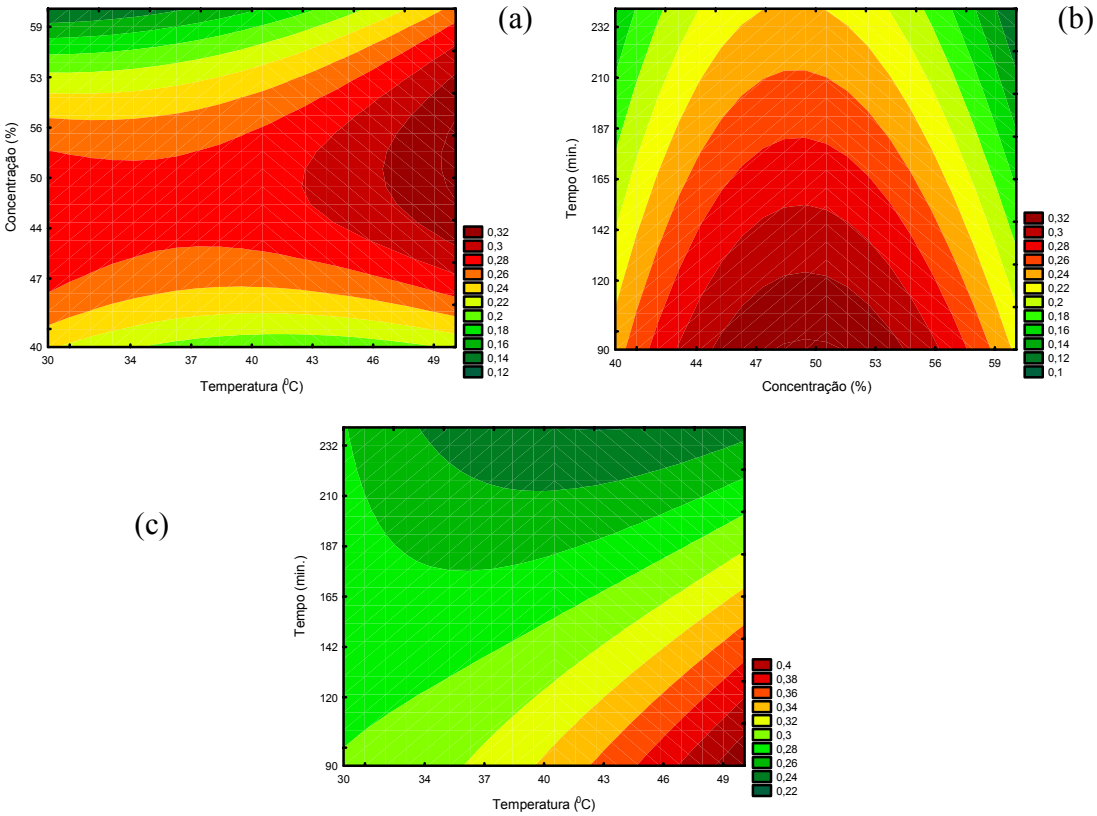


Figura 4.13 – Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose a: t=165 min (a); T= 40°C (b) e C=50% (c).

Levando-se em consideração todas as observações realizadas e com a finalidade de se obter menores valores de GS/PA (máxima perda de água e mínimo ganho de sólidos) mantendo ao máximo as características originais das frutas, as condições de processo escolhidas como ótimas, para serem utilizadas como pré-tratamento a secagem, estão apresentadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Melhores parâmetros de temperatura (T), concentração (C) e tempo de imersão (t) na desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose e xarope de milho.

Condição	T (ºC)	C (%)	t (min)
Sacarose (DOS)	30	60	210
Xarope (DOG)	45	46	150

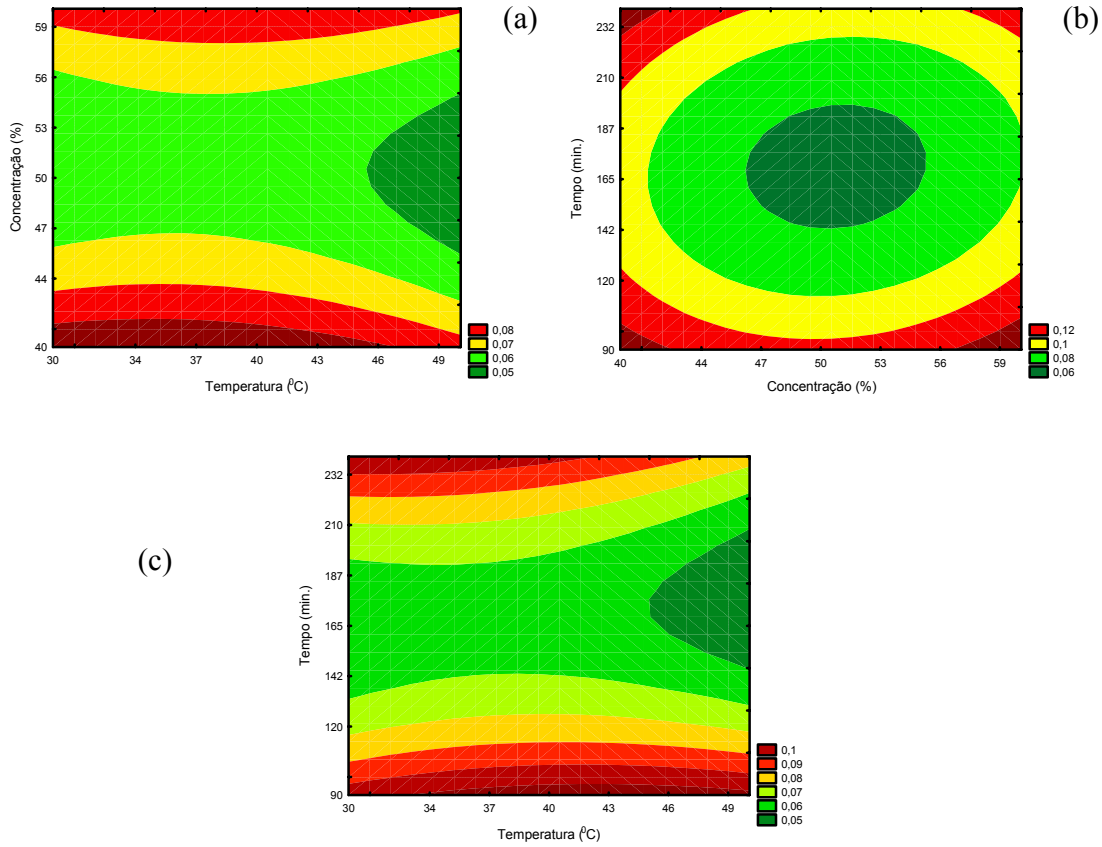


Figura 4.14 – Curvas de nível para a relação GS/PA para a desidratação osmótica de nectarina em xarope de milho a: t=165 min (a); T= 40°C (b) e C=50% (c).

Os resultados experimentais obtidos no processo de desidratação osmótica, nas condições otimizadas escolhidas, bem como as respostas obtidas através dos modelos preditivos propostos (Equações 4.1 a 4.6) e os valores do desvio médio relativo P encontram-se na Tabela 4.11. Observa-se que os valores experimentais obtidos estão próximos aos valores preditos pelo modelo e que os valores de P são inferiores a 10% , reforçando a validade dos mesmos.

Tabela 4.11 – Valores experimentais e preditos pelos modelos das respostas PP, PA e GS para as condições otimizadas.

Resposta	**Sacarose**		**P (%)**	**Xarope de milho**		**P (%)**
	Observ.	Pred.		Observ.	Pred.	
PP (%)	38,99	36,94	5,51	30,43	28,64	5,88
PA (%)	41,99	45,44	8,22	29,20	31,27	7,08
GS (%)	6,05	5,82	3,80	1,88	1,77	5,85

4.2 - Secagem

Os dados experimentais de secagem foram obtidos para a nectarina *in natura* e para a fruta pré-tratada osmoticamente, nas condições ótimas escolhidas na etapa de desidratação osmótica, como discutido no item 4.1.4. Os parâmetros estudados foram temperatura e a velocidade do ar que variaram de 40, 50 e 60^{0}C e 1,5 a 2,1m/s, respectivamente. A Tabela 4.12 mostra as umidades médias relativas do ar de secagem, para cada condição estudada e também as umidades de equilíbrio, que foram obtidas dinamicamente pesando-se as amostras até que se atingisse peso constante.

Tabela 4.12 – Umidade relativa do ar e umidade de equilíbrio para as condições de processo para a fruta *in natura*, desidratada osmoticamente com sacarose (DOS) e desidratada osmoticamente com xarope de milho (DOG).

		In natura		Sacarose		Xarope	
T (°C)	v(m/s)	UR (%)	X_e (b.s)	UR (%)	X_e (b.s)	UR (%)	X_e (b.s)
40	1,5	25,1	0,14	27,9	0,22	32,6	0,23
40	2,1	25,1	0,14	27,9	0,23	32,6	0,22
50	1,5	17,9	0,11	18,6	0,19	29,1	0,19
50	2,1	17,9	0,12	18,6	0,18	29,1	020
60	1,5	10,7	0,13	13,4	0,22	13,8	0,31
60	2,1	10,7	0,13	13,4	0,18	13,8	0,26

As Figuras 4.15 e 4.16 mostram os adimensionais de umidade em função do tempo para as velocidades do ar de 1,5 e 2,1m/s, respectivamente. Observa-se que nas duas velocidades utilizadas a temperatura do ar de secagem mostrou ter influência sobre a cinética do processo, sendo essa influência mais acentuada para a velocidade de 2,1m/s, onde as curvas para a temperatura a 60^{0}C apresentaram um maior declínio quando comparadas com a temperatura de 40^{0}C, resultando com isso na redução do tempo de secagem, considerando-se o valor de 30% de umidade (base úmida), que é o recomendado para frutas secas (ANVISA, s.d.). Para a velocidade de 1,5m/s (Figura 4.15) a influência da temperatura foi mais acentuada nas amostras pré-tratadas osmoticamente, principalmente nas amostras desidratadas com sacarose. Entretanto, as curvas de secagem para as duas velocidades mostram uma convergência após 6 horas de processo tendendo então ao equilíbrio.

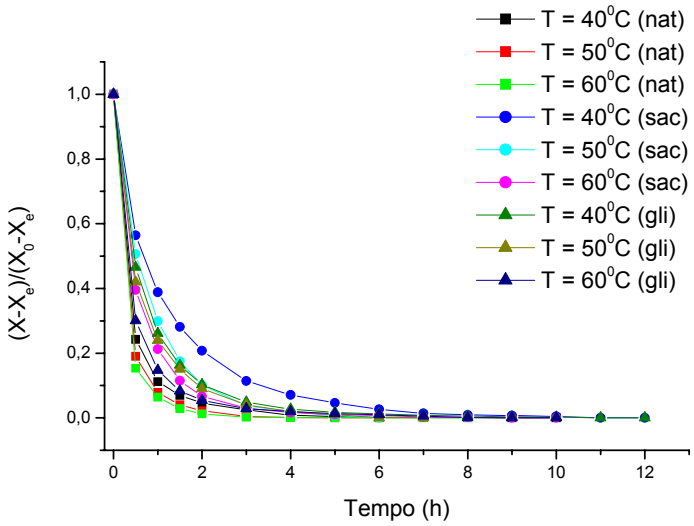


Figura 4.15 – Curva de secagem de nectarina para velocidade do ar de 1,5m/s.

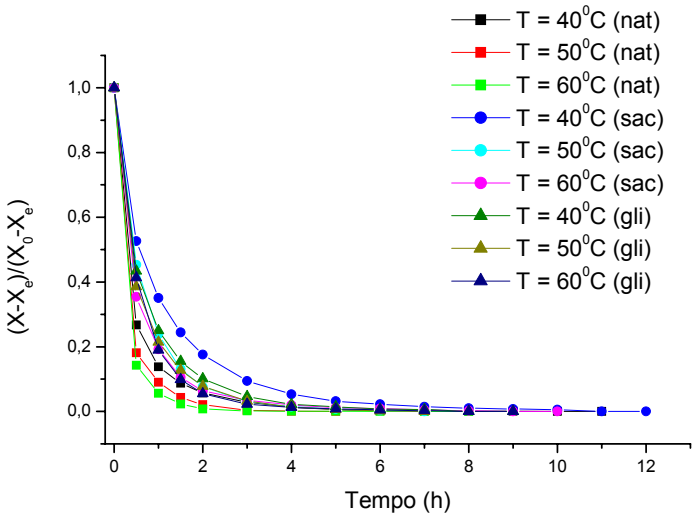


Figura 4.16 – Curva de secagem de nectarina para velocidade do ar de 2,1m/s.

As Figuras 4.17 a 4.19 mostram a variação da taxa de secagem em função da umidade das amostras em base seca. Comparando as Figuras 4.17(a), 4.18(a) e 4.19(a) pode-se observar que altas taxas de secagem foram obtidas no início do processo quando o conteúdo de umidade era maior, sendo que as maiores taxas foram apresentadas pela amostra *in natura*, uma vez que esta amostra apresentava um maior conteúdo de umidade.

As Figuras 4.17(a) e 4.17(b) mostram que no início e no final do processo de secagem, respectivamente, a temperatura do ar influenciou a taxa de secagem, isto é, o aumento desta variável provocou um aumento no valor da taxa. Com relação a velocidade do ar, observando-se a Figura 4.17(a) verifica-se que a mesma mostrou exercer uma maior influência no início do processo sobre a menor temperatura de secagem (40°C), não exercendo influência sobre a temperatura de 50°C uma vez que as curvas de taxa para esta temperatura apresentam-se sobrepostas. Uma análise mais detalhada do final do processo (Figura 4.17(b)), mostra as curvas para a temperatura de 50°C sobrepostas, confirmando que a velocidade do ar, para esta temperatura, não exerceu influência significativa.

Para as amostras pré-tratadas osmoticamente com sacarose observa-se que no início do processo (Figura 4.18(a)) tanto a temperatura como a velocidade do ar mostraram ter influência sobre a taxa de secagem para todas as amostras estudadas. No final do processo (Figura 4.18(b)) a temperatura e velocidade do ar continuaram influenciando a taxa do processo de secagem, entretanto, somente para as temperaturas de 50 e 60^0C.

Em relação a taxa de secagem das amostras pré-tratadas com xarope de milho no início do processo a temperatura de secagem exerceu uma maior influência quando comparada com a velocidade do ar (Figura 4.19(a)), sendo as amostras secas na temperatura de 40°C as que apresentaram os menores valores de taxa.

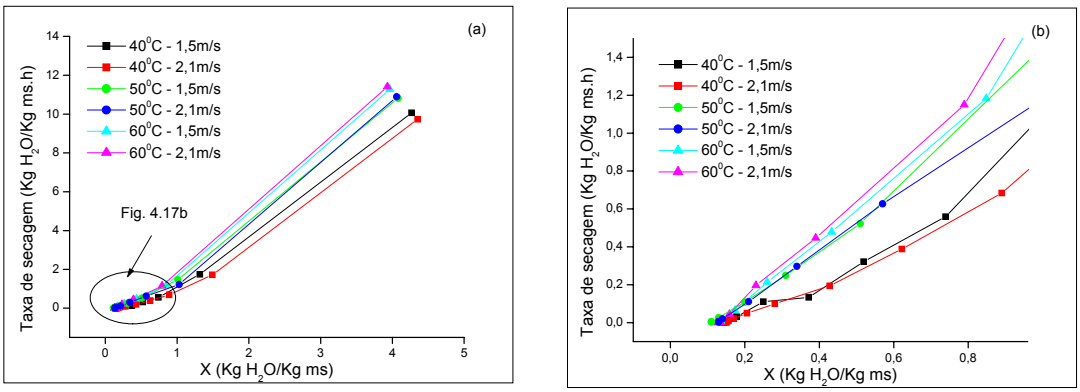


Figura 4.17 – Taxa de secagem da nectarina *in natura*.

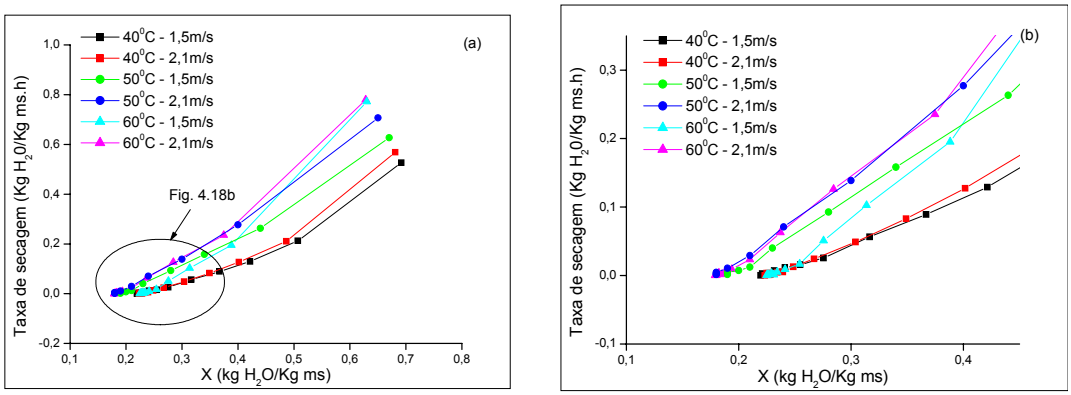


Figura 4.18 – Taxa de secagem da nectarina desidratada osmoticamente em sacarose.

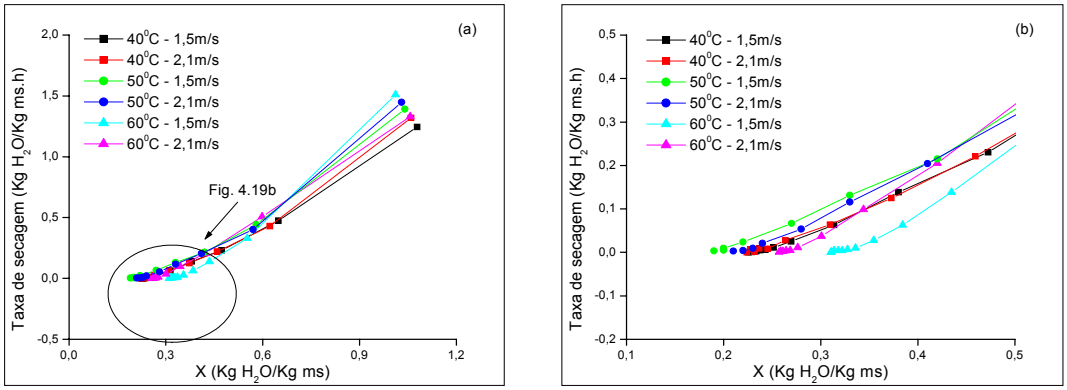


Figura 4.19 – Taxa de secagem da nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho.

4.3 – Modelagem Matemática da Secagem

4.3.1 – Modelo de Fick

Os dados experimentais foram ajustados inicialmente para o modelo difusional de Fick, considerando geometria de placa plana infinita, para o cálculo da difusividade efetiva da água (D_{ef}). Os dados também foram ajustados utilizando-se o modelo de Page.

Os valores de difusividade foram obtidos utilizando-se a Equação (2.4) considerando-se apenas o primeiro termo da série, e as Figuras 4.20 a 4.22 mostram os ajustes desse modelo para a nectarina *in natura*, desidratada osmoticamente em sacarose e desidratada osmoticamente com xarope de milho, respectivamente. Os valores de difusividade efetiva da água estão apresentados na Tabela 4.13, assim como os coeficientes de correlação (R^2) e erros médios relativos (P).

Tabela 4.13 – Valores de difusividade efetiva da água, R^2 e P para a nectarina seca *in natura*, pré-tratada osmoticamente com sacarose e pré-tratada osmoticamente com xarope de milho, respectivamente.

Amostra	T (°C)	v (m/s)	D_{ef} x 10^{10} (m^2/s)	R^2	P (%)
	40	1,5	6,94	0,98	11,46
In natura	40	2,1	7,50	0,99	10,56
	50	1,5	11,3	0,97	5,07
	50	2,1	11,8	0,98	4,86
	60	1,5	14,77	0,99	10,36
	60	2,1	16,11	0,99	9,62
	40	1,5	3,66	0,99	3,59
Sacarose	40	2,1	4,08	0,98	8,62
	50	1,5	6,75	0,99	4,35
	50	2,1	6,50	0,98	6,80
	60	1,5	6,54	0,97	11,92
	60	2,1	7,09	0,97	10,96
	40	1,5	5,02	0,97	12,45
Xarope	40	2,1	5,44	0,98	12,46
	50	1,5	6,54	0,99	3,86
	50	2,1	6,67	0,99	4,14
	60	1,5	8,02	0,99	8,50
	60	2,1	8,91	0,96	13,55

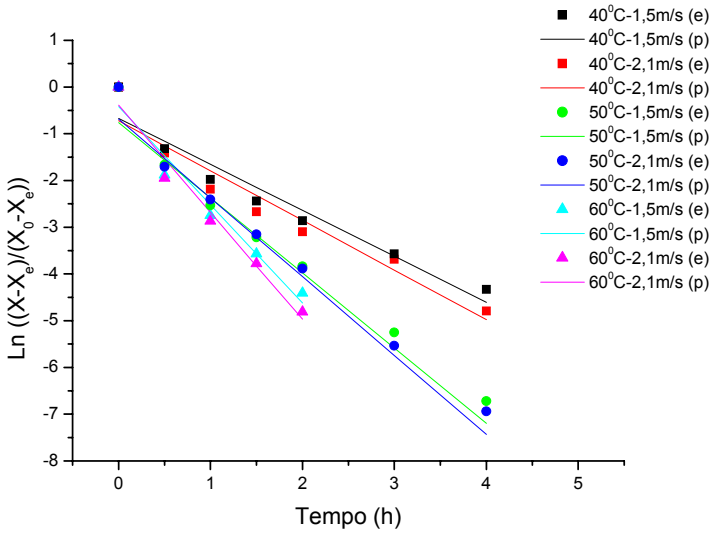


Figura 4.20 – Ajuste do modelo de Fick para a nectarina seca *in natura*. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo.

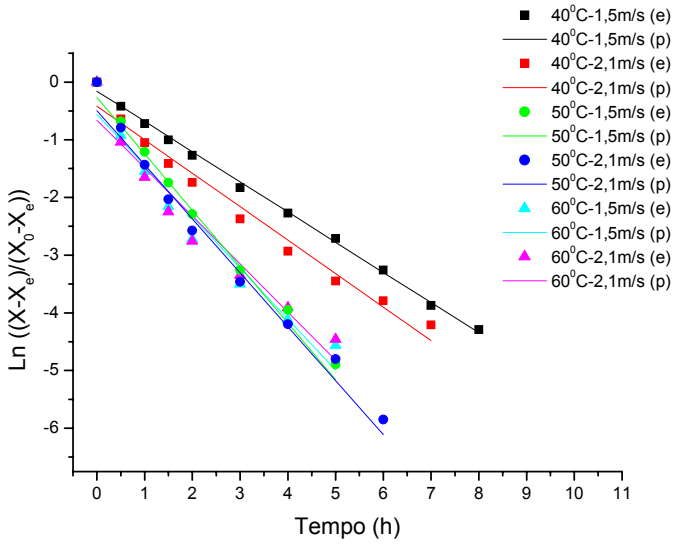


Figura 4.21 – Ajuste do modelo de Fick para a nectarina desidratada osmoticamente em sacarose e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo.

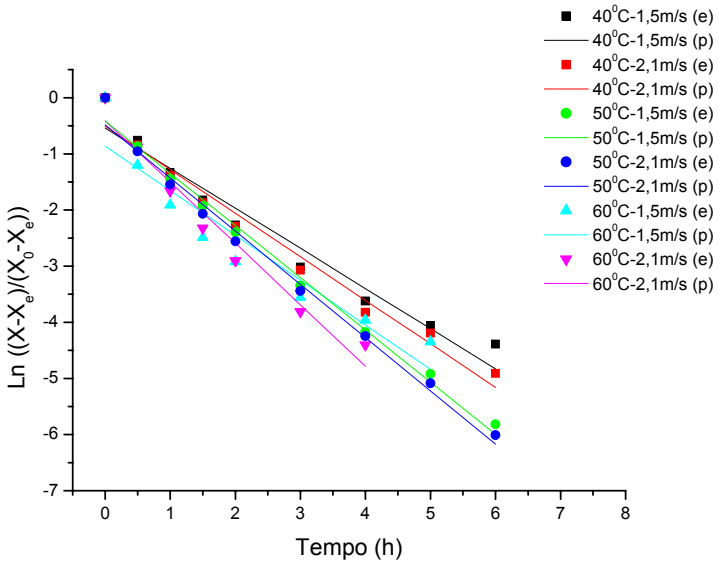


Figura 4.22 – Ajuste do modelo de Fick para a nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo.

Observa-se que os maiores valores de difusividade efetiva foram obtidos para as amostras *in natura*, devido ao alto conteúdo de água livre presente nesta amostra, facilitando assim a transferência de massa. Em relação aos valores de difusividade encontrados para as amostras que sofreram pré-tratamento osmótico, verifica-se que as amostras pré-tratadas com xarope de milho, apresentaram valores de difusividade maiores do que as amostras pré-tratadas com sacarose. Como as amostras desidratadas osmoticamente em sacarose perderam mais água e incorporaram mais sólidos no pré-tratamento, conseqüentemente a água livre disponível era menor nestas amostras e portanto, a taxa de transferência de massa foi menor.

Analisando o coeficiente de correlação, verifica-se que em todas as condições estudadas, os valores obtidos encontram-se próximos da unidade. Já para os valores dos desvios relativos médios obtidos, de uma maneira geral, a maioria é inferior a 10%, indicando que o ajuste do modelo foi adequado.

Segundo CONTRERAS & SMYRL (1981) a utilização de xarope de milho no processo osmótico de maçã, seguido de secagem, quando comparada com a utilização de

sacarose é vantajosa, pois, como a difusividade da água depende, entre outros fatores, do conteúdo de sólidos dissolvidos (a difusividade diminui com o aumento dos sólidos), a menor incorporação de sólidos na desidratação osmótica com xarope de milho favorece a saída mais rápida da água presente na fruta, aumentando com isso o valor da difusividade.

KARATANOS *et al*. (1995) reportaram que a difusividade da água durante secagem convectiva de cilindros de maçã, na temperatura de 55°C, decresceu como consequência do aumento na concentração das soluções osmóticas (15 – 45% p/p) usadas como pré-tratamentos para a secagem. Os autores acreditam que este comportamento foi devido a redução da porosidade dos tecidos resultante da infiltração de açúcar e seu subsequente colapso durante a secagem. ISLAM e FLINK (1982) também observaram redução nos valores de difusividade de água em amostras de batata pré-tratadas osmoticamente em soluções de sacarose e sacarose-sal.

COLLIGNAN *et al*. (1992) propuseram que a formação de uma camada periférica de sacarose durante a desidratação osmótica é a responsável pelo aumento da resistência ao movimento da água durante a etapa de secagem, reduzindo com isso os valores de difusividade efetiva.

MAZZA (1983) observou que ao aumentar a concentração de sacarose de 5 para 60% (consequentemente aumentando o ganho de sólidos durante o pré-processo) a taxa de secagem decresce. Segundo o autor, este fato ocorreu devido à cristalização da sacarose durante processo de secagem diminuir a difusividade da umidade e dificultar a transferência de calor e à redução da pressão de vapor d´água no produto em conseqüência da dissolução do açúcar.

Observa-se ainda que o aumento da temperatura provocou um aumento nos valores de difusividade para as três amostras, enquanto que, ao se aumentar o valor da velocidade do ar, as alterações nos valores de difusividade não foram muito significativas.

Com relação ao ajuste do modelo de Fick, observa-se que o mesmo ajustou bem os dados experimentais, pois o valor do erro relativo médio ficou abaixo ou muito próximo do valor sugerido por LOMAURO *et al*. (1985), que é de 10%, apresentando ainda valores do coeficiente de correlação R^2 muito próximos da unidade.

Comparado os valores obtidos de difusividade com valores encontrados na literatura para frutas, verifica-se que eles encontram-se na mesma ordem de grandeza:

EL-AOUAR *et al*. (2003) encontraram valores de difusividade efetiva entre 10,3 e 17,8 x 10^{-10} m^2/s para mamão pré-tratado osmoticamente em sacarose e seco nas temperaturas de 40 e 60^0C.

Valores de difusividade variando entre 3,21 a 12,67x10^{-10} m^2/s foram encontrados por SIMAL *et al*., 1997 ao estudar a secagem de maçã nas temperaturas de 30 e 60°C quando esta foram previamente desidratada e valores entre 1,98 a 9,79x10^{-10} m^2/s utilizando temperaturas entre 30 e 90°C.

AZOUBEL (2002) estudando a influência do pré-tratamento osmótico na secagem de caju encontrou valores de difusividade na faixa de 10,82 a 25,00 x 10^{-10} m^2/s para o caju *in natura* e 8,23 a 15,68 x 10^{-10} m^2/s para o caju desidratado osmoticamente em sacarose. A mesma autora encontrou valores de difusividade entre 8,57 a 20,69 x 10^{-10} m^2/s quando o pré-tratamnto osmótico foi realizando utilizando-se xarope de milho.

4.3.2 - Modelo de Page

As Figuras 4.23 a 4.25 mostram os ajustes dos dados experimentais utilizando o modelo de Page para a nectarina *in natura* e osmoticamente pré-tratada. Os parâmetros do modelo (K e b) estão apresentados na Tabela 4.14 juntamente com os valores do coeficiente de correlação (R^2). Verifica-se que o modelo apresentou ajuste muito bom para todos os dados experimentais, apresentando baixos valores de desvio relativo médio (P), sendo, portanto um bom modelo para fazer a predição da cinética de secagem de nectarina.

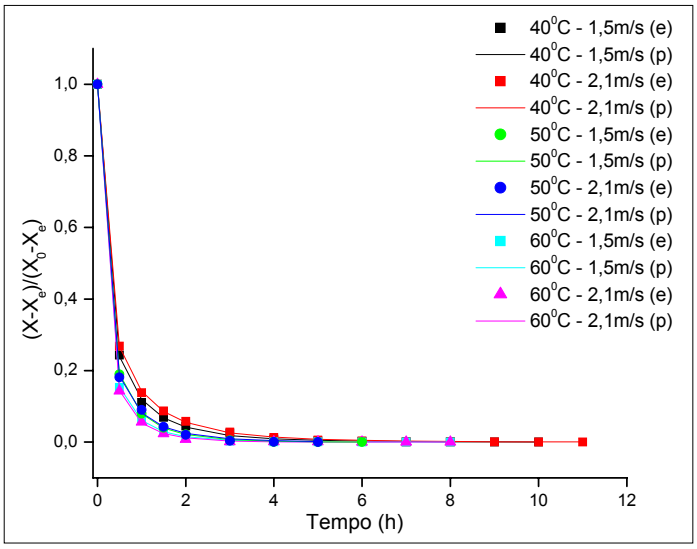


Figura 4.23 – Ajuste do modelo de Page para a nectarina seca *in natura*. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo.

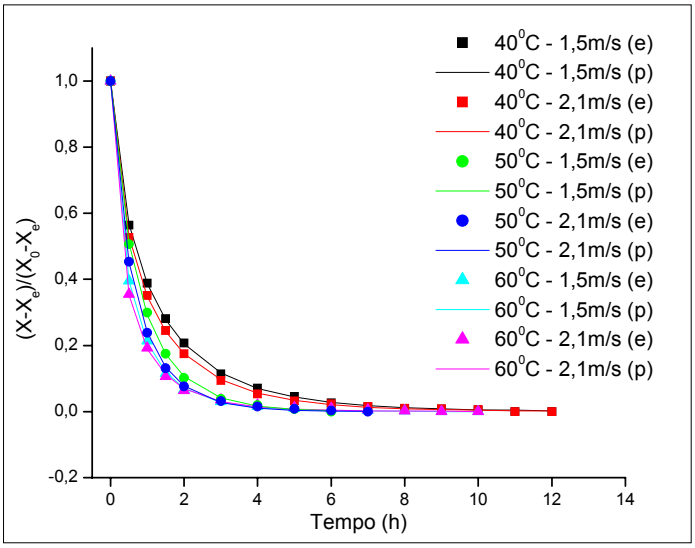


Figura 4.24 – Ajuste do modelo de Page para a nectarina desidratada osmoticamente em sacarose e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo.

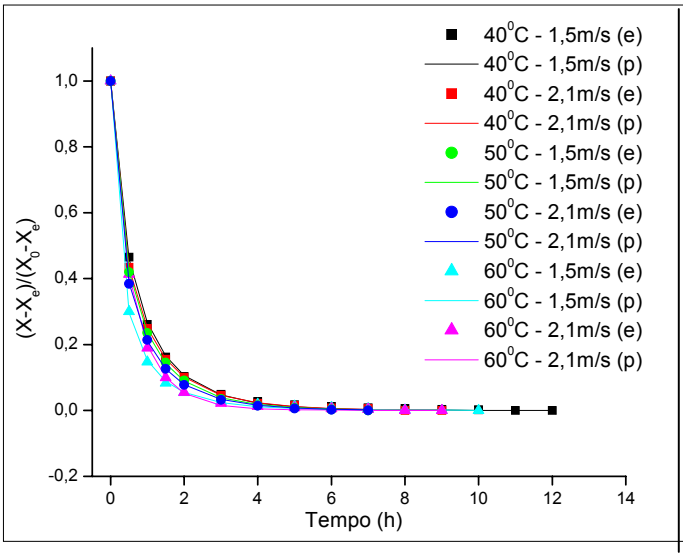


Figura 4.25 – Ajuste do modelo de Page para a nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho e seca. (e) Dados experimentais (p) Valores preditos pelo modelo.

Tabela 4.14 – Valores de K, b, R^2 e P do modelo de Page para a nectarina seca *in natura*, pré-tratada osmoticamente com sacarose e pré-tratada osmoticamente com xarope de milho.

Amostra	T (°C)	V (m/s)	K	b	R^2	P
	40	1,5	2,12	0,57	0,99	8,35
In natura	40	2,1	1,95	0,56	0,99	2,78
	50	1,5	2,53	0,61	0,99	6,92
	50	2,1	2,50	0,57	0,99	6,08
	60	1,5	2,79	0,58	0,99	5,62
	60	2,1	2,93	0,60	0,99	7,29
	40	1,5	0,72	0,83	0,99	4,91
Sacarose	40	2,1	1,05	0,72	0,99	6,32
	50	1,5	1,23	0,87	0,99	4,44
	50	2,1	1,43	0,84	0,99	7,24
	60	1,5	1,57	0,75	0,99	5,94
	60	2,1	1,66	0,68	0,99	7,23
	40	1,5	1,32	0,77	0,99	5,46
Xarope	40	2,1	1,38	0,72	0,99	8,12
	50	1,5	1,55	0,71	0,99	5,85
	50	2,1	1,44	0,74	0,99	10,76
	60	1,5	1,88	0,63	0,99	7,54
	60	2,1	1,62	0,86	0,99	4,36

Observando-se os valores na tabela acima, verifica-se que o modelo de Page também apresentou um bom ajuste aos dados experimentais, pois os valores do desvio relativo médio (P) ficaram abaixo do valor sugerido por LOMAURO *et al*. (1985) que é 10%. Observa-se que o valor do parâmetro K para a amostra *in natura* apresentou valores superiores aos valores encontrados para as amostras pré-tratadas osmoticamente e comportamento inverso foi observado para o parâmetro b.

4.4 - Encolhimento

A relação entre o encolhimento do material em função do conteúdo de água removida tem sido uma das formas empregadas para se estudar o fenômeno do encolhimento. KILPATRICK *et al*. (1955) foi um dos primeiros a propor uma relação linear entre o encolhimento sofrido pelo material e a quantidade de água removida. Estudos posteriores realizados por LOZANO *et al*. (1983) mostraram que este comportamento linear foi observado somente para o início do processo de secagem quando a quantidade de água livre no material é grande. Deste modo, um outro modelo de comportamento não linear foi proposto por LOZANO *et* al. (1983) para descrever o estágio final do processo de secagem.

As Figuras abaixo mostram a variação de volume das amostras em função da umidade do material, para as diversas condições estudadas.

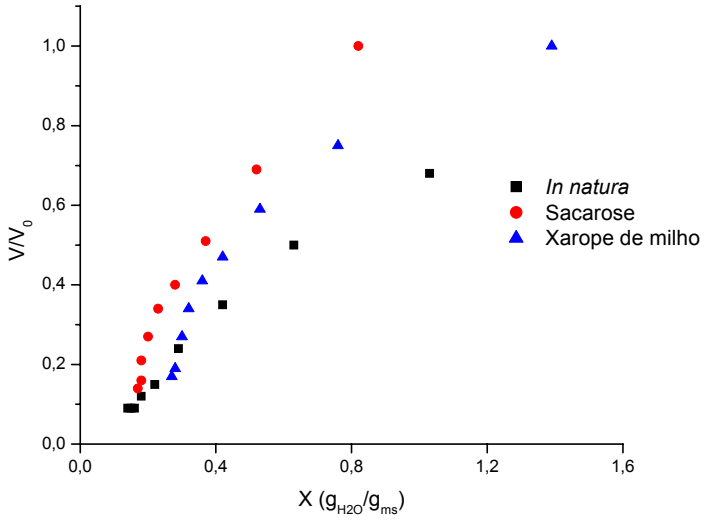


Figura 4.26 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 40°C e velocidade do ar de 1,5m/s.

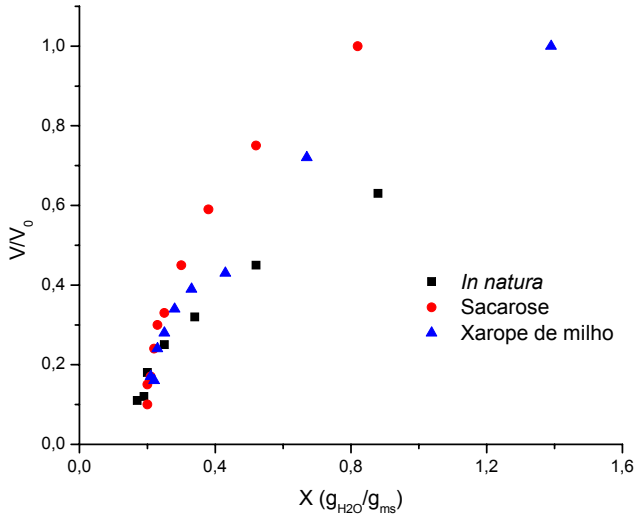


Figura 4.27 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 40°C e velocidade do ar de 2,1m/s.

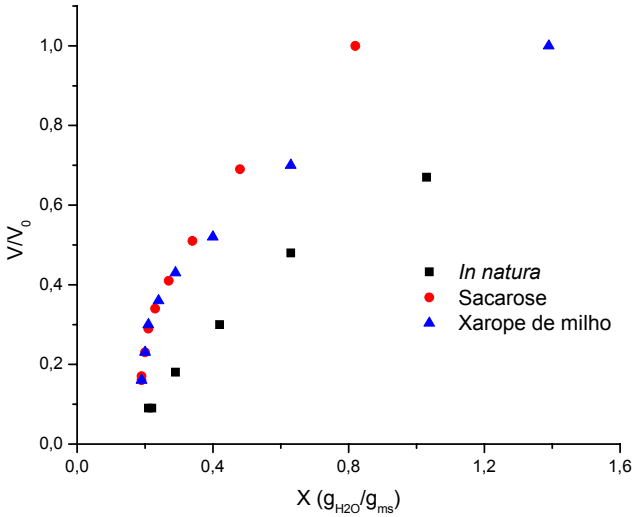


Figura 4.28 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 50°C e velocidade do ar de 1,5m/s.

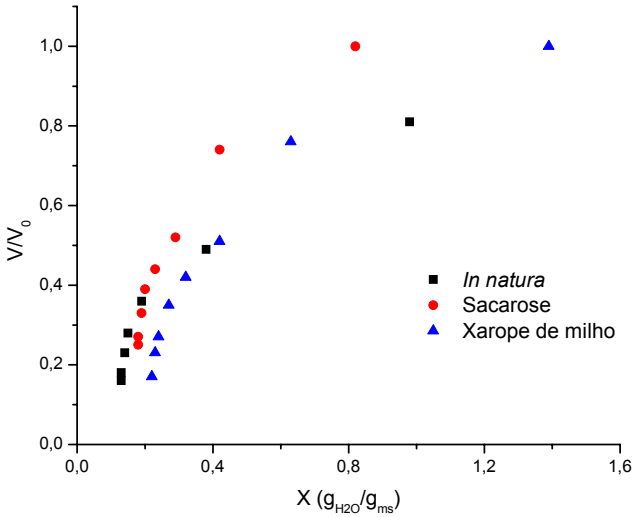


Figura 4.29 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 50°C e velocidade do ar de 2,1m/s.

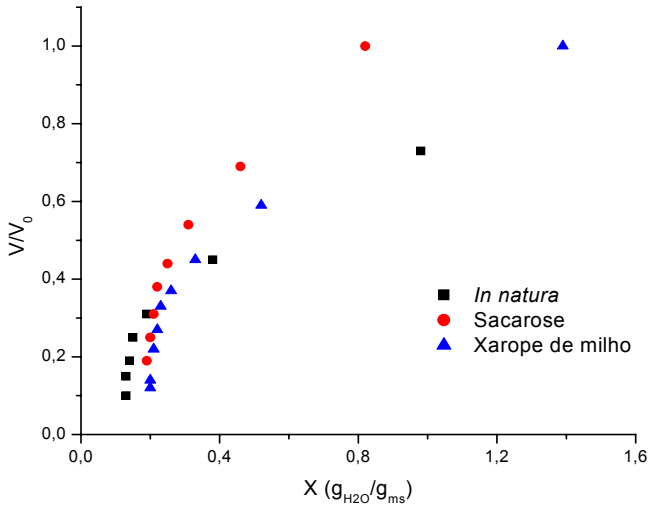


Figura 4.30 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1,5m/s.

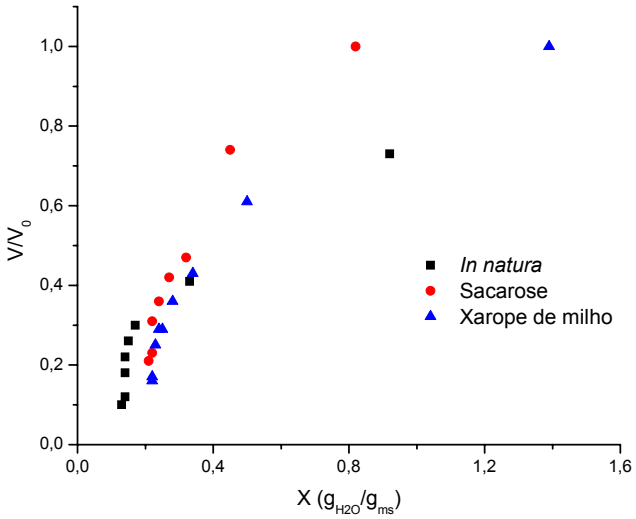


Figura 4.31 – Variação do volume como função da umidade da nectarina, *in natura* e pré-tratada osmoticamente, seca na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 2,1m/s.

A análise da variação do volume das amostras em função da umidade do material foi realizada para uma mesma faixa de umidade, uma vez que as amostras pré-tratadas iniciaram o processo de secagem com diferentes conteúdos de umidade.

Para as amostras secas na temperatura de 40°C verificou-se que, as amostras pré-tratadas osmoticamente apresentaram uma variação de volume menor do que as amostras secas *in natura*. Comparando-se a variação de volume apenas das amostras pré-tratadas osmoticamente, observa-se que, o pré-tratamento com sacarose proporcionou que a amostras pré-tratadas nesta solução sofressem um menor encolhimento, em relação às amostras pré-tratada com xarope de milho. Sendo esta diferença é mais acentuada para a velocidade de 1,5m/s.

Este comportamento apresentado pelas amostras desidratadas pode ser atribuído a saída de água na matriz sólida durante a etapa de desidratação osmótica, além da entrada de soluto, resultando com isso em um menor encolhimento na secagem devido a menor mobilidade no interior da matriz.

Para a desidratação osmótica realizada com sacarose a incorporação de sólidos média foi de (8%), enquanto que, quando xarope de milho foi utilizado como agente desidratante a incorporação média de sólidos foi de apenas (1,6%). Essa diferença de sólidos incorporados certamente contribuiu para a menor variação de volume observada entre as amostras pré-tratadas e a amostra *in natura*.

Para as temperaturas de 50 e 60°C verificou-se comportamento similar ao encontrado para a temperatura de 40°C, ou seja, as amostras pré-tratadas apresentaram um menor nível de encolhimento em relação às amostras secas sem o pré-tratamento osmótico (*in natura*).

A Tabela 4.15 mostra os coeficientes de encolhimento para todas as condições estudadas, obtidos através do modelo uniforme 1 proposto por SUZUKI *et al*. (1976).

Tabela 4.15 – Coeficientes de encolhimento obtidos através do modelo uniforme 1.

	n	R^2	P
Natura 40°C-1,5m/s	0,16	0,95	6,85
Natura 40°C-2,1m/s	0,21	0,91	9,46
Natura 50°C-1,5m/s	0,18	0,90	12,28
Natura 50°C-2,1m/s	0,19	0,90	7,72
Natura 60°C-1,5m/s	0,20	0,94	6,57
Natura 60°C-2,1m/s	0,20	0,92	7,55
Sacarose 40°C-1,5m/s	0,51	0,99	2,69
Sacarose 40°C-2,1m/s	0,43	0,96	4,31
Sacarose 50°C-1,5m/s	0,50	0,99	2,54
Sacarose 50°C-2,1m/s	0,53	0,97	2,80
Sacarose 60°C-1,5m/s	0,41	0,99	1,80
Sacarose 60°C-2,1m/s	0,31	0,95	3,95
Xarope de milho 40°C-1,5m/s	0,27	0,98	1,88
Xarope de milho 40°C-2,1m/s	0,39	0,93	5,63
Xarope de milho 50°C-1,5m/s	0,38	0,99	1,71
Xarope de milho 50°C-2,1m/s	0,32	0,96	4,89
Xarope de milho 60°C-1,5m/s	0,40	0,99	3,39
Xarope de milho 60°C-2,1m/s	0,53	0,98	4,27

Observando-se os coeficientes de correlação juntamente com os valores dos desvios médios relativos, verifica-se que o modelo utilizado ajustou de maneira satisfatória os dados experimentais, tanto para a amostra *in natura*, como para as amostras pré-tratadas osmoticamente. A amostra seca *in natura* na temperatura de 50°C e velocidade de 1,5m/s foi a única que apresentou valores do desvio médio relativo acima do sugerido por LOMAURO *et al.* (1985), e ainda assim o valor encontra-se próximo dos 10% sugeridos.

Com relação aos valores do coeficiente n, verificou-se que as amostras secas *in natura* foram as que apresentaram um menor valor deste parâmetro, com as amostras pré-tratadas, tanto em sacarose como com xarope de milho, apresentando valores similares.

Uma avaliação da variação do coeficiente de encolhimento em relação à temperatura e velocidade do ar de secagem, não se observou uma tendência definida. PRADO (1998), ao estudar o fenômeno do encolhimento de tâmara utilizando os modelos propostos por SUZUKI *et al*, (1976) também não observou uma tendência explicita da influência da velocidade do ar sobre o coeficiente de encolhimento.

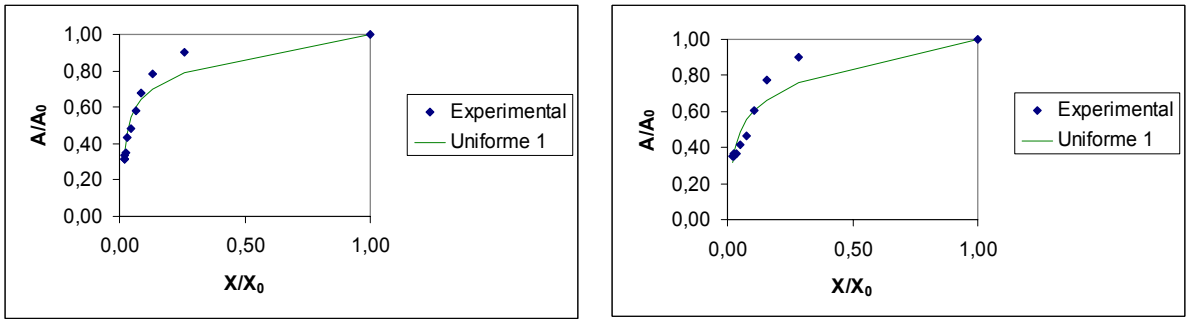


Figura 4.32 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina *in natura* seca a 40°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s.

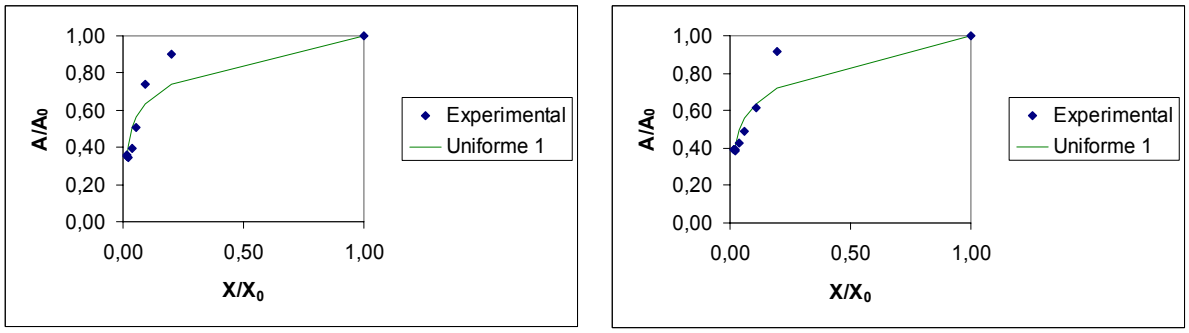


Figura 4.33 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina *in natura* seca a 50°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s.

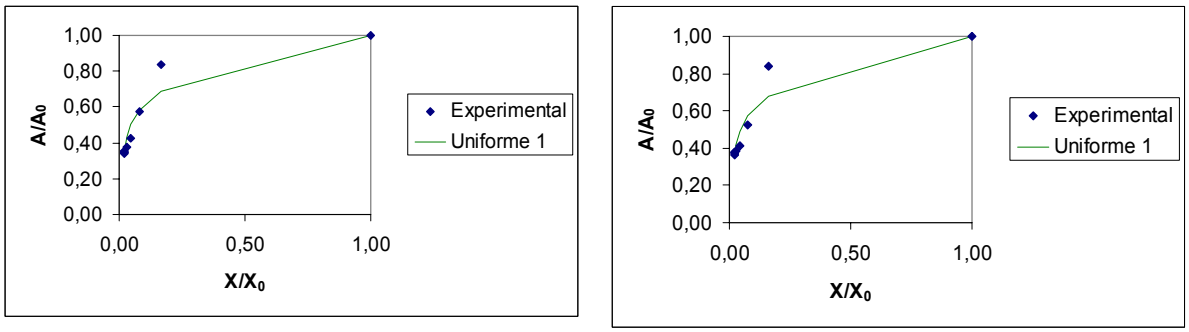


Figura 4.34 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina *in natura* seca a 60°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s.

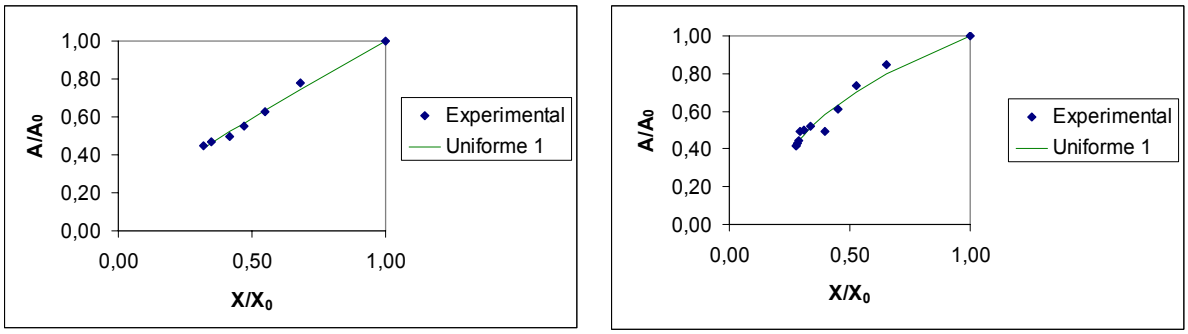


Figura 4.35 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em sacarose seca a 40°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s.

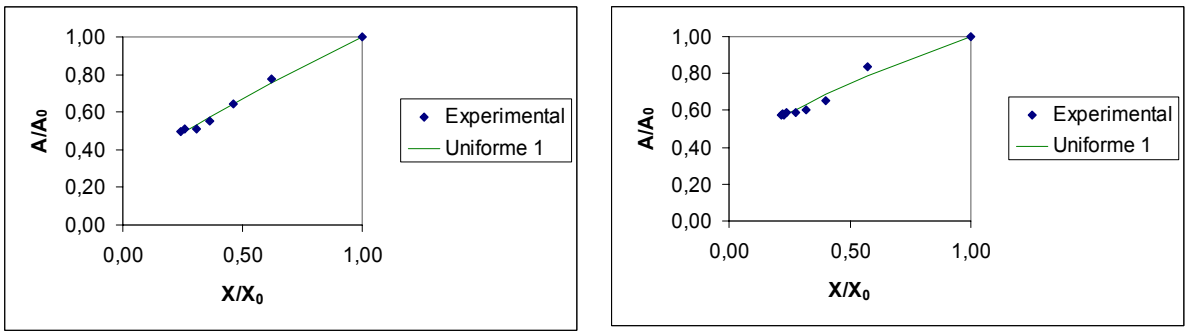


Figura 4.36 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em sacarose seca a 50°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s

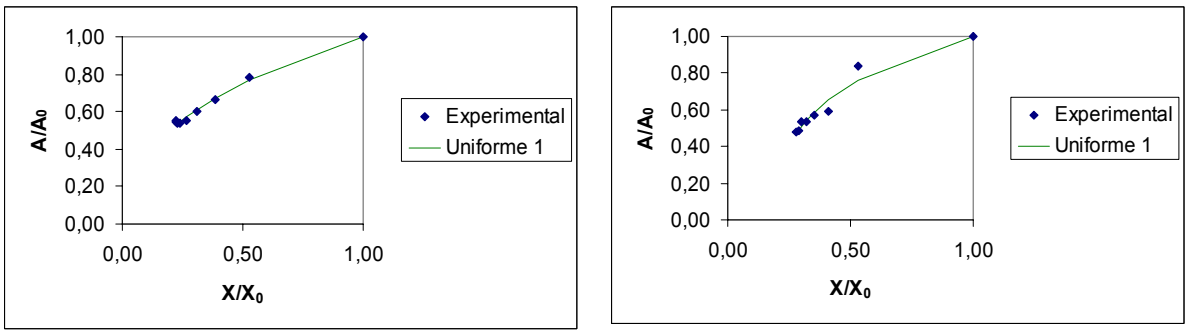


Figura 4.37 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em sacarose seca a 60°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s.

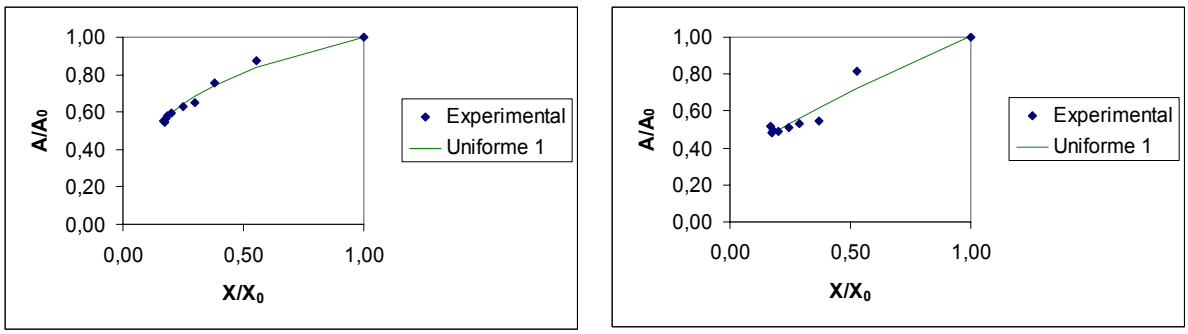


Figura 4.38 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em xarope de milho seca a 40°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s

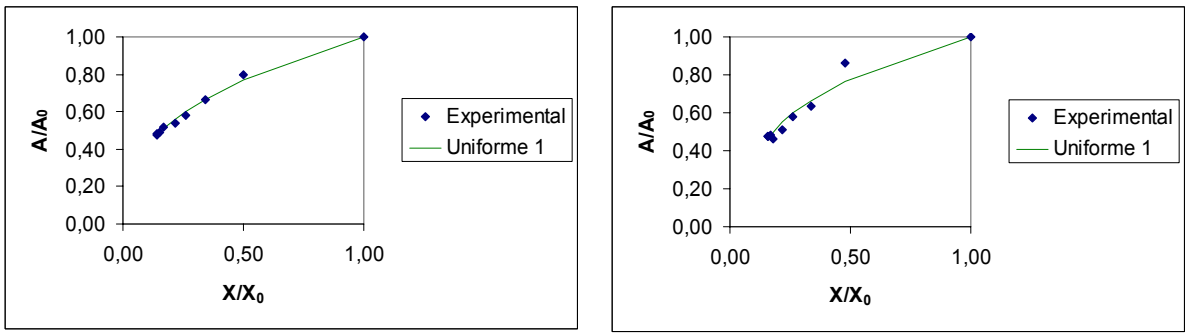


Figura 4.39 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em xarope de milho seca a 50°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s

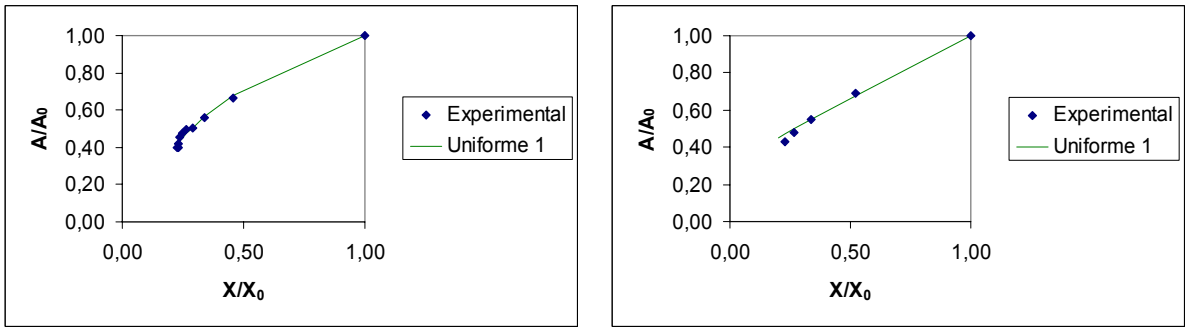


Figura 4.40 – Ajuste do modelo uniforme 1 para a nectarina desidratada em xarope de milho seca a 60°C: a) 1,5m/s; b) 2,1m/s

4.5 - Energia de Ativação

Parâmetro importante do processo de secagem, a energia de ativação indica a dependência da difusividade da temperatura da amostra e é calculada através da equação de Arrhenius:

$$D_{ef} = D_o \exp\left(\frac{E_a}{R(T + 273)}\right)$$

Onde:

E_a - energia de ativação (kJ/mol)

D_o - constante

R - constante universal dos gases (8,314 x 10^{-3} kJ/mol K)

T - temperatura (^oC)

A equação é apresentada como função linear relacionada com o logaritmo da difusividade e o inverso da temperatura.

$$\ln D_{ef} = \ln D_o \frac{E_a}{R(T + 273)}$$

Os valores de energia de ativação obtidos através dos dados de difusividade estimados pelo modelo difusional linearizado são apresentados na Tabela 4.16. Os valores encontrados para a acerola congelada estão próximos dos valores citados na literatura para frutas como pêra d'anjou (24,3-31,2 KJ/mol), pedúnculo de caju (38,49 kJ/mol), abacaxi (35,5 kJ/mol), maçã (39,7 kJ/mol) e banana (38,8 kJ/mol), conforme estudos de PARK *et al*. (2002), AZOUBEL (2002), UDDIN *et al*. (1990), SIMAL *et al*. (1997) e JOHNSON *et al*. (1998), respectivamente.

Tabela 4.16 – Valores de energia de ativação calculados para a nectarina seca in natura e desidratada osmoticamente.

Energia de ativação (KJ/mol)						
v (m/s)	Natura	R^2	Sacarose	R^2	Xarope	R^2
1,5	32,61	0,98	25,43	0,72	20,32	0,99
2,1	33,15	0,99	24,11	0,86	21,33	0,99

4.6 - Avaliação da qualidade do produto final

Os produtos finais obtidos foram submetidos a determinações de atividade de água (a_w) e conteúdo de carotenóides totais para avaliar a influência de cada tratamento. Os resultados do conteúdo de carotenóides estão apresentados na Tabela 4.17. Observa-se que, o aumento da temperatura ocasionou menores perdas no conteúdo de carotenóides em todas as amostras estudadas. Tal fato pode ser explicado pelo menor tempo de exposição ao calor que as amostras foram submetidas na maior temperatura, uma vez que o tempo de secagem para estas amostras foi menor, ocasionando com isso uma menor degradação. RODRIGUEZ-AMAYA (1999), comenta que um maior tempo de processamento além de aumentar a degradação pelo calor aumenta ainda o tempo de exposição do alimento ao oxigênio, que é um agente catalisador da oxidação dos carotenóides.

Comparando-se as amostras pré-tratadas osmoticamente com as amostras *in natura*, verifica-se que as primeiras apresentaram valores de perda maiores. Este fato provavelmente ocorreu devido ao maior tempo de exposição das amostras, uma vez que estas ficaram expostas ao oxigênio e ao calor tanto na desidratação osmótica como na etapa de secagem.

ADE-OMOWAYE *et al*. (2002), estudaram a influência da temperatura durante o processo osmótico no conteúdo de carotenóides de páprica vermelha. Os autores verificaram que o aumento da temperatura durante a desidratação osmótica promoveu uma maior perda de carotenóides. A percentagem de perdas obtida devido à secagem do material *in natura*, foi de aproximadamente 68%.

El-AOUAR (2001), ao estudar a influência do tratamento osmótico no conteúdo de carotenóides de mamão formosa submetidos a secagem, verificou que, após a secagem as amostras que sofreram pré-tratamento osmótico apresentaram menores perdas de carotenóides do que as amostras secas *in natura*. Segundo o autor este comportamento pode ser atribuído a incorporação de aditivos (ácido láctico e lactato de sódio) na solução desidratante. De acordo com CALIL & AGUIAR (1999), tais aditivos são comumente utilizados na indústria de alimentos pelo seu poder antioxidante, retendo a vitamina C e prevenindo a descoloração da fruta, que seria uma medida indireta do teor de carotenóides. Sendo assim, como no pré-tratamento osmótico da nectarina não foi utilizado nenhum aditivo, provavelmente isto acarretou em uma maior perda desses nutrientes nas amostras em questão.

A Figura 4.41 ilustra as perdas de carotenóides observadas durante o processamento.

Tabela 4.17 – Conteúdo de carotenóides na nectarina seca *in natura* e pré-tratada osmoticamente.

		Conteúdo de carotenóides (μg/g ms)		
T(^{0}C)	v (m/s)	Natura	Sacarose	Xarope
40	1,5	47,21	21,90	22,15
40	2,1	47,13	22,01	22,26
50	1,5	55,80	29,63	29,93
50	2,1	55,71	29,74	30,15
60	1,5	67,50	41,81	43,62
60	2,1	67,75	41,77	43,38

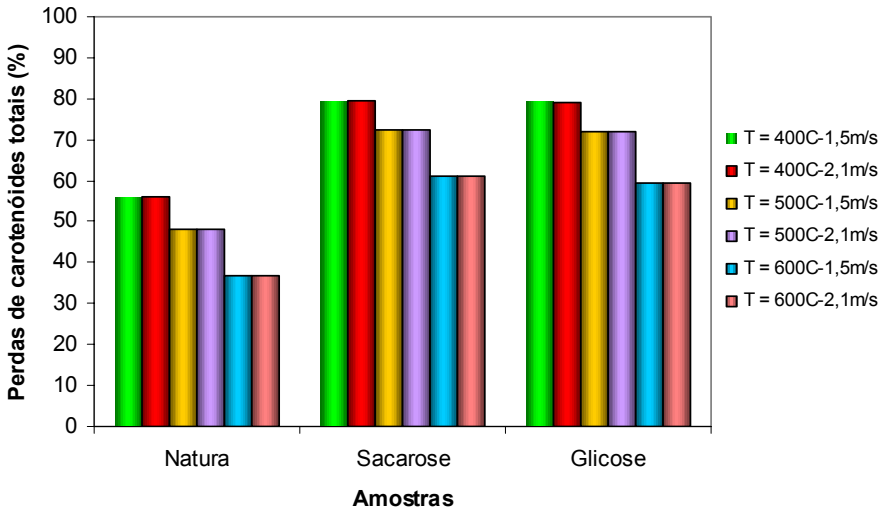


Figura 4.41 – Perdas de carotenóides totais após a secagem de nectarina in natura e pré-tratada osmoticamente.

Na Tabela 4.18 estão apresentados os valores de atividade de água obtidos nos produtos finais após a secagem. Verifica-se que o aumento da temperatura favoreceu a redução da atividade de água em todas as amostras analisadas. Observa-se ainda que, as frutas pré-tratadas osmoticamente apresentaram menores valores de atividade de água comparados aos da fruta *in natura*, sendo que as amostras pré-tratadas com sacarose foram as que alcançaram os menores valores. Este fato está relacionado a entrada de soluto nas amostras durante o pré-tratamento o que reduz a quantidade de água livre presente nas amostras.

Resultados semelhantes foram encontrados por AZOUBEL (2002) ao estudar a influência de pré-tratamentos osmóticos em produtos secos de caju e; segundo a autora, os menores valores de atividade de água encontrados para a sacarose são devidos à penetração mais rápida deste soluto na fruta, fazendo com que este substitua uma maior parte de água contida nas células. De acordo com MORENO *et al*. (2000) a hidrólise da sacarose também contribui para a redução do valor da atividade de água.

Tabela 4.18 – Resultados de atividade de água da nectarina seca.

		Atividade de água (aw)		
T (^{0}C)	v (m/s)	Natura	Sacarose	Xarope
40	1,5	0,533	0,393	0,474
40	2,1	0,535	0,397	0,472
50	1,5	0,512	0,374	0,460
50	2,1	0,511	0,371	0,464
60	1,5	0,497	0,354	0,454
60	2,1	0,494	0,351	0,456

De posse dos resultados acima foram selecionadas as amostras secas na temperatura de 60°C para serem avaliadas sensorialmente, uma vez que nesta temperatura houve as menores perdas no conteúdo de carotenóides e ainda foi a que promoveu a maior redução nos valores de atividade de água das amostras.

4.7 - Análise Sensorial

O perfil dos consumidores que participaram do teste de aceitabilidade é mostrado na Figura 4.42, onde se verifica que a maioria dos provadores utilizados era do sexo feminino e faixa etária entre 20 e 30 anos de idade.

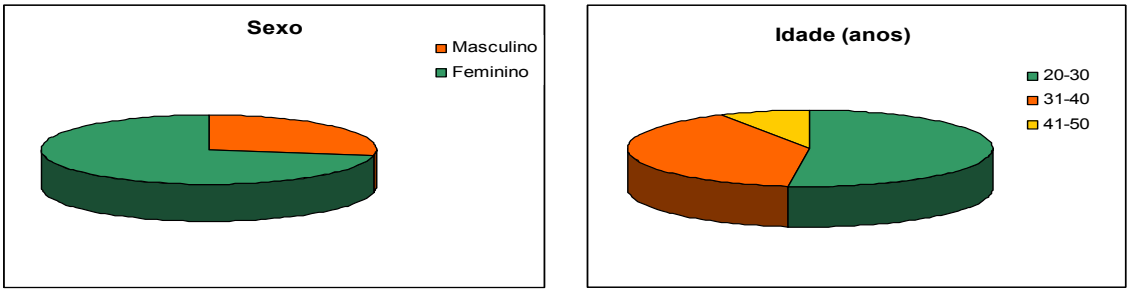


Figura 4.42 – Perfil dos provadores utilizados no teste de aceitabilidade.

Os resultados do teste sensorial de aceitação para as amostras secas, sem tratamento e pré-processadas osmoticamente, estão apresentados nos histogramas de freqüência referentes às notas de aparência, aroma, sabor, textura e aceitação global atribuídas pelos provadores.

Observando-se as Figuras 4.37 a 4.39 verifica-se que a maioria das respostas obtidas encontra-se na faixa que indica a aceitação dos produtos, ou seja, valores iguais ou superiores a 5, para todos os atributos avaliados, sendo que a amostra pré-processada osmoticamente em solução de xarope de milho foi a que apresentou os maiores índices de aceitação entre as três amostras avaliadas.

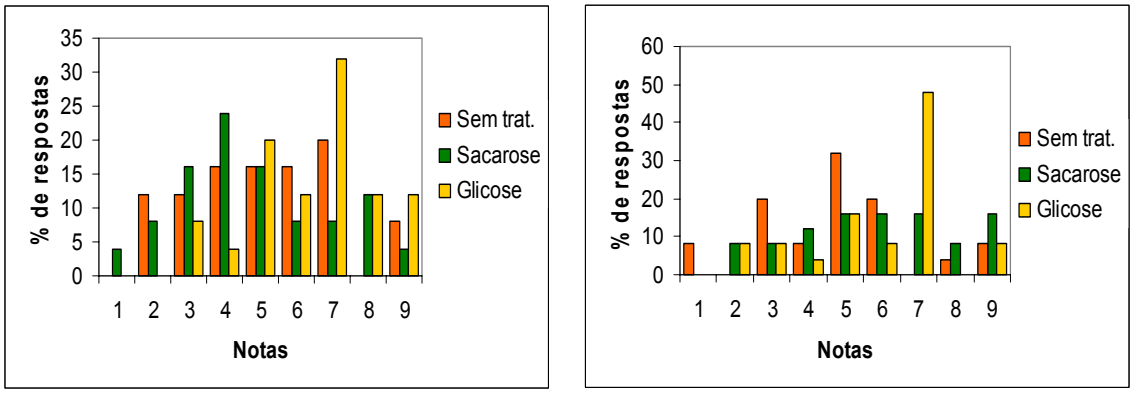


Figura 4.43 – Histograma de freqüência dos valores atribuídos para a aparência e aroma das amostras de nectarina com e sem pré-tratamento.

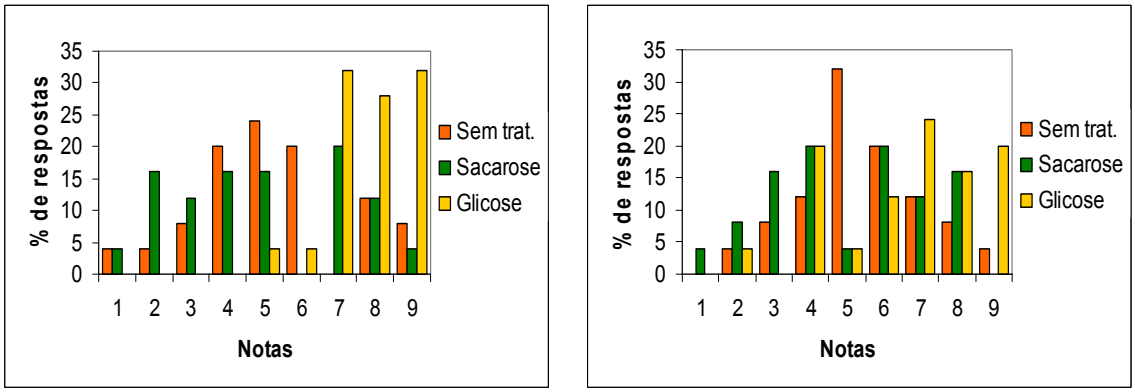


Figura 4.44 – Histograma de freqüência dos valores atribuídos para o sabor e textura das amostras de nectarina com e sem pré-tratamento.

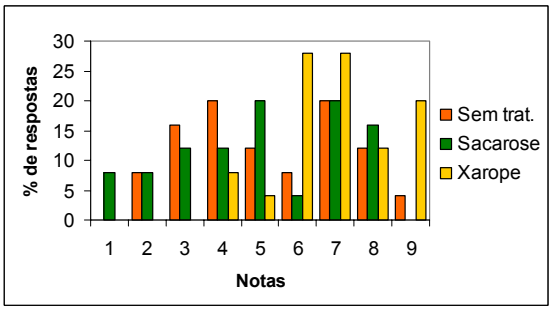


Figura 4.45 – Histograma de freqüência dos valores atribuídos para a textura das amostras de nectarina com e sem pré-tratamento.

Na Tabela 4.19 estão apresentadas as aceitabilidades médias dos atributos aparência, aroma, sabor, textura e impressão global de cada uma das amostras avaliadas juntamente com os resultados da análise de variância e do teste de Tukey. A amostra pré-tratada osmoticamente em xarope de milho foi a que apresentou as maiores médias entre as amostras estudadas para todos os atributos. A amostra sem tratamento, segundo os provadores, obteve valores médios de aceitação maiores que os verificados para a amostra pré-tratada osmoticamente em solução de sacarose, exceto para o atributo aroma; entretanto, as aceitações médias para estas duas amostras encontram-se na faixa de aceitação entre as categorias "não gostei nem desgostei" e "desgostei ligeiramente".

De acordo com a Tabela 4.19 as amostras secas, sem tratamento e pré-tratada osmoticamente em solução de sacarose, não diferem entre si com relação à aparência ao nível de significância de 5%, entretanto, estas amostras diferem da amostra pré-tratada osmoticamente em xarope de milho.

Para os atributos aroma e sabor, textura e impressão global observa-se comportamentos similares ao observado para o atributo aparência, ou seja, as amostras secas sem tratamento e pré-tratadas com sacarose não apresentaram diferença significativa, diferindo, contudo da amostra seca pré-tratada com xarope de milho a um nível de significância de 95%.

Em relação ao atributo textura verifica-se que a amostra pré-tratada com sacarose foi a que apresentou maior índice de rejeição (48%), ou seja, as notas inferiores a 5 na escala hedônica. Comparando-se as amostras sem tratamento e pré-tratadas osmoticamente em relação ao sabor verifica-se que apesar delas não apresentarem diferença significativa entre si, a amostra que apresentou maior índice de rejeição foi a pré-tratada (48%).

AZOUBEL (2002), analisou sensorialmente caju seco previamente desidratado em solução de sacarose e xarope de milho. Segundo a autora a amostra pré-tratada com sacarose foi a que apresentou maiores médias entre os atributos estudados. Os resultados

obtidos para a textura mostrou haver diferença significativa entre as amostras pré-tratadas osmoticamente, assim como foi observado para a nectarina.

Tabela 4.19 – Aceitação média dos atributos aparência, aroma, sabor, textura e impressão global de nectarina seca com e sem pré-tratamento osmótico.

Atributo	Sem tratamento	Sacarose	Xarope
Aparência	4,68[a]	4,34[a]	5,90[b]
Aroma	4,37[a]	5,30[a]	5,50[b]
Sabor	4,72[a]	4,56[a]	7,36[b]
Textura	5,07[a]	4,59[a]	6,18[b]
Impressão global	4,84[a]	4,57[a]	6,51[b]

* Letras distintas na horizontal indicam haver diferença significativa, pelo teste de Tukey ao nível de 95% de confiança. Letras na vertical não tem significado na análise

O histograma de intenção de compra de cada uma das amostras secas está apresentado na Figura 4.46. A amostra pré-tratada em sacarose não obteve uma atitude de compra favorável, apresentando quase que metade das respostas (48%) na região de não aquisição do produto. Já a amostra pré-tratada em solução de xarope de milho, bons índices de intenção de compra, entre os provadores, indicando que o mesmo apresenta um provável potencial de comercialização.

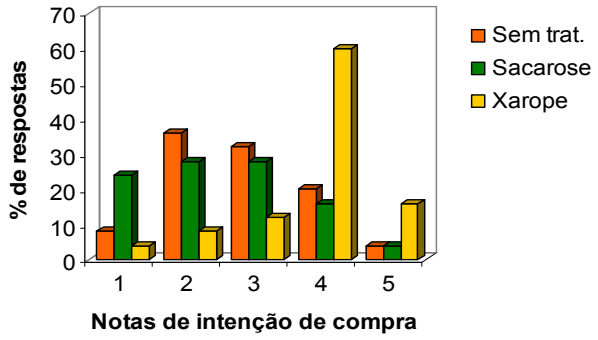


Figura 4.46 – Histograma de intenção de compra.

Os dados obtidos de aceitabilidade e intenção de compra indicam que a nectarina desidratada osmoticamente em xarope de milho é um produto com uma boa perspectiva para comercialização.

5 – CONCLUSÕES

O processo de desidratação osmótica de nectarina em soluções de sacarose e xarope de milho foi influenciado pelas variáveis temperatura, concentração e tempo de imersão, onde o aumento dessas variáveis provocou um aumento nos valores das respostas perda de água, ganho de sólidos e perda de peso.

O tempo de imersão foi a variável que apresentou efeito mais significativo na perda de água durante a desidratação osmótica de nectarina em solução de sacarose, enquanto que, para a glicose de milho a temperatura foi a variável mais significativa.

Os modelos obtidos pela metodologia de superfície de resposta a partir dos dados experimentais, tanto em solução de sacarose como em xarope de milho, para perda de água, ganho de sólidos e perda de peso, apresentaram regressão significativa e preditiva ao nível de confiança de 95%.

A condição ótima de desidratação osmótica em sacarose escolhida como pré-tratamento para a secagem, que apresentou a menor relação GS/PA, foi temperatura 30^0C, concentração 60% e tempo de imersão 210 minutos.

Para a glicose de milho a condição ótima escolhida como pré-tratamento, que apresentou menor relação GS/PA, foi temperatura 45^0C, concentração 46% e tempo de imersão de 150 minutos.

As amostras pré-tratadas osmoticamente apresentaram uma menor taxa de secagem quando comparadas com a amostra *in natura* devido as primeiras apresentarem uma menor quantidade de água livre presente na matriz.

O aumento da temperatura favoreceu o processo de transferência de massa durante a secagem, enquanto que a velocidade do ar de secagem não mostrou uma influência significativa na taxa de secagem.

O modelo de Page apresentou um bom ajuste aos dados experimentais de secagem de nectarina tanto para as amostras *in natura* como para as pré-tratadas osmoticamente, assim como, o modelo de Fick.

Os valores de difusividade calculados através do modelo de Fick para a fruta *in natura* variaram entre 6,94 a 16,11 x 10^{-10} m^2/s, enquanto que, as difusividades para as amostras pré-tratadas osmoticamente variaram de 3,66 a 7,09 x 10^{-10} m^2/s e 5,02 a 8,91 x 10^{-10} m^2/s para as amostras desidratadas em solução de sacarose e glicose de milho, respectivamente.

Os valores de energia de ativação calculados pela equação de Arrhenius estão dentro da faixa encontrada na literatura para frutas.

A amostra seca *in natura* apresentou um encolhimento maior do que as amostras pré-tratadas osmoticamente com sacarose e xarope de milho, indicando que o processamento osmótico obteve êxito quanto ao encolhimento.

O modelo uniforme 1 de SUZUKI ajustou muito bem os dados experimentais do encolhimento.

As amostras pré-tratadas com sacarose não apresentaram diferença significativa em relação à amostra seca *in natura*, para os atributos sensoriais aparência, aroma, sabor, textura e impressão global.

A amostra pré-tratada com xarope de milho foi a que se destacou tanto nos atributos sensoriais analisados como na intenção de compra dos consumidores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUERRE, R. J.; GABITTO, J. F.; CHIRIFE, J. Utilization of Fick's second law for the evaluation of diffusion coefficients in food process controlled by internal diffusion. **Journal of Food Technology**, 20: 623-629,1985.

AGUILERA, J. M. Generation of engineered structures in gels. In: H. G. Schwartzberg & R. W. Hartel (Eds.). **Physical Chemistry of Foods**, p.391-393. New York: Marcel DeKker Inc, 1992.

AKIYAMA, T.; HAYAKAWA, K. Heat and moisture transfer and hygrophysical changes in elastoplastic hollow cylinder-food during drying. **Journal of Food Science**. V.65, n.2, p.315-323, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. Disponível na internet: **www.anvisa.gov.br**, s.d..

ARAUJO, E. A. Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (***Musa acuminiata var. Cavendish***). Campinas, 2000. 87p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

AZOUBEL, P. M. Influência de pré-tratamentos na obtenção de produtos secos do caju (***anacardium occidentale L.***). Campinas, 2002. 136p. **Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas.

AZUARA, E.; CORTÉS, R.; GARCIA, H. S.; BERISTAIN, C. I. Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law. **International Journal of Food Science and Technology**. v.27, p. 409-418, 1992.

BARROS NETO, B. de; SCARMÍNIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Planejamento e otimização de experimentos.** Campinas, Editora da UNICAMP, 2001. 299p.

BERISTAIN, C. L.; AZUARA, E.; CORTES, R. ; GRCIA, H. S. Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple rings. **International Journal of Food science and Technology**, n. 25, p.576-582, 1990.

BOX, G.E.P.; WETZ, J. **Criteria for judging adequacy of estimation by an approximate response function**. University of Wisconsin Technical Report, n.9, 1973.

BRENNAN, J. G.; WANG, N. A. A mathematical model of simultaneous heat and moisture transfer during drying of potato. **Journal of Food Engineering**. V.24, p.47-60, 1980.

CHEN, H. C.; CHEN, C. S. Effects of dehydration on volume contraction in mushrooms. **Journal of Agriculture Engineering Research**. V.19, p.97-99, 1974.

CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. **Advances in Drying,** p.73-102, 1983.

COLLIGNAN, A.; RAOULT-WACK, A. L; THEMELIN, A. Energy study of food processing by osmotic dehydration and air drying. **Agricultural Engineering Journal**. v.1, p. 125-135, 1992.

CONTRERAS, J. E.; SMYRL, T. G. An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. **Can. Inst. Food Science Technology**, v.14, n.4, p.310-314, 1981.

CORZO, O.; GOMEZ, E. R. Optimization of osmotic dehydration of cantaloupe using desired function methodology. **Journal of Food Engineering**. v.64, p.213-219, 2004.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion.** 2ed., Claredon Press Oxford, 1975, 414p.

DAUDIN, J. D. Calcules des cinétiques de sechage par lair chaud des. **Sciences des Aliments**. v.3 (1): p.1-36, 1983.

DEL VALLE, J. M.; CUADROS, T. R. M.; AGUILERA, J. M. Glass transitions and shrinkage during drying and storage of osmosed apples pieces. **Food Research International**. V.31, n.3, p.191-204, 1998.

DUTCOSKY, S. D. **Análise Sensorial de Alimentos**. Curitiba: Champagnat, 1996, 132p.

EL-AOUAR, A. A. Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (***Carica papaya L.***). Campinas, 2001. 113p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

EL-AOUAR, A. A.; AZOUBEL, P. M.; MURR, F. E. X. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya (***Carica papaya L.***) **Journal of Food Engineering**, v.59, p.85-91, 2003.

EMBRAPA CLIMA TEMPERADO. Disponível na internet: **ww.cpact.embrapa.br**.

ERTEKIN, F. K.; CAKALOZ, T. Osmotic dehydration of peas: influence of process variables on mass transfer. **Journal of Food Processing and Preservation,** v.20, p.87-104, 1996.

ESTI, M.; MESSIA, M. C.; SINESIO, F.; NICROTA, A.; CONTE, L.; LA NOTTE, E.; PALLESCHI, G. Quality evaluation of peaches and nectarines by electrochemical and multivariate analyses: relationship between analytical measurements and sensory attributes. **Food Chemistry**. v.60, n.4, p.659-666, 1997.

FAO. Disponível na internet: **www.fao.org**, 2002.

FAO. Disponível na internet: **www.fao.org**, 2003.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos.** São Paulo: Atheneu, 1992, 230p. (Série endocrinológica, metabolismo e nutrição).

GIRALDO, G.; TALENS, P.; FITO, P.; CHIRALT, A. Influence of sucrose solution concentration on kinetics and yield during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering**. v.58, p.33-43, 2003.

GODOY, H. T.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Composição de carotenóides de nectarina. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. v.57, p. 73-79, 1998.

GOGUS, F.; LAMB, J. Choice of model gel system for the food dehydration studies. **Drying Technology**. V.16, n.1/2, p.297-309, 1998.

HAWKES, J.; FLINK, J. Osmotic concentration of papaya: influence of process variables on the quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.2, p.265-284, 1978.

HOUGH, G.; CHIRIFE, J., MARINI, C. A. Simple model for osmotic dehydration of apples. **Lebensmitteln wissenschaft and technologie**, v.26, n.2, p.151-156, 1993.

INSTITUTE OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY – IFT. Disponível na internet: **www.ift.org**.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS – IAC. Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas. Boletim 2000. 6ª Ed.- Janeiro, 1998.

ISLAM, M. N.; FLINK, L. N. Dehydration of potato II – Osmotic concentration and its effect on drying behavior. **Journal of Food Technology**, v.17, n.3, p.387-403, 1982.

JASON, A. C. A study of evaporation and diffusion process in the drying of fish muscle. **In: Fundamentals Aspects of the dehydration of Foodstuffs**. The Society of Chemical Industry, New York, 1958.

JOHNSON, P-N. T.; BRENNAN, J.G.; ADDO-YOBO, F.Y. Air-drying characteristics of platain (*Musa* AAB). **Journal of Food Engineering**, v.37, p. 233-242, 1998.

KAYMAK-ERTEKIN, F.; & SULTANOĞLU, M. Modelling of mass transfer during osmotic dehydration of apples. **Journal of Food Engineering**, v.46, p.243-250, 2000.

KARATHANOS, V. T.; KOSTAROPOULOS, A. E.; SARAVACOS, G. D. Air-drying of osmotically dehydrated fruits. **Drying Technology**, 13 (5/7), p.1503-1521, 1995.

KEEY, R. B. **Drying: principles and practice.** Oxford, 1972.

KHARAISHEH, M. A. M.; COOPER, T. J. R.; MAGEE, T. R. A. Sshrinkage characteristics of potatoes dehydrated under combiner microwave and convective air conditions. **Drying Technology**. V.15, n.3/4, p.1003-1022, 1997.

KILPATRICK, P. W.; LOWER, E.; VAN ARSDEL, W. B. Tunnel dehydrators for fruits and vegetables. **Advances in Food Research**, v.6, p.360-375, 1955.

KOWALSKA, H.; LENART, A. Mass exchange during osmotic pretreatment of vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.49, p.137-140, 2001.

LABUSA, T. P. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. **Food Technology**. v.34, n.4, p.34-40, 1980.

LABUZA, T. P.; TANNEMBAUM, S. R.; KAREL, M. Water content and stability of low and intermediate moisture. **Moisture Food Technology.** n.24, p.543, 1972.

LAZARIDES, H. N.; KATSANIDIS, E.; NICKOLAIDIS, A. Mass transfer during osmotic preconcentration aiming ai minimal solid uptake. **Journal of Food Engineering**, v.25, p.151-166, 1995.

LANG, W; SOKHANSANJ, S. Bulk volume shrinkage during drying of wheat and canola. **Journal of Food Process Engineering**. v.16, p.305-314, 1993.

LENART, A. Osmo-convective drying of fruits and vegetables: technology and application. **Drying Technology.** v.14, n. 2, p.391-413, 1996.

LEVI, G.; KAREL, M. Volumetric shrinkage (collapse) in freeze-dried carbohydrates above their glass transition temperature. **Food Research International**. v.28, n.2, p.145-151, 1995.

LEWIS, W. K. The rate of drying of solids materials. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v.13, n.5, p.427432, 1921.

LOMAURO, C. J.; BAKSHI, A. S.; LABUZA, T. P. Evaluation of food moisture sorption isotherm equation. Part I: fruit, vegetable and meat products. **Lebensmittel - Wissenschaft and – Technologie (LWT)**, v.18(2), p.111-117, 1985.

LOZANO, J. E.; ROTSTEIN, E.; URBICAIN, M. J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. **Journal of Food Science**, v.48, p.1497-1502, 1983.

LUCCAS, V. Obtenção de fatias de banana desidratada crocantes através da pré-secagem a altas temperaturas e curto tempo em leito fluidizado. Campinas, 1996, 94p. **Dissertação (Mestrado Faculdade de Engenharia Química)**, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP.

MASKAN, M. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of Food Engineering**. v.48, p.177-182, 2001.

MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C. Osmotic concentration of bananas. **International Journal of Food Science and Technologie**, v.30, n.2, p.199-213, 1995.

MAURO, M. A.; MENEGALLI, F. C Evaluation of water and sucrose diffusion coefficients in potato tissue during osmotic concentration. **Journal of Food Engineering**. v.57, p.367-374, 2003.

MAVROUDIS, N. E.; GEKAS, V.; SLÖHOLM, I. Osmotic dehydration of apples. Shrinkage phenomena and the significance of initial structure on mass transfer rate. **Journal of Food Engineering**. v.38, p.101-123, 1998.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**. v.61, p.373-383, 2004.

MAZZA, G. Dehydration of carrots. Effects of pre-drying treatments on moisture transport and product quality. **Journal of Food Technology**, v.18, p.113-123, 1983.

MAZZA, G.; Le MAGUER, M. Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations. **Journal of Food Technology**, v.15: p.181-194, 1980.

MENON, A. S.; MUJUMDAR, A. S. Drying of solids: principles, classification and selection of dryers. In: MUJUMDAR, A. S. Handbook of Industrial Drying. New York: Marcel Dekker Inc., cap. 9, p. 295-326, 1987.

MENSAH, J. K.; NELSON, G. L.; HERUM, F. L.; RICHARD, T. G. Mechanical properties related to soybean seedcoat cracking during drying. **Transactions of the ASAE**. p.1277-1282, 1984.

MORENO, J.; CHIRALT, A.; ESCRICHE, I.; SERRA, J. A. Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. **Food Research International**, v.33, p.609-616, 2000.

NAKASU, B. H.; RASEIRA, M. do C. B.; CASTRO, L. A. S. de. Frutas de caroço: pêssego, nectarina e ameixa no Brasil. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.18. n.189, p.8-13, 1997.

NIETO, A. B.; SALVATORI, D. M.; CASTRO, M. A.; ALZAMORA, S. M. Structural changes in apple tissue during glucose and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density microscopic features. **Journal of Food Engineering**. v.61, p.269-278, 2004.

NOGUEIRA, R. I. Processo de secagem de banana (***Musa acuminiata*** subgrupo *Cavendish* cultivar nanica): parâmetros ótimos na obtenção da banana-passa. Campinas, 1991, 169p. **Dissertação (Mestrado Faculdade de Engenharia Agrícola)**, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.

PALOU, E.; LOPEZ-MALO, A.; ARGAIZ, A.; WELTI, J. The use of Peleg´s equation to model osmotic concentration of papaya. **Drying Technologie** v.12, n.4, p. 965-978, 1994.

PARK, K.J. **Estudo comparativo do coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante secagem**. Campinas, 1987, 54p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R. Drying of pear d' Anjou with and without osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**. v.56, p.97-103, 2002.

PELEG, M. Na empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal Food Science** 53:1216-1219, 1988.

PENTEADO, S. R.; JUNQUEIRA, W. R.; FRANCO, J. A. M. Nectarina (*Prunus persica var. nucipersica*). **Manual Técnico das Culturas**. Tomo III – Fruticultura. 2ª Ed., Campinas, 1997.

PERRY'S. **Chemical Engineer Handbook**. 6ed., New York: McGraw-Hill, 1984.

PINTO, L. A. A.; TOBINAGA, S. Modelos de secagem em camada fina de alimentos: uma revisão da literatura. **Vetor**, Rio Grande, n.6, p.33-49, 1996.

POKHARKAR, S. M.; PRASAD, S.; DAS, H. A. Model for osmotic concentration of bananas slices. **Journal Food Science Technology.** v.34(3), p.230-232, 1997.

PONTING, J. D.; WALTERS, G. G.; FORREY, R. R.; JACKSON, R.; STANLEY, W. L. Osmotic dehydration of fruits. **Food Technology**, v.20, n.10, p.125-128, 1966.

PONTING, J. D. Osmotic dehydration of fruit – recent modification and applications. **Process Biochemistry**, v. 8, n. 12, p.18-20, 1973.

QUEIROZ, M. R. Estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas. Campinas, 1994, 119p. **Dissertação (Mestrado Faculdade de Engenharia Mecânica)**. Universidade Estadual de Campinas.

RAOULT-WACK, A. L.; LAFONT, F.; RIOS, G.; GUILBERT, S. Osmotic dehydration: study of mass transfer in terms of engineering properties. In: MUJUMDAR, A. S.; ROQUES, M. A. Drying of solids. New York: Hemisphere Publishing Company, 1989. p. 487-495.

RAOULT- WACK, A. L.; GUILBERT, S.; LEMAGUER, M.; RIOS, G. Simultaneous water and solute transport in shrinking media – Part 1: Aplication to dewatering and impregnation soaking process analysis (osmotic dehydration). **Drying Technology**, 9, p. 589-612 ,1991.

RAOULT-WACK, A. L.; RIOS, G.; SAUREL, R.; GIROUX, F.; GUILBERT, S. Modeling of dewatering and impregnation soaking process (osmotic dehydration). **Food Research International.** v. 27, p. 209-209, 1994.

RASEIRA, M. do C. B.; NAKASU, B. H. **Novas Culturas de Nectarina para o Sul do Brasil**. Hortisul. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Abril, v.1 n.0, 1989.

RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**. v.23, n.1, p.91-105, 1994.

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

RODRIGUEZ, D. B.; RAYMUNDO, L. C.; LEE, T. C.; SIMPSON, K. L.; CHICHESTER, C. O. Carotenoid pigment changes in ripening *Momordica charantia* fruits. **Ann. Bot.**, n.40, p.615-622, 1976.

RODRIGUES, A. C. C.; CUNHA, R. L.; HUBINGER, M. D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing. **Journal of Food Engineering**. n.59, p.129-135, 2003.

ROVEDO, C. O.; SUÁREZ, C.; VIOLLAZ, P. E. Kinetics of forced convective air drying of potato and squash slabs. **Food Science and Technology International**, n.3, p.251-261, 1997.

SABLANI, S. S.; RAHMAN, M. S. Effect of syrup concentration, temperature and sample geometry on equilibrium distribution coefficients during osmotic dehydration of mango. **Journal of Food Engineering.** v.36, p.65-71, 2002.

SANJINEZ ARGANDONÃ, E. J. Desidratação de goiaba por imersão e secagem. Campinas, 1999. 102p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)**. Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP.

SARAVACOS, G.; DOUZAS, A.; MAROUSIS, S.; KOSTAROUPOLUS, A. Effective thermal and moisture diffusivities of granular starchs, In: DRYING 89. New York; Ed. Arum S. Mujundar and Michel A. Roques, Hemisphere Publishing Company, 314-319, 1989.

SEVERINI, C. BAIANO, A.; DE PILLI, T.; CARBONE, B. F. DEROSSI, A. Combined treatments of blanching and dehydration: study on potato cubes. **Journal of Food Engineering**. v.68, p.289-296, 2005.

SHERWOOD, T. K. The drying of solids II. **The Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, 21 (10): p.976-980, 1929.

SIMAL, S.; DEYÁ, E.; FRAU, M.; ROSELLÓ, C. Simple modelling of drying curves of fresh and osmotically pré-dehydrated apple cubes. **Journal of Food Engineering**, v.33, p.139-150, 1997.

STRUMILLO, C.; KUDRA, T. Drying: Principles, applications and design. New York: Gordeon and Breach Science Publishers, 1986.

SUZUKI, K; KUBOTA, K; HASEGAWA, T; HOSAKA, H. Shrinkage in dehydration of root, vegetables. **Journal Food Science**, v.41: p.1189-1194, 1976.

TODA FRUTA. Disponível na internet: **www.todafruta.com.br**

TORREGGIANI, D. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. **Food Research International**, v.26, p.59-68, 1993.

TREYBAL, R. E. Drying: **In: Mass Transfer Operations**. New York, McGraw-Hill, p.569-575, 1963.

UDDIN, M. S. & HAWLANDER, M. N. A. Evaluation of drying characteristics of pineapple in the production of pineapple powder. **Journal of Food Processing an Preservation, v.14**, p.375-391, 1990.

UDDIN, M. B.; Ainsworth, P.; Glu, S. I. Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of carrots using response surface methodology. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.4, p.473-477, 2004.

VACCAREZZA, L. M.; LOMBARDI, J. L.; CHIRIFE, J. Kinetics of moisture movement during air drying of sugar beet root. **Journal of Food Technology**, 9: 317-327, 1974.

VAN ARSDEL, W. B. Approximate diffusion calculations for the falling rate phase of drying. Trans. **American Institute Chemical Engineers**, 43 (1): 13-24, 1947.

VAN ARSDEL, W. B. Drying phenomena. In: VAN ARSDEL, W. B.; COPLEY, M. J.; MORGAN Jr, A. I. **Food Dehydration**. 2a. ed., Westport, AVI Publishing Co., v.1, cap.3, p.22-57, 1973.

WANG, N.; BRENNAN, J. G. Changes in structure, density and porosity of potato during dehydration. **Journal of Food Engineering**. V.24, n.1, p.61-76, 1995.