

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

ESTUDO DE SECAGEM DA MAÇÃ  
(*Malus spp.* variedade Golden delicious)

POR

WILLIAMS JHON COYA HONORES

Sarecor

Este exemplar corresponde a edição final da  
dissertação de Mestrado defendida por Williams Jhon  
Coya Honores e aprovada pela Comissão Julgadora  
em 27 de outubro de 1995. Campinas, 16 de fevri-  
ro de 1996.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. KIL JIN PARK

~~Presidente da Banca~~

Dissertação apresentada para cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Pré-Processamentos de  
Produtos Agropecuários.

Campinas (SP)

Setembro de 1995

7012188

UNIDADE	780
N.º CHAMADA	1101316
V.	Es.
P. BDD BC	28825
PROC.	667/96
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	26/10/96
N.º CPD	

CM-00053798-1

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C839e Coya Honores, Williams Jhon  
Estudo de secagem da maçã (Malus spp. variedade  
Golden delicious) / Williams Jhon Coya Honores.--  
Campinas, SP: [s.n.], 1995.

Orientador: Kil Jin Park.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Maçã - Produtos. 2. Maçã - Secagem. 3. Maçã -  
Desidratação. I. Park, Kil Jin. II. Universidade Estadual  
de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola.  
III. Título.

A mi madre Irma  
gracias.

A minha família:

Antonieta, Irma Rosa, Ana,

Soledad, Hugo, Carmela, Carlos

Irmita, Susana, Liliana e Ricardo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

Ao professor Dr. Kil Jin Park pela orientação precisa das idéias na realização deste trabalho e principalmente pela força, paciência, apoio e os conselhos de amigo .

Aos professores Dr. João Domingos Biaggi e Dr. Sylvio Luis Honorio pela colaboração e orientação efetiva durante a realização dos trabalhos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa CNPq pela concessão da bolsa de mestrado

Aos colegas Felipe, Brod e Fabiano pela ajuda dispensada durante a realização do trabalho. Ao Gilberto, Ednaldo e Soraia pela importante colaboração durante a fase de análise de dados.

Aos técnicos dos diferentes laboratórios onde foram realizadas a parte experimentais do trabalho, Dagoberto, Francisco, Alvaro, Rosa e Rosalia.

Ao Paulo Ricardo e á Paola pela força e amizade muito obrigado. À Mariella sempre presente com seu apoio; à Yamilita, Adolfo, Adolfo Jr, Cecilia, Tito e Camila, e Marcelo obrigado.

À Aninha pelo apoio presente em todo momento. Às funcionárias Rosangela Gomez , Vânia Aparecida Bellodi Sant'Ana e Martinha pela colaboração em todo o período do curso.

Aos meus colegas Zé Ricardo e Rosiane, Regina, Rafael, Lagrotti, Ester, Zanon, Carlos Alberto, Ivan, Emilia, Marcelinho, Maria Eugenia, Leila, Saul, Lerner e a todos os amigos que pela sinceridade de sentimentos, sentem-se aqui incluídos.

A mi tio Pepe.

## SUMÁRIO

	Página
PÁGINA DE ROSTO.....	i
DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
SUMÁRIO .....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
NOMENCLATURA.....	x
RESUMO .....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Matéria-Prima.....	5
3.2. Secagem.....	12
3.3. Produto seco.....	18
3.3.1. Designação.....	18
3.3.2. Características gerais.....	18
3.3.3. Características sensoriais.....	18
3.3.4. Características físicas e químicas.....	19
3.3.5. Características microbiológicas.....	19
3.3.6. Características microscópicas.....	19
3.3.7. Rotulagem.....	19
3.4. Umidade de equilíbrio.....	20
3.5. Mecanismo de difusão.....	24
3.6. Determinação Proteínas, Grau brix e acidez total.....	25
3.7. Coeficiente de absorção.....	26

3.8. Secagem de frutas .....	27
3.9. Processo de secagem da maçã .....	31
3.9.1. Escolha .....	31
3.9.2. Remoção de resíduos de pulverização.....	31
3.9.3. Descascamento e retirada dos centros.....	32
3.9.4. Apara .....	32
3.9.5. Corte em fatias .....	32
3.9.6. Branqueamento .....	32
3.9.6.1. Imersão em bissulfito.....	33
3.9.6.2. Tratamento com enxofre.....	33
3.9.7. Corte.....	33
3.9.8. Temperatura.....	33
3.9.9. Tempo de secagem.....	34
3.9.10. Revolvimento .....	34
3.9.11. Rendimento .....	34
3.9.12. Teor de umidade .....	34
3.9.13. Armazenamento do produto seco .....	34
3.9.14. Segundo tratamento com enxofre .....	34
3.9.15. Limpeza e embalagem .....	35
3.9.16. "Nuggets" de maçã.....	35
3.9.17. Classificação de maçãs secas.....	35
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	37
4.1. Material .....	37
4.1.1. Matéria-prima .....	37
4.1.2. Local experimental .....	37
4.1.3. Equipamentos de laboratório .....	38
4.2. Métodos.....	41
4.2.1. Umidade de equilíbrio.....	41
4.2.2. Análises iniciais .....	42
4.2.3. Determinação matéria seca .....	43
4.2.4. Determinação da curva de secagem .....	43
4.2.4.1. Temperatura e velocidade do ar.....	43
4.2.4.2. Procedimento experimental.....	44
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47

5.1. Análise de proteína, Grau brix e acidez total .....	47
5.2. Condições climáticas .....	49
5.3. Umidade equilíbrio .....	50
5.4. Modelo difusional.....	63
5.5. Energia de ativação .....	71
6. CONCLUSÕES .....	74
7. ABSTRACT .....	76
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
9. ANEXO A.....	84

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura n.º</b>	<b>Assunto</b>	<b>Página</b>
3.1	Evolução do tempo ( t ), do teor de água do produto .....	14
3.2	Comparação da isoterma de sorção para uma curva de desorção .....	21
4.1	Secador em funcionamento .....	39
4.2	Maçãs momentos depois de retiradas da câmara fria .....	44
4.3	Pré-tratamento da maçã .....	44
4.4	Maçã em cubos na bandeja do secador no momento da secagem.....	45
4.5	Maçã em rodela depois da secagem.....	45

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela n.º</b>	<b>Assunto</b>	<b>Página</b>
3.1	Produção de maçãs (em toneladas) por Estado no Brasil, período 1979 - 1990. ....	7
3.2	Superfície cultivada com maçã (área em ha) no principais Estados produtores no período de 1976 a 1990. ....	7
4.1	Características das soluções saturadas e suas respectivas umidades relativas a diferentes temperaturas.....	40
5.1	Análises de proteína da maçã desidratada .....	46
5.2	Condições climáticas de secagem para a maçã com cortes em rodela e cubos....	48
5.3	Condições de temperatura e UR do secador para secagem da maçã .....	49
5.4	Valores experimentais de umidade de equilíbrio ( $X_e$ ) para dessorção em maçã a 10 e 30°C.....	50
5.5	Parâmetros calculados pela equação de BET para a maçã corte rodela e cubo ..	50
5.6	Coeficientes de adsorção para diferentes umidades relativas a 10 e 30°C .....	55
5.7	Valores da difusividade para a maçã corte rodela para n=1, n=3 e n=5 a partir do ajuste das curvas de secagem da maçã variedade Golden delicius.....	62
5.8	Porcentagem de erro em relação ao valor da difusividade efetiva, estimada pelo modelo difusional.....	63
5.9	Variação porcentual no valor da difusividade efetiva em função da temperatura do ar de secagem.....	64
5.10	Variação porcentual no valor da difusividade efetiva em função da velocidade	

	do ar de secagem.....	65
5.11	Valores da difusividade efetiva para a maçã corte cubo para $n=1$ , $n=3$ , $n=5$ , a partir do ajuste das curvas de secagem.....	66
5.12	Porcentagem de erro em relação ao valor da difusividade efetiva, estimada pelo modelo difusional.....	67
5.13	Variação porcentual no valor da difusividade em função da temperatura do ar de secagem.....	68
5.14	Variação porcentual no valor da difusividade em função da velocidade do ar de secagem.....	68
5.15	Equação das retas obtidas pela regressão linear para a energia de ativação, corte em rodela.....	71
5.16	Equação das retas obtidas pela regressão linear para a energia de ativação, corte em cubos.....	71
5.17	Valores de Energia de ativação ( $E_a$ ), em função da velocidade do ar de secagem para a maçã corte em rodela e em cubo.....	71

## NOMENCLATURA

<b>AW</b>	<b>atividade de água</b>	
<b>bs</b>		
<b>C60 - 0,5</b>	<b>maçã corte cubo a 60°C e 0,5m/s</b>	
<b>C60 - 1,0</b>	<b>maçã corte cubo a 60°C e 1,0m/s</b>	
<b>C60 - 1,5</b>	<b>maçã corte cubo a 60°C e 1,5m/s</b>	
<b>C70 - 0,5</b>	<b>maçã corte cubo a 70°C e 0,5m/s</b>	
<b>C70 - 1,0</b>	<b>maçã corte cubo a 70°C e 1,0m/s</b>	
<b>C70 - 1,5</b>	<b>maçã corte cubo a 70°C e 1,5m/s</b>	
<b>C80 - 0,5</b>	<b>maçã corte cubo a 80°C e 0,5m/s</b>	
<b>C80 - 1,0</b>	<b>maçã corte cubo a 80°C e 1,0m/s</b>	
<b>C80 - 1,5</b>	<b>maçã corte cubo a 80°C e 1,5m/s</b>	
<b>d</b>	<b>distância percorrida</b>	<b>( m )</b>
<b>D<sub>L</sub>*</b>	<b>coeficiente de difusão da fase líquida</b>	<b>( m<sup>2</sup>/s )</b>
<b>Ea</b>	<b>energia de ativação</b>	<b>( j/mol )</b>
<b>L</b>	<b>comprimento</b>	<b>( cm<sup>2</sup> )</b>
<b>ms</b>	<b>massa seca</b>	<b>( g matéria seca )</b>
<b>n</b>	<b>número de camadas polimoleculares</b>	
<b>R</b>	<b>constante universal dos gases</b>	<b>( J/g mol.°K)</b>
<b>R60 - 0,5</b>	<b>maçã corte rodela a 60°C e 0,5m/s</b>	
<b>R60 - 1,0</b>	<b>maçã corte rodela a 60°C e 1,0m/s</b>	

<b>R60 - 0,5</b>	<b>maçã corte rodela a 60°C e 0,5m/s</b>	
<b>R60 - 1,0</b>	<b>maçã corte rodela a 60°C e 1,0m/s</b>	
<b>R60 - 1,5</b>	<b>maçã corte rodela a 60°C e 1,5m/s</b>	
<b>R70 - 0,5</b>	<b>maçã corte rodela a 70°C e 0,5m/s</b>	
<b>R70 - 1,0</b>	<b>maçã corte rodela a 70°C e 1,0m/s</b>	
<b>R70 - 1,5</b>	<b>maçã corte rodela a 70°C e 1,5m/s</b>	
<b>R80 - 0,5</b>	<b>maçã corte rodela a 80°C e 0,5m/s</b>	
<b>R80 - 1,0</b>	<b>maçã corte rodela a 80°C e 1,0m/s</b>	
<b>R80 - 1,5</b>	<b>maçã corte rodela a 80°C e 1,5m/s</b>	
<b>T</b>	<b>temperatura</b>	<b>( °C )</b>
<b>t</b>	<b>tempo</b>	<b>( s )</b>
<b>UR</b>	<b>umidade relativa (b.s)</b>	<b>( % )</b>
<b>X</b>	<b>umidade de amostra (b.s)</b>	<b>(kg H<sub>2</sub>O/kg matéria seca )</b>
<b>X<sub>∞</sub></b>	<b>umidade de equilíbrio (b.s)</b>	<b>(kg H<sub>2</sub>O/kg matéria seca )</b>
<b>X<sub>o</sub></b>	<b>umidade inicial (b.s)</b>	<b>(kg H<sub>2</sub>O/kg matéria seca )</b>

## RESUMO

Efetuiu-se o processo de desidratação da maçã (*Malus spp.*) variedade Golden visando estabelecer os parâmetros de secagem. Realizou-se, nos laboratórios do Departamento de Pré-Processamentos de Produtos Agropecuários da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, o pré-tratamento da maçã, consistindo em lavagem do fruto, seleção, descascamento e descaroçamento. Foram utilizados dois tipos de corte, rodela ou fatia de um centímetro de espessura e cubo com um centímetro de lado. O branqueamento foi realizado com bissulfito de sódio em solução 0,5% durante um minuto; logo após o branqueamento, o produto foi exposto ao sol por 30 minutos tanto para eliminar a solução excedente, como para melhorar o processo de sulfitação. Para a secagem, utilizaram-se três temperaturas: 60, 70 e 80°C de entrada na câmara de secagem, as quais foram combinadas com diferentes velocidades de ar: 0,5, 1,0 e 1,5 m/seg. Analisaram-se os dados experimentais utilizando a série de Fourier com cinco termos para o corte em rodela e três termos para o corte em cubos; a difusividade para o corte em rodela foi de  $2.66 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  e  $6.3955 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ , para o corte em cubos, foi de  $8.06 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$  e  $15.06 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ . O modelo do secador é do tipo estático com bandejas. Dispôs-se o produto em uma só camada, perfazendo uma média de 0,3 kg de produto por bandeja. Para a obtenção da curva de equilíbrio, utilizaram-se duas temperaturas: 10°C e temperatura do meio ambiente que, na época experimental, era de  $\pm 30^\circ\text{C}$  com umidade de 30, 50, 70, 90%, as quais foram ajustadas pela equação de BET. Devido o desenvolvimento de fungos nos produtos com maior porcentagem de umidade, fez-se um pré-tratamento com solução de sorbato de potássio a 0,5%.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os tempos mais antigos, tem-se empregado o sistema de desidratação para a conservação de alimentos . Até pouco tempo atrás, as técnicas usadas para a secagem de frutas eram imperfeitas, resultando produtos de baixa qualidade, especialmente quanto ao sabor, distinto da fruta fresca. Segundo EARLE (1971), com as pesquisas, tem-se conseguido comprovar que a maior causa para que as frutas mudem de sabor após a secagem é a oxidação das matérias graxas e albuminosas presentes nos tecidos vegetais. Para evitar esse processo, dentro dos limites convenientes, é preciso determinar, com exatidão, para cada gênero de fruta, qual a temperatura ótima e tempo de secagem.

Entretanto, a desidratação só passou a ser aplicada de forma significativa na Primeira Guerra Mundial, em razão da necessidade de alimentos em larga escala, destinados a suprir as tropas em combate. Segundo GAVA (1984), o uso de alimentos desidratados teve estímulo na Segunda Guerra Mundial, sendo a Universidade de Califórnia (Davis-EUA) o principal centro de pesquisa de frutas e hortaliças desidratadas.

Nos últimos cinquenta anos, tanto a ciência quanto a tecnologia se empenharam no sentido de aprimorar novos sistemas na área de preservação de alimentos. Esses esforços priorizaram a desidratação de enorme variedade de produtos para fins comerciais. Atualmente, grande parte dos países desenvolvidos utilizam métodos avançados de secagem e desidratação. Frutas, carnes e vegetais são processados ao sol ou por meio de equipamentos para serem comercializados no mundo todo.

Segundo CRUESS (1973), há uma procura crescente por maçãs desidratadas da mais alta qualidade, embora a tendência anterior fosse pela produção de quantidade em vez de qualidade. É maior a procura pelas frutas mais limpas e mais brancas, que tenham sido bem aparadas e cuidadosamente secas e embaladas. Nas estações de colheita abundante e de baixo preço para fruta fresca, grande quantidade de maçãs, que normalmente seriam vendidas como fruta fresca, é seca e, assim, o tipo do produto obtido é melhorado. Nos anos de produção fraca, quando todas as maçãs próprias para embalagem são procuradas a preços elevados, somente as frutas inferiores são submetidas à secagem, havendo baixa na qualidade do produto seco.

Outro fator importante, segundo GAVA (1984), é que muitas vezes a secagem é mais econômica do que outros processos de conservação. Diminuindo-se a umidade necessária ao crescimento dos microrganismos criam-se, por exemplo, condições favoráveis para a preservação do produto.

Segundo o mesmo autor, a redução do peso (50 - 80%) é feita não só pela eliminação da água como também pela retirada de partes não comestíveis (casca, semente, caroço, etc.). Haverá não só redução de peso como também de volume, fator que se revelará importante na redução de custos de embalagem, de transporte e de armazenamento dos alimentos. Em média, 1.000 quilos de fruta fresca fornecem 200 quilos de fruta seca. Alguns produtos, quando submetidos à secagem, conservam praticamente intactas suas características físicas e nutritivas; restituindo-se-lhes a água, retornam ao aspecto anterior ou mudam muito pouco.

A maçã apresenta grande adaptabilidade à desidratação, havendo, na atualidade, os mais diferentes tipos de corte para os mais variados empregos. Os tipos mais comuns são em rodela ou fatias de um centímetro de espessura, em pedaços, em cubos de um centímetro de lado e também em pó.

As maçãs secas costumam ser utilizadas como ingredientes em receitas de tortas, compotas, cremes e doces ou, ainda, em chás e infusões, sendo esta última a forma mais utilizada no Brasil.

De acordo com o MINISTÉRIO DE AGRICULTURA (1980), nos últimos anos, a cultura da maçã passou a ter significado no contexto de produções agrícolas do País, saltando da marca dos dois mil hectares, cultivados em 1970, para mais de quinze mil hectares, em 1979. Os atuais dois quilos de consumo *per capita* anual segundo o Ministério de Agricultura propiciados quase que somente pelas importações, podem-se multiplicar em função de uma oferta mais oportuna.

Conforme GAVA (1984), 100 g de maçã oferecem 56 calorias. A maçã, uma das frutas mais importantes de clima temperado, é também a mais popular, em face de sua beleza, cheiro e gosto. Além disso, a maçã integra quase todas as prescrições médicas para dieta, pela sua riqueza em proteínas, vitaminas, minerais e, ainda, por tratar-se de uma fruta de fácil digestão, sendo comparanda com frutas de clima temperado.

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ (1990), a produção brasileira destina-se quase que exclusivamente ao consumo "in natura", representando 90% do volume total. Os 10% restantes da produção, destinam-se à industrialização na forma de sidras, sucos, purê, "baby-food" e desidratados. Segundo TORREY (1974), nos EUA, cerca de metade da produção total de maçã é processada, principalmente, na forma da fruta em pedaços.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo do presente trabalho é determinar os parâmetros para a secagem da maçã (*Malus spp.*) utilizando um secador vertical convectivo de laboratório, com dois tipos de corte para a obtenção de maçã desidratada ou maçã-passa.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Matéria-Prima

Segundo DALL'ORTO, OJIMA & BARBOSA (1990), a maçã (*Malus* spp.), família Rosaceae, é típica de clima temperado e exigente em tratos culturais. São necessárias as seguintes condições para sua cultura: clima temperado-frio, com mínimo de 1.000 horas de temperaturas inferiores a 7°C; verão com noites cujas temperaturas sejam inferiores a 18°C durante o crescimento do fruto e período livre de geadas de, no mínimo, quatro meses. No Brasil, as regiões recomendadas para a cultura são: no Rio Grande do Sul recomenda-se a região serrana com altitudes superiores a 700 m do nível do mar e nos Estados de Santa Catarina e Paraná orienta-se que a produção seja feita em regiões com altitudes superiores a 800 m.

Segundo o MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, citado por EMPASC/ACARES (1982), a produção no ano 1981/82 foi de 104.800 t de maçãs. Embora o consumo nacional de maçã tenha aumentado nos últimos anos, a média de consumo *per capita* continua baixa quando comparada com a de outros países, principalmente dos produtores tradicionais.

Para RIGINATO (1979), o consumo *per capita* da fruta no Brasil é ao redor de 2 kg, muito abaixo daquele observado em outros países. Na Suíça, é de 66 kg *per capita*;

na França, 61 kg; no Canadá e na Austrália, 20 kg; nos Estados Unidos da América, 14 kg e na Argentina 11 kg .

De acordo com SILVA (1984), os principais produtores são os Estados Unidos, que apresentam uma produção estimada em 3,5 milhões de toneladas (10% da produção mundial) seguidos pelo Afeganistão (3,1 milhões de toneladas), pela França (1,8 milhões de toneladas), Irlanda (1,7 milhões de toneladas) e Turquia (1,4 milhões de toneladas).

O Brasil apresenta poucas regiões com características climáticas favoráveis ao cultivo da macieira. Santa Catarina, além de deter grande área com condições climáticas favoráveis à produção de maçãs de boa qualidade, conta com o decisivo apoio do setor público, através da pesquisa e da assistência técnica, o que faz do Estado catarinense não só o centro tecnológico desta pomácea, como também o maior produtor de maçã do Brasil. (EMPASC/ACARES, 1982).

O desenvolvimento da maçã no Brasil iniciou-se no Estado de Santa Catarina e teve impulso em 1968, por meio do Programa de Fruticultura de Clima Temperado (PROFIT), criado pelo governo estadual com apoio do governo federal e pelo Programa Nacional de Produção e Abastecimento de Maçãs (PRONOMA), iniciado em 1980. As principais ações desenvolvidas nesse período, que envolveu a criação de linhas de crédito especiais do BNDE e Banco do Brasil, foram a implantação de grandes pomares, a construção de frigoríficos e de pavilhões de classificação e embalagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MAÇÃ 1991).

Somente no período entre 1979 e 1990, a produção brasileira de maçãs cresceu 912%. Para se ter uma idéia do que isso significa basta dizer que nenhuma outra cultura perene, em nenhum momento no Brasil, apresentou tal crescimento. Os principais Estados produtores são: Santa Catarina, com 62% da produção nacional, Rio Grande do

Sul, com 27%, Paraná, com 8% e São Paulo e Minas Gerais, com os 3% restantes, (Tabela 3.1).

Na Tabela 3.2, apresenta-se a evolução da superfície cultivada com maçã nos principais Estados produtores, no Brasil, de 1976 a 1990.

Tabela 3.1 Produção de maçãs (em toneladas) por Estado no Brasil, período 1979 a 1990.

Estado	1979	1981	1986	1989	1990
Santa Catarina	21.940	39.175	152.000	230.333	217.218
Rio Grande do Sul	5.600	13.500	65.000	102.000	98.688
Paraná	700	4.000	15.727	30.800	29.258
São Paulo	11.000	11.600	7.716	10.000	9.492
Minas Gerais	240	240	1.830	1.000	960
Brasil	38.950	68.515	242.273	374.133	355.550

Fonte : ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MAÇÃ

Tabela 3.2 Superfície cultivada com maçã (área em ha) nos principais Estados produtores no período de 1976 a 1990.

Estados	1976	1981	1986	1990
Santa Catarina	3.815	9.000	13.421	13.400
Rio Grande do Sul	1.118	5.100	7.070	10.600
Paraná	696	3.000	4.538	2.900
São Paulo	-	3.000	1.340	1.000
Minas Gerais	-	300	250	300
Brasil	5.629	20.400	26.619	28.200

Fonte : ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MAÇÃ

O Estado de Santa Catarina possui o maior número de produtores de maçã, com cerca de 1.296, o Rio Grande do Sul, com 850, o Paraná, com 130 e São Paulo com 95

produtores, perfazendo um total de cerca de 2.395, em nível nacional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE MAÇÃ 1991).

Os principais cultivares de maçãs produzidos no Brasil são: Gala (40%), Golden Delicious e Bel Golden (20%), Fuji (30%) e outros (10%) tais como Anna, Rainha, Granny Smith, Blackjohn e Willie Sharp (MINISTÉRIO DE AGRICULTURA 1980).

Para DESROSIER (1970), a composição, em porcentagem do peso da parte comestível da maçã "*in natura*" é:

COMPOSIÇÃO	(%)
Água	84
Carboidratos	15
Proteínas	0,3
Gordura	0,4
Cinza	0,3

BELITZ e GROSCH (1985) apresentam a seguinte composição química para a maçã em mg/100 g de porção comestível (Valores médios):

COMPOSIÇÃO	mg/100 g
Sódio	3
Potássio	144
Cálcio	7
Ferro	0,48
Fósforo	12
Glicose	1,8
Frutose	5
Sacarose	2,4

Segundo RECASENS (1982), a formação de um fruto de maçã consta de diferentes etapas, cada uma delas bem definida por uma série de características especiais. Do bom desenvolvimento de cada uma dessas etapas, dependerá a capacidade de conservação do fruto uma vez feita a colheita, assim como a manutenção do equilíbrio fisiológico, durante a lenta maturação na câmara frigorífica. As diferentes fases são: (a) formação e

desenvolvimento do primórdio do fruto; (b) antese, polinização e formação do fruto; (c) crescimento do fruto; (d) maturação; (e) senescência.

Conforme CANTILLO (1982), os defeitos fisiológicos mais comuns entre as maçãs são: escaldado superficial, escaldado brando ou profundo, escaldado senescente "Bitter Pit", desintegração por baixa temperatura, desintegração senescente, coração aquoso, dano por toxicidade a dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) dano externo e interno, dano por falta de oxigênio.

No caso da Golden delicious espécie oriunda dos Estados Unidos, e que provém de sementes, as características do fruto da maçã constituem-se em: epiderme de cor verde-amarela na época da colheita, predominando a tonalidade amarela em períodos posteriores de armazenamento e comercialização, fruto de tamanho grande e uniforme com a polpa branco-creme, suculenta, sabor doce com amadurecimento em fins de fevereiro e início de março. A qualidade do fruto é considerada boa, podendo-se conservá-lo por períodos longos (SILVA, 1984)

RECASENS e BARRAGÁN (1984) têm feito experimentos com o sistema de irrigação por aspersão para a obtenção de um microclima refrescante em pomares de maçãs, visando ao aumento de massa do fruto. O ensaio foi realizado na província de Lérida, na Espanha, conseguindo um incremento de 8% de peso na variedade Golden delicious.

O Ministério da Agricultura e a Secretaria Nacional de Abastecimento classificam a maçã nos tipos 1, 2 e 3, respectivamente, Extra, Especial e Comercial, segundo os defeitos que apresenta (MINISTÉRIO AGRICULTURA CLASSIFIQUE MELHOR A MAÇÃ).

De acordo com SILVA (1984), a conservação da maçã depende do grau de maturação, das condições climáticas e da variedade a ser armazenada. Em decorrência desses fatores, a temperatura de conservação varia de  $-1$  a  $3^{\circ}\text{C}$ , sendo a umidade relativa do

ar 90%. Nessas condições, a fruta permanece armazenada durante três meses ou mais. Para a maioria das variedades, a atmosfera (controlada) na câmara deve conter de 2 a 3% de  $O_2$ , 5% de  $CO_2$  e 95% de umidade relativa. Nessas condições, a fruta conserva-se até por seis meses.

RECASENS, MOLINA e RECASENS (1983), em trabalhos de conservação do fruto, variedade Jonee, a 2°C em um período de 170 dias concluíram que ao mesmo tempo que se manifesta notável aumento no conteúdo de etileno na atmosfera, observa-se um aumento no conteúdo de açúcares totais e uma diminuição na acidez e na consistência do fruto. O aumento nas taxas de etileno no interior do fruto ativa sua maturação ainda que em baixas temperaturas. Comprovaram também que o conteúdo interno de etileno na variedade Jonee, durante sua conservação frigorífica, é menor que na variedade de maçã Golden. Ressalte-se, porém, que a evolução da curva apresenta comportamento similar nas duas cultivares.

CEBALLOS, ALTISENT & RECASENS (1990) realizaram ensaios com a variedade Golden delicious com tratamentos de  $CaCl_2$  (14% de pureza), mantendo o fruto em atmosfera controlada a 0,5°C e observaram melhora na firmeza, 10% superior ao dos frutos sem tratamento.

Entre os produtos de uma dieta, a maçã ocupa um lugar de destaque. Seu consumo, porém, na maioria das vezes, é "in natura", ou na forma de suco ou geléia, sendo pouco conhecida na forma desidratada. O produto final pode ser reidratado e utilizado como matéria-prima na elaboração de tortas, sucos, purê, no café da manhã e outros, além do fator importante que é a facilidade e economia para o seu armazenamento e conservação.

O MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1986) apresenta normas e padrões de identidade, qualidade e embalagem para classificação da maçã sendo os mais importantes os fatores de qualidade (defeitos), os quais são mensurados em termos percentuais de

ocorrência, não podendo ultrapassar os valores máximos por tipo. De acordo com o percentual de incidência dos fatores de qualidade e grau de uniformidade do produto, a maçã será classificada em três tipos:

Tipo 1 ou EXTRA;

Tipo 2 ou ESPECIAL;

Tipo 3 ou COMERCIAL;

A tabela 3.3 apresenta os valores máximos de tolerância de defeitos por tipo

Tabela 3.3 Fatores de Qualidade (defeitos)

Fatores de qualidade (defeitos)	Valores Máximos de tolerância de defeitos por tipo (%)		
	1 - EXTRA	2 - ESPECIAL	3 - COMERCIAL
Ausência de pedúnculo	20	30	-
Bitter Pitt	5	10	20
Depressão mecânica	20	50	70
Deteriorado	2	4	10
Lesão cicatrizada	10	20	40
Lesão não cicatrizada	2	5	10
Deformado	10	20	50
manchas	5	10	20
Russeting	10	30	50

### 3.2 SECAGEM

Secagem é o processo comercial mais utilizado para a preservação da qualidade dos produtos agrícolas. Consiste na remoção de grande parte da água inicialmente contida no produto, logo após seu amadurecimento fisiológico, a um nível máximo de umidade no qual possa ser armazenado em condições ambientais por longos períodos, normalmente maiores que 3 anos, sem a perda de suas propriedades nutricionais e organolépticas (ROSSI & ROA 1980).

PISTONO (1965) define a secagem como a eliminação, dentro de um limite determinado, da água contida num material.

A desidratação industrial é definida como a secagem com calor artificial sob condições de temperatura, umidade e fluxo de ar controlado. O termo seco é aplicado a todos os produtos desidratados independente do método empregado na secagem (CRUESS, 1973).

ZANGELMI (1966) define a secagem como o método pelo qual se elimina a água de determinado produto, por evaporação, sob condições controladas de temperatura, umidade e fluxo de ar e faz uma classificação dos métodos de secagem:

- a) secagem ao sol
- b) liofilização
- c) desidratação
  - c<sub>1</sub>) Processo de tambor
  - c<sub>2</sub>) Fluxo cruzado
  - c<sub>3</sub>) "Spray - Dryer"
  - c<sub>4</sub>) Processo Birs
  - c<sub>5</sub>) Processo de túnel
  - c<sub>6</sub>) Foam-Mat dryer

Entre os diferentes sistemas de desidratação dos produtos agrícolas, a secagem solar tradicional é, ainda hoje, o procedimento mais utilizado no mundo. Estima-se que, no Brasil, em 1980, 80% da produção agrícola teria sido seca por esse método (ROSSI & ROA, 1980).

Apesar da natureza rudimentar desse processo, a secagem solar tradicional é, na maioria dos países subdesenvolvidos, ou em desenvolvimento, o único meio economicamente viável para a desidratação de muitos produtos agrícolas.

O método de secagem ao sol é aplicável em regiões com dias consecutivos de sol e com uma temperatura média de 35 a 40°C, desde que haja baixa umidade relativa do ar e baixo índice de poluição. Suas vantagens são: baixo custo pois o investimento é basicamente com as bandejas; desinfecção devido aos raios ultravioleta emitidos pelo sol e boa aparência pois o produto final apresenta uma cor mais natural, CRUZ (1989).

Esse método, porém, apresenta as seguintes desvantagens: tempo de exposição ao sol (a secagem pode demorar de quatro a cinco dias); suscetibilidade ao clima (fica-se inteiramente sujeito ao tempo); perda de nutrientes (as propriedades nutritivas perdem-se em maior escala durante a desidratação ao sol), e a dificuldade em manter as condições sanitárias (em função das próprias circunstâncias ambientais).

BERTOLINI (1939) afirmou ser um método muito comum na Argentina desde os anos 30, a secagem de maçã ao sol.

Segundo PARK (1987), as mais importantes teorias de secagem são aquelas que tentam explicar os fenômenos físicos internos, principalmente para material biológico. O autor apresentou as teorias clássicas que explicam o processo na fase decrescente de secagem:

- Teoria difusional, utilizando a 2.<sup>a</sup> lei de Fick;
- Teoria capilar, utilizando a lei de Darcy;

- Teoria de evapocondensação, que considera transferência simultânea de calor e massa;
- Teoria de Luikov, com aplicação da termodinâmica de processos irreversíveis;
- Teoria de Phillip e de Vries, a qual acopla as transferências de calor e de massa.

Uma vez que o produto é colocado em contato com o ar quente, ocorre uma transferência do calor do ar para o produto em função da diferença de temperatura. Simultaneamente, a diferença de pressão parcial de vapor de água existente entre o ar e a superfície do produto determina uma transferência de massa (umidade) para o ar.

A evolução dessas transferências simultâneas de calor e de massa, no decorrer da operação de secagem, faz com que esta seja dividida, esquematicamente, em três períodos (Figura 3.1):

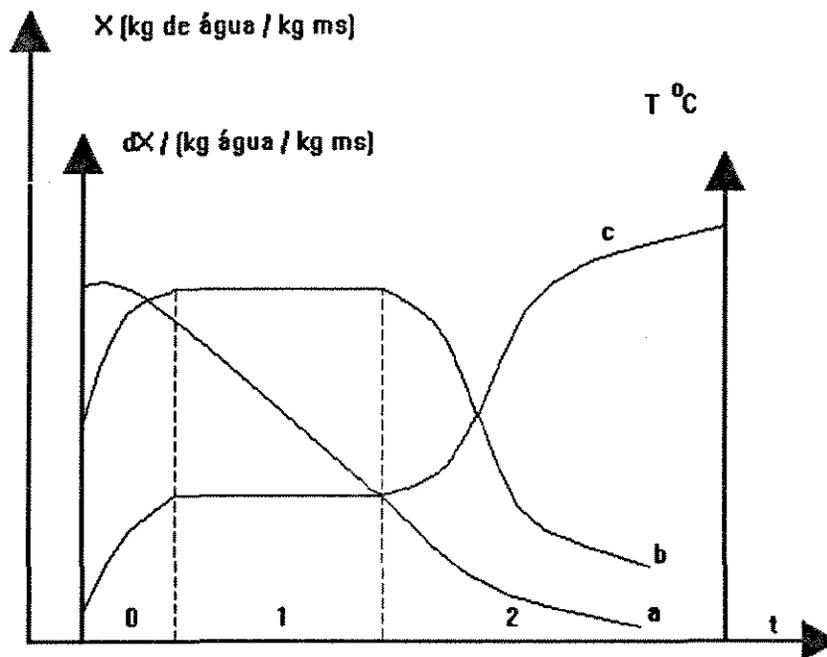


Figura 3.1 curvas características de secagem: [PARK 1991]

- a- evolução do teor de água do produto
- b- cinética de secagem
- c- evolução da temperatura do produto

Na figura 3.1

A curva **a** representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem (conteúdo de umidade do produto, na base seca, em relação à evolução do tempo de secagem  $t$ ), isto é, a curva obtida durante o processo, pesando-se o produto em intervalos de tempo numa determinada condição de secagem;

A curva **b** representa a velocidade (taxa) de secagem do produto (variação de conteúdo de umidade do produto por tempo,  $dX / dt$  em relação à evolução do tempo  $t$ ), isto é, a curva obtida diferenciando-se a curva **a**;

A curva **c** representa a variação da temperatura do produto durante a secagem (variação da temperatura do produto ( $T$ ) em relação à evolução do tempo  $t$ ), isto é, a curva obtida medindo-se a temperatura do produto em intervalos de tempo durante a secagem.

PARK (1991), apresentou também uma descrição dos 3 períodos de secagem:

**Período 0** - O período de indução ou o período de entrada em regime operacional. No início, o produto é geralmente mais frio do que ar, e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto ( $p$ ) é baixa, e por consequência, a transferência de massa e a velocidade de secagem também são pequenas. O calor transferido do ar acarreta elevação da temperatura do produto, aumentando a pressão de vapor e velocidade de secagem. Esse processo continua até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa. Se a temperatura do ar for inferior à do produto, esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio. A duração desse período é insignificante em relação ao período total de secagem.

**Período 1** - O período de velocidade ( taxa ) constante de secagem . Durante esse período , como no anterior, a quantidade de água disponível é grande. A água evapora-se como água livre. A pressão de vapor de água na superfície é constante e igual à pressão de vapor de água pura à temperatura do produto. A temperatura do produto, por sua vez, é também constante e igual à temperatura de bulbo úmido do ar, tais características garantem que as transferências de calor e de massa se compensem exatamente. Por conseguinte, a velocidade de secagem é constante. Esse período continua, enquanto a migração de água do interior até a superfície do material for suficiente para acompanhar a perda por evaporação de água na superfície. Importa ressaltar que para o material biológico é difícil a existência desse período, pois as condições operacionais de secagem são tais que as resistências de transferência de massa encontram-se essencialmente no interior do material, fazendo com que a taxa de evaporação da superfície ao ar seja bem superior à taxa de reposição de umidade do interior à superfície do material.

**Período 2** -NOGUEIRA (1991) descreve o período de velocidade (taxa) decrescente de secagem. Desde o momento em que a concentração da água começa a diminuir na superfície do material, a velocidade de secagem diminui, este período é quase sempre o único observado na secagem de produtos agrícolas e alimentícios, sendo que a migração interna de água é quem determina a taxa de secagem.

Apesar de alguns autores definirem o valor de teor de água do produto no ponto de transição entre os períodos 1 e 2 como sendo o teor de água crítico , seria conveniente denominar esse ponto como o de inflexão de taxa constante à taxa decrescente de secagem, pois, longe de ser uma propriedade física do material, é um ponto que depende, inclusive, das condições operacionais de secagem. Durante esse período, a troca de calor não é mais compensada pela evaporação e conseqüentemente, a temperatura do produto aumenta e tende assintoticamente à temperatura do ar. Durante todo esse período, o fator

limitante da secagem é a migração interna de água. Essa redução da taxa (ou velocidade) de secagem é, às vezes, interpretada como uma diminuição da superfície molhada no período 2, mas a interpretação mais freqüente é dada pela redução da pressão parcial de vapor de água na superfície. No final desse período, o produto estará em equilíbrio com o ar e a velocidade de secagem será nula.

Na secagem com ar, a velocidade de remoção da água depende das condições do ar, das propriedades do alimento e do desenho ("design") do secador.

Segundo EARLE (1971), a umidade pode estar ligada ao produto em diferentes graus. Os dois extremos são que a umidade simplesmente repouse sobre a superfície ou que a umidade está combinada quimicamente com outros constituintes. A água está retida por forças cuja intensidade varia desde muito fracas, que retêm a água superficial, às ligações químicas muito fortes. É evidente que durante a secagem separa-se muito mais facilmente a água que está retida mais fracamente. A velocidade de secagem diminui à medida que decresce o conteúdo de umidade pois a água está mais ligada à estrutura sólida para os baixos conteúdos de umidade.

De acordo com HOLDWORTH (1971), a velocidade e o tempo de secagem são afetados pelas propriedades físicas do produto (tamanho e forma), pela disposição do produto no equipamento de secagem (espessura da camada do produto), pelas propriedades físicas do ambiente de secagem (mecanismos de transferência de calor), e pela composição química e estrutura do produto.

KNEULE (1966) descreve o fenômeno como uma umidificação mais ou menos completa da superfície do produto em que o processo da secagem é determinado pela transferência de matéria sobre a superfície.

Conforme CHUNG & CHANG (1982), em determinado ponto, o conteúdo de umidade de equilíbrio é atingido, cessando a desidratação. O segundo período, ou

período de velocidade decrescente, é quase sempre o único observado para a secagem de produtos agrícolas e alimentícios. A complexidade dos fenômenos, colocados em jogo durante a secagem, conduz os pesquisadores a numerosas teorias e múltiplas fórmulas empíricas para explicar a taxa de secagem.

### **3.3 Produto Seco**

Segundo o COMPÊNDIO DA LEGISLAÇÃO DE ALIMENTOS (ABIA 1992), define-se como fruta seca o produto obtido através de perda parcial da água da fruta madura, inteira ou em pedaços, por processos tecnológicos adequados. As Normas de Identidade e Qualidade para obter fruta seca são descritas da seguinte maneira:

#### **3.3.1 Designação**

O produto é indicado simplesmente pelo nome da fruta que lhe deu origem seguida da palavra seca. Os produtos com mais de uma espécie de fruta terão a designação de frutas secas mistas, seguida do nome das frutas componentes. Pode-se, também, usar a palavra "passa" em lugar de seca: uva-passa, por exemplo.

#### **3.3.2 Características gerais**

O produto deverá ser preparado com frutas maduras, limpas, isentas de matéria terrosa, de parasitas, de detritos animais e vegetais. Não deve conter substâncias estranhas à sua composição natural. É tolerada a imersão das frutas em solução de cloreto de sódio, hidróxido de sódio ou carbonato de sódio de acordo com as exigências da técnica de fabricação. As frutas secas ou dessecadas não podem apresentar fermentação.

#### **3.3.3 Características Sensoriais**

Aspecto: frutas inteiras ou em pedaços, de consistência própria, não esmagadas.

Cor : própria.

Cheiro : próprio.

Sabor : próprio.

### **3.3.4 Característica físico-química**

Umidade máxima de 25%.

### **3.3.5 Características Microbiológicas**

As frutas secas e dessecadas devem obedecer ao seguinte padrão:

-Bactérias do grupo coliforme: Máximo de  $10^2/g(*)$

-Bactérias do grupo coliforme de origem fecal: Ausência em 1 g.

-Salmonelas: Ausência em 25 g.

(\*) Significa período de carência de 2 anos a partir da data de elaboração.

### **3.3.6 Característica Microscópica**

Ausência de sujidades, parasitas e larvas.

### **3.3.7 Rotulagem**

No rótulo, deve constar o nome da fruta, seguido da palavra seca, dessecada ou passa. Quando a embalagem contiver frutas secas de diversas espécies, levará a denominação de frutas secas mistas, seguida do nome das frutas com as respectivas porcentagens em ordem decrescente.

### 3.4 UMIDADE DE EQUILÍBRIO

Segundo TREYBAL (1968), quando um material é exposto à determinada umidade ambiente, sua reação é no sentido de ajustar a própria umidade a uma condição de equilíbrio com este ambiente. Para determinada composição de matéria seca, à medida que o alimento tem seu conteúdo de água diminuído, a atividade desta também diminuirá e vice-versa. Tal relação não é linear, e pode ser representada pela chamada curva de sorção ou isoterma de sorção.

De acordo com LABUZA (1968), as isotermas de sorção podem ser obtidas de duas maneiras, ou por secagem, retirada de água do alimento (dessorção), ou por hidratação de amostras previamente secas (adsorção). As duas isotermas apresentam, geralmente, valores diferentes para algumas faixas de atividade de água indicando diferentes associações da água aos solutos nos dois processos referenciados, ou pelo menos de diferentes intensidades de associação (Figura 3.2).

Segundo LABUZA (1968) e LOMAURO, BAKSHI e LABUZA (1975), uma isoterma de sorção pode apresentar três regiões dependendo da condição da água presente:

- a) Primeira região representa a adsorção na monocamada molecular de um filme de água e está entre 0 a 35 % de umidade relativa;
- b) Segunda região que representa a adsorção nas camadas adicionais acima da monocamada e localiza-se entre 35 e 60 % de umidade relativa;
- c) Terceira região representa a água condensada nos poros do material seguida pela dissolução de materiais solúveis presentes, acima de 60 % umidade relativa.

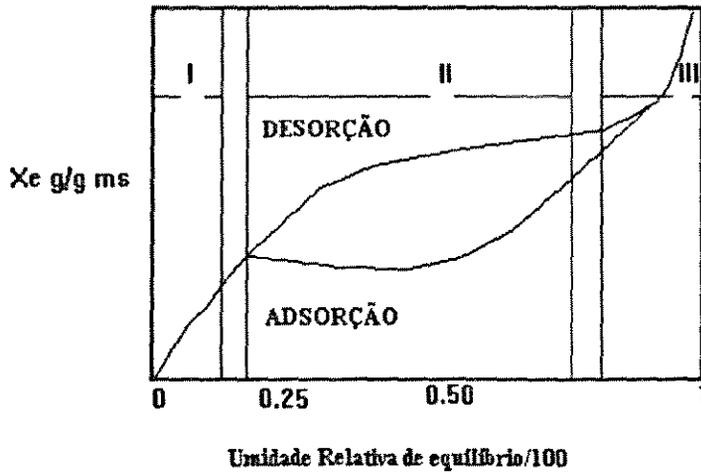


Figura 3.2 Comparação da isoterma de sorção para uma curva de desorção  
(TELIS ROMERO, 1988)

O conteúdo de umidade que o produto alcança, quando deixado por longo tempo em contato com determinada condição ambiente, é definido como umidade de equilíbrio (GUSTAFON & HALL, 1974).

VICKERS & BOURNE (1976) investigaram o efeito da perda de umidade em frutas e vegetais, concluindo que alimentos desidratados tornam-se mais macios quando ganham umidade.

O conteúdo de umidade de equilíbrio é importante nos processos de secagem porque representa o valor limite para uma dada condição de umidade relativa e temperatura (CHEN, 1971).

Os métodos experimentais utilizados para a obtenção de curvas de sorção de materiais sólidos foram classificados por GÁL (1975) em:

a. Métodos Gravimétricos, consiste na determinação das mudanças de peso das amostras em equilíbrio com diferentes pressões de vapor.

b. Métodos Manométricos e Higrométricos, usados para rápida determinação de atividade de água em processos de controle de qualidade consiste na medição da umidade relativa do ar intergranular da amostra podendo, através de um gráfico, determinar, aproximadamente, o teor de umidade da amostra.

c. Métodos especiais, são métodos não-convencionais, para materiais com alto conteúdo de umidade, onde a atividade de água é medida por uma célula de pressão.

SARAVACOS (1967) verificou diminuição da taxa de absorção na reidratação a menores conteúdos de umidade em material seco ao ar; o inverso ocorreu em material liofilizado.

Segundo KING (1968), alimentos secos ao ar são menos porosos e, conseqüentemente, o coeficiente de difusão de vapor é pequeno, sendo o processo de absorção controlado pela transferência de massa.

Segundo QUAST (1969), existe uma isoterma característica para cada produto e, segundo ACKER (1969), a forma da isoterma reflete a maneira como a água está ligada ao alimento.

BRUNAUER, EMMET & TELLER (1938), com base no conceito de Langmuir (1918), citado pelos mesmos autores, de adsorção na monocamada molecular, e considerando a natureza química da água, propuseram um modelo para descrever a adsorção de multicamadas moleculares.

IGLESIAS & CHIRIFE (1976), utilizando o modelo linearizado de BRUNAUER, EMMET e TELLER (BET) determinaram o conteúdo de umidade na monocamada de

BET, baseando-se nos dados de isotermas de sorção para vários alimentos e seus componentes. Concluíram que o valor da umidade na monocamada diminui com o aumento da temperatura, atribuindo esse fato à redução do número de camadas ativas devido às mudanças físico-químicas induzidas pela temperatura.

A equação BET, para camadas polimoleculares citada por KNEULE (1966) é:

$$\frac{X}{XM} = \frac{C \times AW}{1 - AW} \left[ \frac{1 - (n+1)AW^n + nAW^{n+1}}{1 - (1-C)AW - CAW^{n+1}} \right] \quad (1)$$

sendo:

n = número de camadas moleculares ou polimoleculares;

C = constante de BET.

Essa equação possui dois casos especiais:

1- quando n = 1, reduz-se à equação de Langmuir;

2- quando n tende ao infinito, reduz-se à equação:

$$\frac{X}{XM} = \frac{C \times AW}{(1 - AW)(1 - AW + C \times AW)} \quad (2)$$

que é a forma mais conhecida da equação de BET, e utilizada na forma linearizada:

$$\frac{AW}{(1 - AW)X} = \frac{1}{XM \times C} + \frac{C - 1}{XM \times C} \times AW \quad (3)$$

Esse modelo restringe o ajuste a dois parâmetros, XM e C, e tem apresentado sucesso para atividades de água até valores ao redor de 0,50 (PARK E NOGUEIRA, 1992).

### 3.5 Mecanismo de difusão

Segundo OKADA e QUAST (1980), em sólidos relativamente homogêneos, como os amorfos, fibrosos ou do tipo sílica-gel, a umidade provavelmente move-se em direção à superfície, principalmente por difusão. Nesse caso, a velocidade com que a umidade se desloca pode ser expressa pela segunda lei de Fick da difusão, que, para o caso em estudo, pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{dX}{dt} = D_L^* \cdot \frac{\partial^2 X}{\partial d^2} \quad (4)$$

onde:

X = água livre do material em estudo

$D_L^*$  = coeficiente de difusão da fase líquida aplicada ao escoamento

t = tempo

d = distância percorrida na direção do escoamento

É possível a integração da equação (4), desde que se escolham as condições de contorno para o caso em estudo e se conheça a variação do coeficiente de difusão ( $D_L^*$ ). Para o caso mais simples de uma placa plana, seca por uma das faces com a outra isolada, onde pode-se impor que o coeficiente de difusão é constante com o tempo, e supor que a umidade se distribui uniformemente através da placa; a integração da equação (4) leva à expressão obtida por Sherwood & Newman citados por KNEULE (1966) a saber:

$$\frac{X - X_{\infty}}{X_0 - X_{\infty}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(2n+1)^2} \times e^{\left[ -(2n+1)^2 \times \pi^2 \times D \times \frac{t}{4.L^2} \right]} \right] \quad (5)$$

onde:

- X = umidade do material
- X<sub>0</sub> = umidade do material no instante em que começa a secagem por difusão
- X<sub>∞</sub> = umidade de equilíbrio
- L = comprimento característico, isto é semi-espessura de uma placa
- t = tempo

### 3.6 Determinação de proteínas, Grau Brix e acidez do produto

#### 3.6.1 Determinação de proteínas

A palavra proteína é derivada de uma palavra grega que significa "de primeira importância". Ela foi a primeira substância reconhecida como parte vital dos tecidos vivos. Para determinar a amplitude da utilização de proteínas, estuda-se o balanço de nitrogênio. A quantidade de nitrogênio é um índice acurado da quantidade de proteína envolvida. A maioria das proteínas contém cerca de 16% de nitrogênio e esse fato é utilizado para determinar a quantidade de proteína nos alimentos. O conteúdo de nitrogênio é determinado quimicamente e esse número, multiplicado por 6.25, dá a quantidade de proteína presente na substância (KRAUSE e MAHAN, 1985).

### 3.6.2 Grau Brix

Teoricamente é a porcentagem de sacarose em solução aquosa, mas na prática considera-se como sendo a concentração de sólidos solúveis na amostra; a medição é feita com refratômetro a 20°C.

### 3.6.3 Acidez total

A acidez titulável da maçã será determinada de acordo com as **NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985)**. Foi utilizada uma amostra inicial de 10 g, a amostra previamente triturada, foi pesada em um béquer de 100 ml e transferida quantitativamente para um balão volumétrico de 100 ml para um frasco Erlenmeyer de 250 ml e adicionou-se 2 gotas de indicador fenolftaleína. Fez-se a titulação com uma solução de hidróxido de potássio 0,1 N, previamente padronizada, até a coloração rósea.

## 3.7 Coeficiente de adsorção

A remoção de água nos alimentos se faz necessária para aumentar sua vida de prateleira. Para um alimento atingir um teor de água desejado e ser mantido em boas condições de comercialização é preciso ter conhecimento da umidade de equilíbrio, a qual é influenciada pela temperatura e umidade relativa do agente de secagem ou pelas condições ambientais a que o produto é exposto DE GOIS e CAL-VIDAL citados por BORGES e VIDAL (1994).

Para o estudo cinético plotou-se  $X-X_i / X_e-X_i$  versus  $t$  onde  $X_i, X_e$  e  $X$  são respectivamente, os conteúdos de umidade inicial, de equilíbrio e umidade no tempo  $t$  e determinou-se as constantes de adsorção para cada temperatura e umidade relativa a qual é

um indicador do comportamento do produto em condições de temperatura com relação à umidade relativa, bem como a velocidade de adsorção  $dX/dt = (X_e - X)$  segundo BORGES E VIDAL (1994).

### 3.8 Secagem de frutas

A água está, em maior ou menor grau, presente em praticamente todos os grupos de alimentos. Alguns microrganismos também estão presentes em todos os alimentos e tendem a se multiplicar quando encontram umidade e calor. Esse fenômeno causa a deterioração. Se a água do alimento for suficientemente retirada, porém, esses microrganismos não poderão se desenvolver e o produto estará livre da contaminação. As frutas e vegetais, de forma geral, apresentam cinéticas bastante semelhantes. Assim, as metodologias experimentais e abordagens teóricas podem ser aproveitadas para a compreensão do processo de secagem de maçã.

#### **.Banana-passa**

NOGUEIRA (1991) realizou experimentos para a secagem da banana-passa (*Musa acuminata*, subgrupo Cavendish, cultivar Nanica), utilizando três temperaturas (50, 60 e 70°C) e três velocidades do ar (0.5, 1.0 e 1.5 ms<sup>-1</sup>). Foram levantados dados experimentais de secagem e foi utilizado o modelo difusional na forma cilíndrica, para descrever o processo. A solução analítica da equação de difusão foi utilizada para um estudo do número de termos suficiente a ser considerado na série de Fourier, para se obter resultados precisos. Concluiu que a utilização dos cinco primeiros termos da série de Fourier mostrou ser suficiente. Os valores de difusividade efetiva situaram-se entre  $2.62 \times 10^{-10}$  e  $6.53 \times 10^{-10} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ .

Segundo TRAVAGLINI (1979), estudos preliminares efetuados no ITAL demonstraram a possibilidade de obtenção de um produto de banana com teor de umidade de 35% , portanto, de consistência mais macia, e estabilidade satisfatória, havendo, porém, necessidade da utilização do anidrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) em combinação com outro elemento fungistático, o sorbato de potássio, em concentrações residuais de 200 e 600 mg/l, respectivamente, com uma temperatura de secagem de 70°C, e tempo de secagem de 12 a 16 horas, com uma umidade intermediária de 25%.

### **.Ameixa**

Cerca de 75% da ameixa seca do mercado mundial é produzida nos Estados Unidos. Nos dias atuais, quase toda a produção de ameixas é seca. MRAK & PERRY (1948), discutiram, minuciosamente, sobre as temperaturas e umidades relativas requeridas para a produção de ameixas secas de alta qualidade. Recomendaram o uso de três termômetros no túnel de secagem com fluxo em contracorrente: um de bulbo seco na extremidade de saída do produto e um de bulbo seco e úmido na extremidade pela qual o produto entra. O túnel não deve operar em temperatura superior a 72°C na extremidade de saída. As frutas são usualmente secas com um teor de umidade que varia entre 16-19%, aproximadamente.

### **.Damasco e pêssego**

Para a desidratação do damasco, recomenda-se, primeiramente, colocar o produto por um período de quatro horas ao sol para secagem prévia; a fruta é desidratada em aproximadamente 8 horas no secador, à temperatura de 65°C até atingir 18% de umidade. Para pêssegos, sugere-se que a temperatura do ar de entrada no secador não exceda 68°C e na extremidade de saída, não ultrapasse 43°C; o período de secagem varia

de 24 a 30 horas para a fruta atingir cerca de 25 a 28% de umidade (TRAVAGLINI, 1979). Os pêsegos branqueados são secos mais rapidamente requerendo somente de 16 a 18 horas para atingir 25 - 30% de umidade segundo MRAK & PERRY (1948).

#### **.Pêra**

Quanto à pêra, o tempo de secagem varia de 6 a 48 horas, dependendo do tamanho do pedaço do fruto a ser desidratado e se está descascado ou não. Recomendam-se as condições de secagem no secador de túnel em contracorrente com temperatura máxima de ar na extremidade de saída do produto de 65°C e temperatura do ar na entrada do produto variando de 42 e 43°C ( MRAK & PERRY, 1948).

#### **.Figos**

Os figos são secos comercialmente em secadores de túneis de fluxo de ar em contracorrente. As variedades Adriático e Kadota são desidratadas com sucesso nos Estados Unidos. Recomenda-se carregar as bandejas com 10 -15 kg/m<sup>2</sup> de frutas, no início da secagem, com temperatura variando entre 35 e 42°C. O tempo de duração varia de 8 a 12 horas (MRAK & PERRY, 1948).

#### **.Abacaxi**

O abacaxi é descascado, desmiolado, cortado e sulfitado antes da secagem. A desidratação é efetuada à temperatura de 65° até reduzir 80% do peso inicial (FRIAR & VAN HOLTEN, 1944).

### **.Maçã**

TRAVAGLINI (1979) recomenda que a desidratação da maçã seja feita em secadores de túnel ou em secadores Kiln equipados com ventilador para aumentar o fluxo de ar e diminuir o tempo de secagem. O tempo de secagem utilizado para a maçã foi de 8 horas, quando cortadas em rodela ou em cubos de 0,51 cm de espessura. A temperatura do ar de saída do produto é cerca de 73°C com umidade relativa inicial de 60%. . Geralmente, as maçãs são secas até 18 a 20% de umidade. No entanto, é comum desidratá-las em níveis mais altos de umidade, sulfurando-as novamente até obter cerca de 2.000 - 3.000 mg/kg de SO<sub>2</sub> na fruta antes da embalagem.

TORREY (1974) descreve o processo de secagem ao ar para tortas de maçã; são conhecidos vários métodos de desidratação. Um método satisfatório pode ser descrito por descascamento, descaroçamento, corte e branqueamento dos pedaços que são submetidos a uma corrente de ar quente para remover a maior parte da umidade, deixando um conteúdo residual de 16 a 30% de umidade. As maçãs, então, são secas até um teor final de umidade menor que 5%. A taxa de reidratação oscila, em função da variedade, e um período considerável de embebedimento tem sido sempre necessário.

DORSEY e STRASHUM, citados por TORREY (1974), desenvolveram um processo com patente 3.049.426, USA Agosto 14 de 1962, no qual maçãs cortadas são inicialmente secas para remover uma porção maior de água, e, em seguida, submetidas à perfuração. Essas perfurações facilitam a secagem até menos de 5% de umidade. A reidratação também é facilitada, requerendo menos tempo. Em tortas de maçãs desidratadas, faz-se necessária uma reidratação antes de serem assadas; pedaços perfurados de acordo com essa técnica dispensam a reidratação preliminar. A operação de perfuração facilita a desidratação, uma vez que a área específica para secagem é aumentada.

Segundo TORREY (1974), para obtenção de maçãs pré-cozidas e secas, as maduras são primeiramente descascadas, descaroçadas e fatiadas em tamanho conveniente de 0,6 - 0,9 cm. As fatias são tratadas com sulfato, e pré-cozidas à temperatura de  $\pm 150^{\circ}\text{C}$ , por três minutos, preferivelmente a vapor. Durante o pré-cozimento, amostras são testadas para assegurar controle de uma operação apropriada. Após o pré-cozimento, as fatias são desidratadas até 1,5% de umidade (base seca) em secador a ar comum ou a vácuo. O mesmo autor também indica o processo para creme de maçã pré-cozida: após o pré-cozimento, as fatias são secas a 18-24% de umidade. Condimentos podem ser adicionados, se desejado. As fatias são cortadas em cubos de 0,3 - 0,9 cm e desidratados ao ar ou a vácuo, até umidade final menor que 3,5%. Aquecem-se os cubos para torná-los moles. Os flocos são então esmagados para tamanho granular (peneira de 10 a 20 mesh). Pode-se adicionar condimentos e embalar. Basta umedecer com água fria para ter o produto pronto para servir.

### 3.9 PROCESSO DE SECAGEM DA MAÇÃ

A seguir, apresenta-se o processamento de secagem da maçã, segundo CRUESS(1973).

**3.9.1 Escolha:** as maçãs devem ser cuidadosamente escolhidas e, muito bem lavadas antes de serem descascadas; a escolha pode ser feita numa correia larga para esse fim.

**3.9.2 Remoção de Resíduos de Pulverização:** quando as cascas e o centro vão ser utilizados na fabricação de vinagre, na alimentação de gado, etc., as maçãs devem ser lavadas numa solução diluída, quente, de ácido clorídico (1.5 a 3%) e enxaguadas a fim de remover o resíduo da pulverização com arseniato de chumbo.

**3.9.3 Descascamento e Retirada dos Centros:** as maçãs são descascadas e os centros são retirados manualmente ou por uma máquina elétrica. O descascamento é feito por meio de uma navalha protegida, como a de um barbeador. O operário coloca cada maçã na posição vertical na taça da máquina descascadora. A taça está situada num braço giratório que envia a maçã para um garfo que desce na direção vertical.

**3.9.4 Aparar:** é de grande importância porque algumas frutas descascadas ainda têm pequenos pedaços de cascas, partes maltratadas ou porções do cálice, os quais precisam ser retirados para a obtenção de um produto seco de boa qualidade. Para cada operário incumbido do descascamento deve haver, no mínimo, dois encarregados da aparar.

**3.9.5 Corte em fatias:** embora possa ser executado na máquina de descascar, por meio de dispositivos especiais, essa operação é geralmente protelada até que as maçãs tenham sido aparadas, pois a aparar pode ser feita com muito mais eficiência na fruta ainda inteira e descascada. O cortador comum de maçãs em fatias é equipado com lâminas fixas colocadas em posição horizontal. As maçãs descascadas e retocadas são forçadas de encontro às lâminas por meio de transportadores, transformando-se em anéis de 1/4 de polegada 6,3mm de espessura.

**3.9.6 Branqueamento:** segundo SCOTT (1957), com a diminuição da pressão de vapor de água no sólido, consegue-se retardar consideravelmente as reações enzimáticas, a oxidação de lipídeos, a hidrólise e o escurecimento.

O escurecimento oxidativo de frutas é catalisado pela polifenoloxidase, e para sua ocorrência, três componentes devem coexistir: enzima, substrato e oxigênio. O escurecimento é um dos mais sérios problemas da maçã (POTING, 1960).

**3.9.6.1 Imersão em bissulfito:** em muitas fábricas, as frutas descascadas e sem os centros são imersas numa solução de 2 a 3% de bissulfito para evitar o escurecimento antes do corte em fatias.

**3.9.6.2 Tratamento com enxofre:** as maçãs são sempre submetidas aos gases da combustão do enxofre e, logo são mergulhadas numa solução de bióxido de enxofre ou bissulfito antes da secagem a fim de clarear a superfície tornada marrom pela exposição ao ar, e para evitar posterior escurecimento. As frutas inteiras e descascadas podem ser tratadas com enxofre antes de cortadas em fatias, requerendo, nesse caso, exposição de 45 a 90 minutos ou podem ser tratadas depois de cortadas em fatias precisando, então, apenas de 30 a 40 minutos de tratamento. Como outras frutas, as maçãs podem ser tratadas nas bandejas ou em transportadoras de ripas de madeira numa câmara longa.

**3.9.7 Corte:** as maçãs são, em geral, cortadas, em fatias (anéis) da espessura de mais ou menos 6,3 mm mas há, também, procura pelas maçãs cortadas em cubos e desidratadas. Os cubos, de aproximadamente 1,25 cm podem ser cortados das maçãs inteiras descascadas, aparadas e sem os centros, por meio de uma máquina especial. Esses cubos secam rapidamente e são próprios para o preparo de tortas.

**3.9.8 Temperatura:** na Califórnia, em secadores de torre, a temperatura sob a bandeja inferior é de, aproximadamente, 82°C. Nos desidratadores a jato de ar, em túnel, emprega-se uma variação de temperatura de 62,8 a 73,9°C na extremidade quente do túnel. Quanto mais baixa for a temperatura final, menor será o perigo de escurecimento e da caramelização do açúcar. Nos secadores de estufa, a temperatura ao nível do chão no fim da

secagem é de 62,8 a 66°C, e a do ar imediatamente abaixo do piso é , geralmente, de cerca de 66 a 71°C.

**3.9.9 Tempo de secagem:** o tempo de secagem das maçãs no secador de torre é, aproximadamente, de 10 a 12 horas, e no secador de estufa, de 7 a 12 horas. Nos desidratadores de corrente paralela ou túnel usados no Canadá, o tempo de secagem é curto, de 5 a 6 horas.

**3.9.10 Revolvimento:** as maçãs são viradas de vez em quando no piso do secador de estufa. Isso é feito com pás de alumínio ou de aço inoxidável durante o processo de desidratação para igualar a velocidade de secagem das maçãs nos diferentes níveis.

**3.9.11 Rendimento:** são necessárias 7 a 10 toneladas de maçãs frescas, não descascadas, para obter 1 tonelada de fruta seca esse rendimento, porém, varia bastante com o tamanho, a variedade e as condições em que se encontram as frutas.

**3.9.12 Teor de umidade:** os regulamentos oficiais do governo dos Estados Unidos exigem que as maçãs secas contenham um máximo de 24% de umidade quando postas à venda.

**3.9.13 Armazenamento do Produto Seco:** as maçãs secas são geralmente armazenadas em caixotes ou em pilhas no chão do depósito. Deve-se ter o cuidado de eliminar os roedores e os insetos. Hoje em dia, as frutas são embaladas logo que saem dos secadores.

**3.9.14 Segundo tratamento com enxofre:** os embaladores de maçãs secas umedecem-nas, submetendo-as a novo tratamento com vapor de enxofre até cerca de 2.500 a 3.000 mg/kg de bióxido de enxofre antes da embalagem final.

**3.9.15 Limpeza e Embalagem:** antes de ser novamente tratadas com enxofre, as maçãs são passadas por peneira para a retirada de sujeiras finas, semente, e cuidadosamente escolhidas para a separação das defeituosas. Depois de umedecidas e tratadas com enxofre, são, então, embaladas e acondicionadas em caixas de 11kg (25 lb) revestidas internamente com papel encerado. Algumas são moídas grossas e embaladas em pequenos sacos de celofane.

**3.9.16 "Nuggets" de Maçã:** algumas maçãs secas são moídas grossas e secas a vácuo até menos de 1% de água, como é feito pela Vacuum-dry Company, de Oakland, Califórnia. São então embaladas em recipientes herméticos. O exército consumiu grande número desses "nuggets" na Segunda grande Guerra.

**3.9.17 Classificação de maçãs secas:**

1) Super Extra (Extra Fancy). Anéis de tamanhos razoavelmente uniformes; cor branca; limpos, livres de cascas, centros, pedúnculos, pedaços manchados ou estragados, perfurações de larvas ou refúgios da peneiração.

2) Extra (Fancy). Anéis de tamanho razoavelmente uniforme; cor branca uniforme ou amarela bem clara; limpos, quase sem cascas, centros, pedúnculos, pedaços manchados, perfurações de bichos e refúgios de peneiração.

3) Super Seletto (Extra-Choice). Anéis de tamanho razoavelmente uniforme; brancos ou amarelo-claros; com no máximo 25% de pedaços com cascas, centros, pedúnculos, manchas na casca ou podridão e perfurações de bichos; quase sem refúgios de peneiração.

4) Seleto (Choice). Anéis de cor branca, amarela ou marrom-clara; 50% no máximo de pedaços apresentando cascas, centros, pedúnculos, manchas de machucado ou perfurações de bichos; podem conter uma porção visível de refugos de peneiração.

5) Padrão (Standard) Cor marrom; grande porção de pedaços com casca, centros, pedúnculos ou manchas de machucados; grande quantidade de refugo de peneiração.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Material**

#### **4.1.1 Matéria - Prima**

A matéria-prima utilizada para os testes experimentais foi a maçã da variedade Golden (*Malus spp.*) originária da região de Santa Catarina, a qual foi adquirida no CEASA--Campinas. A qualidade de comercialização do produto foi considerada de segunda, de acordo com a classificação do Ministério da Agricultura. Toda a maçã foi adquirida de um só local de venda. Com a fruta "*in natura*" foram realizadas as seguintes análises : grau Brix para determinar a quantidade de sólidos solúveis e grau de acidez dos frutos. Procurou-se selecionar os frutos que tivessem as mesmas características visuais de maturação. O produto foi armazenado em câmara fria a 10°C e retirado duas horas antes da secagem para equilibrar com a temperatura ambiente.

#### **4.1.2 Local Experimental**

A determinação experimental tanto das curvas de secagem como das curvas de umidade de equilíbrio do produto foram realizadas nos laboratórios do Departamento de

Pré-Processamentos de Produtos Agropecuários da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP no período de setembro de 1994 a abril de 1995.

#### **4.1.3 Equipamento de Laboratório**

Utilizaram-se os seguintes equipamentos:

- Balança semi-analítica, marca SETRA Modelo 2000 com duas casas decimais;
- Balança analítica, marca MARTE Modelo AL 200 com três casas decimais;
- Estufa de secagem e esterilização, marca, FANEM Modelo 320-SE
- Estufa incubadora para BOD, marca FANEM Ltda;
- Bomba de vácuo para laboratório, marca FABRE-PRIMAR Modelo 141 2VC;
- Agitador magnético, marca FISATOM;
- Anemômetro AIR-FLOW Modelo LCA 6000;
- Higrôtermógrafo TH 508;
- Refratômetro ATAGO Mod ATC-1;
- Dessecador a vácuo, diâmetro 250 mm marca Pirex;
- Instrumental de vidro marca Pirex;

O secador utilizado para a obtenção da curva de secagem foi construído na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP (BROD 1994). A parte elétrica está formada por seis resistências, duas delas interligadas por um contator a um termostato digital. Cada resistência possui um interruptor individual, ligando-se, todas, a um disjuntor central. O ar, passando pelas resistências, é aquecido a uma temperatura pré-determinada. O ar quente passa pelo secador, que possui três janelas de acrílico ( com isolamento de feltro, colocado na estrutura em todo o contorno da janela). Estas janelas dão acesso a duas gavetas também de acrílico, totalizando seis gavetas, havendo na parte superior de cada uma delas um orifício para a colocação de um termômetro a fim de verificar a temperatura na saída de cada gaveta.

O suprimento de ar é feito por um ventilador centrífugo, com vazão controlada por uma guilhotina. A medida da velocidade do ar é efetuada na saída. As gavetas são de 0.19 x 0.18 x 0.07 m, de material acrílico com base de tela de arame parafusada com tiras de alumínio. A velocidade máxima do ar no secador vazio é de 2,8 m/s. O modelo de secador encontra-se na Figura 4.1.

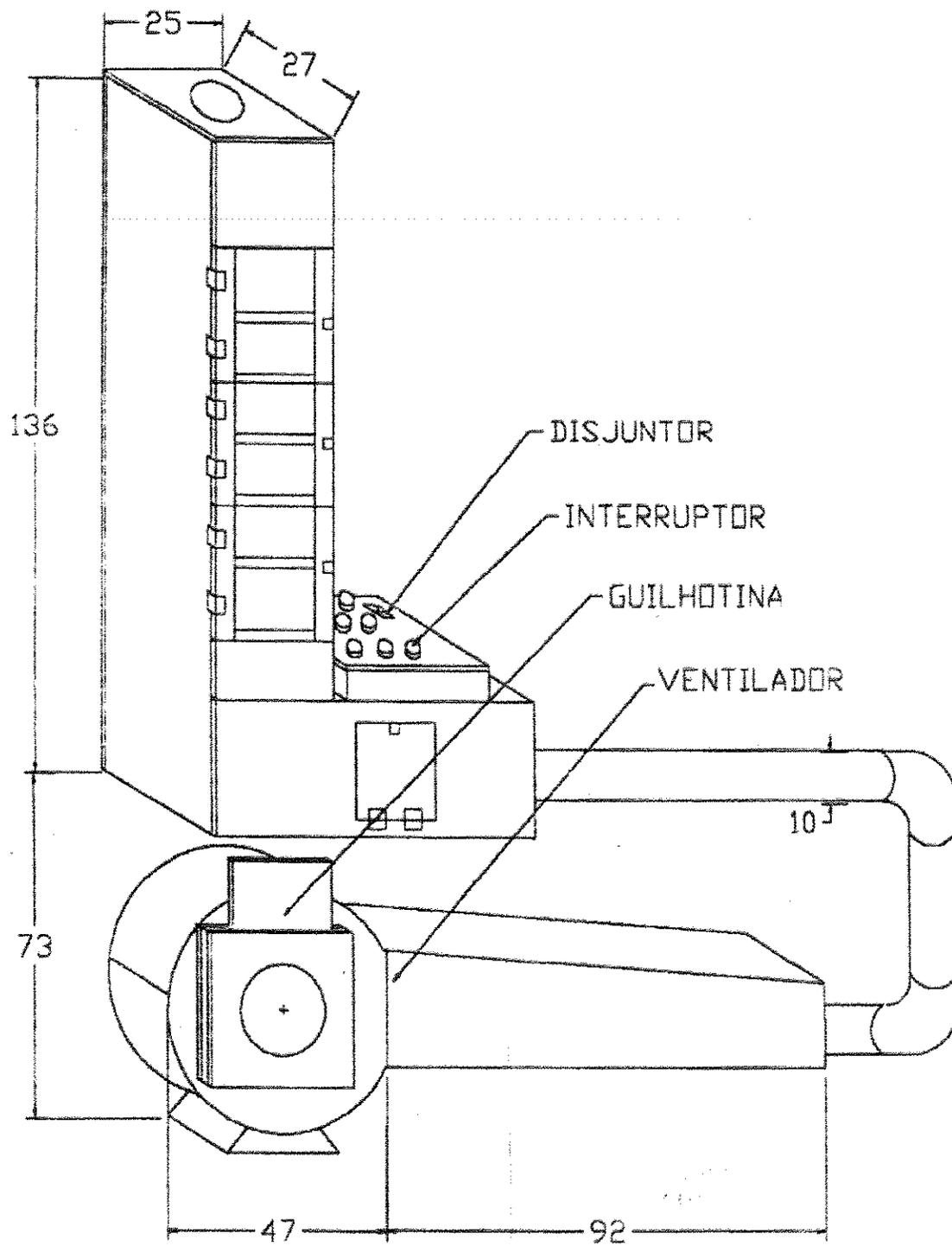


Figura 4.1 Secador

## 4.2 MÉTODOS

### 4.2.1 Umidade de equilíbrio

Com o objetivo de relacionar a umidade de equilíbrio alcançada pela maçã desidratada com a atividade da água ou pressão de vapor da água a uma temperatura constante, e observar a influência do estado da água no produto sobre as mudanças de suas propriedades de conservação, foram levantadas as isotermas de sorção de maçãs em cubo e em rodela às temperaturas de 10°C e à temperatura ambiente. Para a temperatura de 10°C, utilizou-se a estufa incubadora FANEM Mod. BOD.

Os ambientes com diversas umidades relativas foram obtidos no interior de dessecadores com soluções salinas saturadas, conforme se observa na Tabela 4.1 (O'BRIEN, 1947).

Tabela 4.1 Características das soluções saturadas e suas respectivas umidades relativas a diferentes temperaturas

Soluções	Umidade relativa (%)	
	10°C	30°C
Na OH	5	5
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	24	24
MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	33	33
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	47	-
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	-	47
NaCl	75	75
KCl	88	-
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	-	97

Para a obtenção das medidas, procedeu-se à colocação das amostras, com 3 g em média em cadinhos previamente pesados, dispondo-as, a seguir, em dessecadores a vácuo, com as soluções saturadas de umidade controlada. No início, realizaram-se pesagens das amostras diariamente, em balança analítica MARTE Mod. AL 200, depois passou-se a efetuar-las semanalmente até atingir o equilíbrio. Quando a diferença da pesagem era só na terceira casa, considerava-se atingido o equilíbrio.

Devido ao alto grau de umidade, 97% a 30°C, era comum o desenvolvimento de fungos nas amostras ocasionando a deterioração dos mesmos. Para evitar que isso acontecesse, fez-se o tratamento das amostras com solução de sorbato de potássio a 0,5%, na qual a amostra era submersa por um tempo de dois minutos; posteriormente a amostra era colocada em uma bandeja inclinada para drenar a solução excedente por um tempo de cinco minutos e, em seguida era colocada na estufa no dessecador. Atingido o equilíbrio, fazia-se a determinação da matéria seca, em estufa a 75°C até peso constante TRAVAGLINI (1979), realizaram-se experimentos similares com sorbato de potássio para a banana passa.

#### 4.2.2 Análises iniciais

**a. Proteína**, para determinar o conteúdo de proteína presente no produto, realizaram-se análises pelo método de KJELDAHL que consiste na determinação da quantidade de nitrogênio presente na maçã o resultado é multiplicado pelo fator de correção de 6,25, fornece a porcentagem de proteína na maçã.

**b. BRIX e Grau de acidez**, a medição do grau de Brix foi realizada com refratômetro utilizando o suco da fruta "*in natura*" colocado no prisma inferior do aparelho a uma temperatura de 20°C. Para a determinação do grau de acidez total, pesa-se uma quantidade conveniente da amostra (10g), mistura-se com 100 ml de água destilada e titula-se em potenciômetro até pH 8,1.

### **4.2.3 Determinação da matéria seca**

Para a determinação da umidade da maçã, as amostras foram colhidas de forma aleatória, a determinação foi feita em estufa a 75°C. Colocou-se uma amostra de peso conhecido até atingir o peso constante, calculando-se o grau de umidade através da água evaporada. Para a pesagem foi utilizada uma balança analítica MARTE com três casas decimais.

### **4.2.4 Determinação da curva de secagem**

#### **4.2.4.1 Temperatura e Velocidade do ar**

Selecionaram-se três valores de temperatura, 60, 70 e 80°C, controladas na entrada do secador para os testes de secagem. TRAVAGLINI (1979) realizou experimentos com temperaturas de 73 e 81°C para secagem de maçã e PISTONO (1965) recomendou temperaturas de 60 e 80°C.

Para a velocidade do fluxo de ar os valores selecionados foram de 0.5, 1.0 e 1.5m/s. NOGUEIRA (1991), utilizou 0,5, 1,0 e 1,5 m/s para a secagem da banana.

As leituras de velocidade eram realizadas na parte superior do secador com um anemômetro digital AIR-FLOW Mod. LCA 6000 com uma precisão de  $\pm 2\%$ . Tanto as leituras de temperatura como as de velocidade do ar foram feitas, no início do experimento, de 15 em 15 minutos durante as duas primeiras horas; nas duas horas seguintes, de 30 em 30 minutos, para, depois, realizá-las de hora em hora e, no final da secagem, voltar à medida de 15 em 15 minutos acompanhando as medidas de perda de peso. As leituras da

temperatura e umidade relativa do ambiente foram feitas de hora em hora durante a secagem, com um higrótermógrafo TH 508.

#### **4.2.4.2 Procedimento experimental**

As maçãs eram retiradas da câmara fria com duas horas de antecedência (Figura 4.2), para se permitir o equilíbrio com a temperatura ambiente. A seguir, as frutas eram descaroçadas (para retirada da parte central onde se encontram as sementes) descascadas. Todo este processo foi feito manualmente, (Figura 4.3). Os cortes em rodela, com um centímetro de espessura, e em cubo, com um centímetro e sem casca, foram os tipos utilizados neste trabalho.

Os frutos cortados eram, então, imersos em uma solução com bissulfito de sódio a 0.1%, por um minuto, para evitar a oxidação e o conseqüente escurecimento. Após a sulfitação, dispôs-se o produto, (aproximadamente 300 g), em bandejas, as quais permaneceram inclinadas para a eliminação da solução excedente; seguida à exposição de 30 minutos ao sol, a amostra foi colocada no secador, as leituras de peso foram feitas com uma balança semi-analítica SETRA com duas casas decimais no início de 15 em 15 minutos durante as duas primeiras horas: nas duas horas seguintes de 30 em 30 minutos para depois realizá-las de hora em hora até atingir o mesmo valor nas duas casas decimais. As amostras secas são vistas nas figuras 4.4 e 4.5

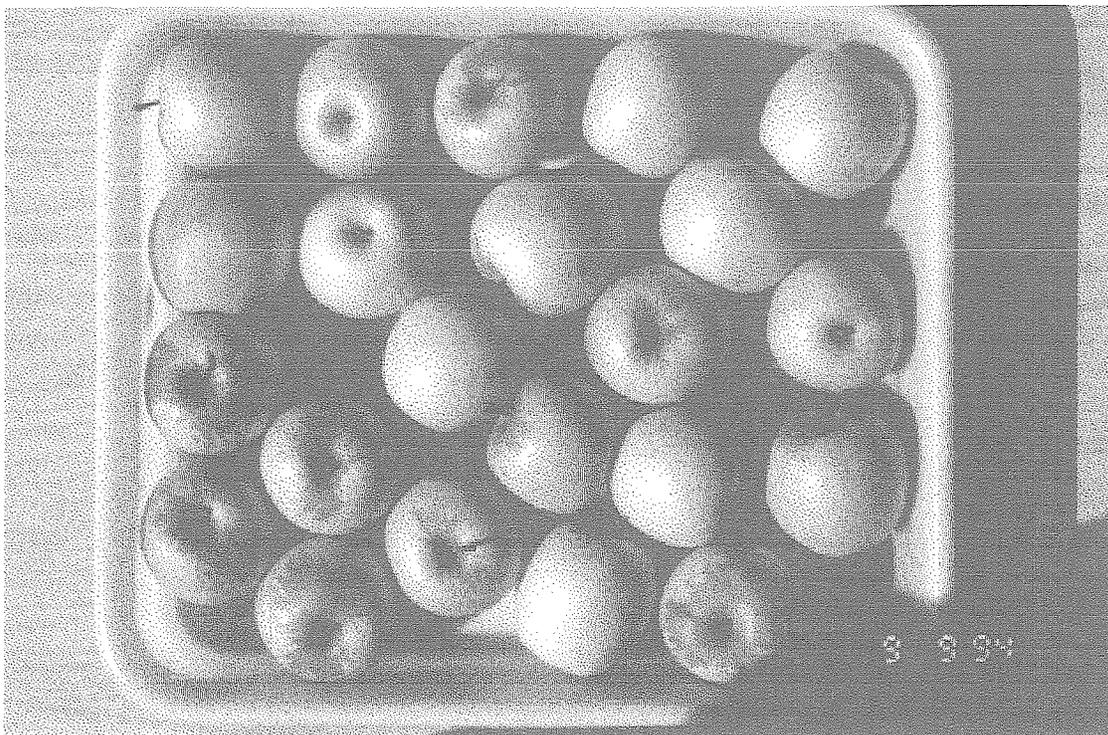


Figura 4.2 Maças retiradas da câmara fria



Figura 4.3 Cortes realizados



Figura 4.4 Maçã desidratada corte em rodela

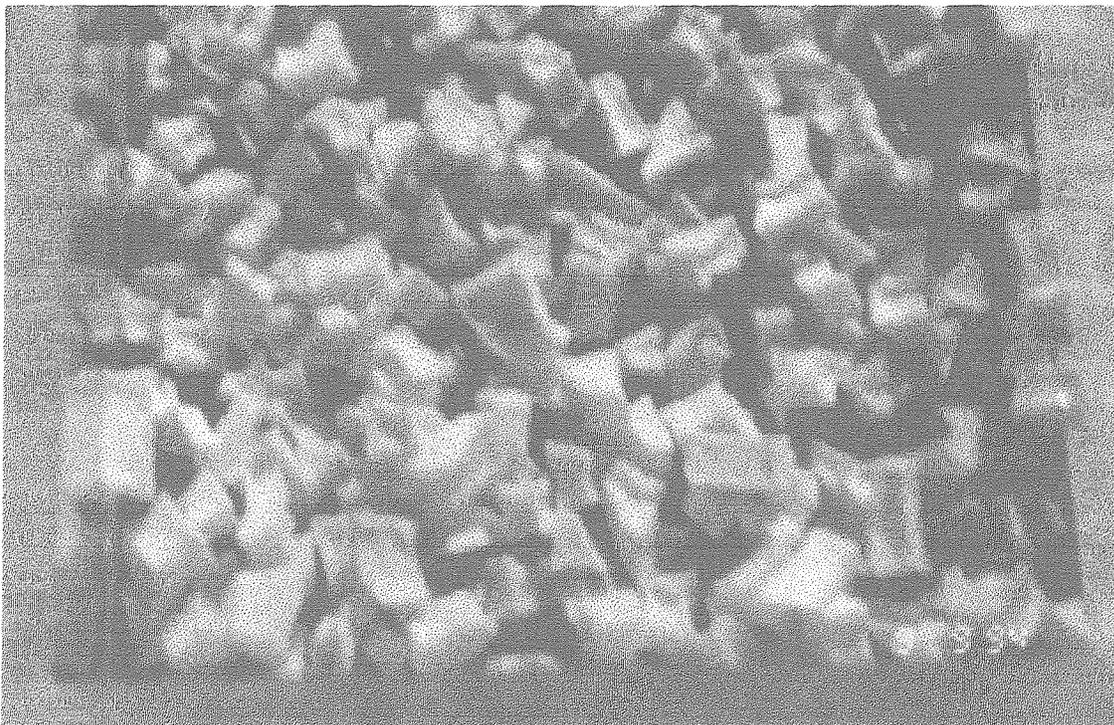


Figura 4.5 Maçã desidratada corte em cubo

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise de proteína, Grau de BRIX e acidez total;

a. A análise foi realizada no laboratório da Faculdade de Engenharia de Alimentos FEA. Na tabela 5.1, mostra-se a composição protéica da maçã logo após a secagem, os resultados são expressos em porcentagem.

Tabela 5.1 - amostra: maçã desidratada (variedade Golden).

Amostra	Repetições	Proteína %	Média	DP
Rodela 60°C	1	1,19	1,17	0,026
	2	1,18		
	3	1,14		
Rodela 70°C	1	perdida	1,15	0,021
	2	1,16		
	3	1,13		
Rodela 80°C	1	1,17	1,23	0,074
	2	1,20		
	3	1,31		
Cubos 60°C	1	1,23	1,06	0,018
	2	0,87		
	3	1,09		
Cubos 70°C	1	1,10	1,17	0,087
	2	1,27		
	3	1,15		
Cubos 80°C	1	1,10	1,10	0,025
	2	1,08		
	3	1,13		
Temperatura ambiente $\pm 30^\circ\text{C}$	1	1,53	1,51	0,021
	2	1,50		
	3	1,49		
Maçã <i>in</i> <i>natura</i>	1	1,56	1,56	0,10
	2	1,55		
	3	1,57		

DP = Desvio Padrão.

Comparando os resultados dos dados encontrados com os da literatura, observa-se que a maçã desidratada apresenta pequena redução protéica em relação à maçã "*in natura*": 1,3%, de acordo com GAVA (1984) e 1,53%, segundo FRANCO(1992) 1,5%.

A amostra desidratada ao sol à temperatura média de 30°C não sofreu diminuição em seu conteúdo protéico, tendo recebido o mesmo pré-tratamento.

b. para o grau de brix, foram tomadas amostras por triplicata e aleatoriamente do produto *in natura* para determinar o grau de brix os dados foram:

LEITURA	MEDIA	DP	CV
11,2			
11,0	11,0	0,2	1,82
10,8			

DELHOM (1985), recomenda para a maçã golden delicius de primeira qualidade, um conteúdo mínimo de açúcares, expressados no índice do refratômetro de 13.0.

c. Paea a acidez total, foram tomadas amostras por triplicata. O grau de acidez foi determinado com NaOH. Os dados:

LEITURA	MÉDIA	DP	CV
0,1750			
0,1781	0,1777	0,00017	0,045
0,1777			

Testes realizados nos laboratórios de Armazenagem e Conservação de Produtos Perecíveis da FEAGRI-UNICAMP, com maçã da mesma variedade, resultaram-se valores de 0,168.

## 5.2 Condições climáticas

Realizaram-se medições da temperatura e umidade relativa, de hora em hora, durante todo o período de secagem, considerando-se as maiores e menores leituras tanto para a temperatura como para a umidade relativa do ar ambiente.

Tabela 5.2 Condições climáticas de secagem para maçã com cortes em rodela com 1 cm de espessura e cubos de 1 cm a diferentes temperaturas 60-70-80°C e velocidades, 0,5-1,0-1,5 m/s.

TRATAMENTOS		Temperatura do ar (°C)			Umidade Relativa do ar (%)		
		máxima.	mínima.	média.	máxima.	mínima.	média.
1	C60-0,5	31	24	27.7	56	30	39.2
2	C70-0,5	30	24	26.5	66	43	53.2
3	C80-0,5	28	23	25.1	74	47	62
1	C60-1,0	24	22	22.9	76	66	70.7
2	C70-1,0	32	26	30.14	38	27	31.57
3	C80-1,0	33	21	32.7	34	30	32.2
1	C60-1,5	28	20	22.7	74	50	62.7
2	C70-1,5	30	23	25.83	76	50	60.3
3	C80-1,5	27	26	26.2	80	56	57.8
1	R60-0,5	29	24	26.08	74	38	52.9
2	R70-0,5	30	26	27.7	60	39	49.3
3	R80-0,5	26	22	24	78	60	66.5
1	R60-1,0	31	26	28.27	68	44	55.54
2	R70-1,0	34	26	30	45	22	33.55
3	R80-1,0	30	24	27.13	50	36	44.4
1	R60-1,5	30	23	25.83	76	50	60.3
2	R70-1,5	28	20	22.7	74	50	62.7
3	R80-1,5	19	26	22	76	56	67
MÉDIA		24,61	28,5	25,33	64,16	44,11	64,5
DP		3,64	3,03	4,16	14,18	12,05	3,53

Efetuou-se o experimento em dias com condições climáticas variáveis. Os dias se iniciavam, geralmente, com baixa temperatura e alta UR, podendo mudar rapidamente, em seu transcorrer, de alta UR (80%) para baixa UR (40%), em função da época do ano, no caso, o mês de setembro.

Na Tabela 5.3 apresentam-se os dados da temperatura de saída do secador, assim como a umidade relativa dentro do mesmo no momento da secagem.

Tabela 5.3 Condições de temperatura e UR do secador para a secagem da maçã com cortes em rodela de 1 cm de espessura e cubos de 1 cm a diferentes temperaturas 60-70-80°C, velocidades, 0,5-1,0-1,5 m/s.

TRATAMENTOS		Temperatura do ar de saída (°C)			Umidade Relativa do ar (%)		
		máxima.	mínima.	média.	máxima.	mínima.	média.
1	C60-0,5	44	27	39.5	108	26.74	44.81
2	C70-0,5	55	29	40	116.26	18.38	45.69
3	C80-0,5	53	31	46.4	117.53	25.70	49.98
1	C60-1,0	44	35	41.6	70.23	32.96	41.85
2	C70-1,0	54	47	51.9	28.32	15.86	20.28
3	C80-1,0	58	46	52.5	39.02	17.16	27.75
1	C60-1,5	52	46	50	27.37	16.98	20.57
2	C70-1,5	55	45	50.5	37.97	19.88	27.52
3	C80-1,5	57	52	56	29.14	20.44	22.50
1	R60-0,5	43	25	35.3	141.87	32.59	66.96
2	R70-0,5	46	33	40.4	79.62	39.06	53.23
3	R80-0,5	53	32	44.9	109.46	27.34	54.05
1	R60-1,0	49	42	45.3	43.24	25.05	33.43
2	R70-1,0	54	34	49.2	73.59	15.39	27.67
3	R80-1,0	63	49	58.1	30.98	12.39	18.43
1	R60-1,5	55	45	50.5	31.27	15.79	22.36
2	R70-1,5	52	46	50	33.74	22.03	25.82
3	R80-1,5	57	52	53.9	27.34	20.44	24.32
MÉDIA		52.44	39.78	45.56	63.05	22.45	34.84
DP		5.39	8.90	6.28	39.56	7.18	14.50

Pode-se observar que a UR no interior do secador para a secagem com velocidades de ar a 0,5 m/s foram as mais altas.

### 5.3 Umidade de equilíbrio

Os resultados experimentais do conteúdo de umidade de equilíbrio, às temperaturas de 10 e 30°C, para as maçãs secas em rodela e em cubos, encontram-se na tabela 5.4 e nas figuras 5.1 a 5.8

A análise de regressão linear para o modelo de BET em faixas de atividade de água entre 0,05 a 0,88 e 0,05 a 0,75 para 10 e 30°C respectivamente, não apresentou

resultados satisfatórios. A equação de GAB também não apresentou um ajuste. Pôde-se ajustar as curvas apenas na faixa de atividade de água  $< 0.50$ , conforme previsto pelas revisões.

Os valores dos parâmetros XM e C da equação de BET são mostrados na tabela 5.5 e as figuras, 5.9 a 5.20.

Tabela 5.4 Valores experimentais de umidade de equilíbrio (Xe) para dessorção de água em amostras da maçã a 10 e 30 °C

Corte Rodela				Corte Cubo			
10°C		30°C		10°C		30°C	
UR	Xe	UR	Xe	UR	Xe	UR	Xe
5	0,62	5	0,36	5	0,68	5	0,42
24	2,29	24	6,53	24	3,77	24	6,99
33	5,75	33	8,82	33	7,97	33	8,54
47	8,64	47	28,19	47	10,12	47	28,03
75	41,12	75	91,05	75	42,98	75	90,71
88	73,64	-	-	88	74,04	-	-

Tabela 5.5 Parâmetros calculados pela equação linearizada de BET para a maçã corte rodela e cubo para uma atividade de água de 0,05 e 0,47.

T (°C)	Parâmetros da equação de BET			
	XM	EP	C	EP
Corte Rodela				
10	10,1085	0,81	0,9713	0,31
30	11,3803	0,49	2,9171	0,24
Corte Cubos				
10	8,21788	0,77	2,3062	0,33
	11,1315	0,57	2,3296	0,34

EP = Erro Padrão

Para a curva de dessorção da cebola, MAZZA & LeMAGUER (1978), encontraram os seguintes valores: 6,67, 6,20 e 4,71 para XM e 3,95, 3,28 e 2,89 para C, respectivamente, às temperaturas de 10, 30 e 45°C.

Os valores obtidos neste trabalho apresentam somente um indicador de magnitude, demonstrando a fragilidade da equação de BET no presente caso. O conteúdo de umidade da monocamada deveria diminuir com a elevação de temperatura.

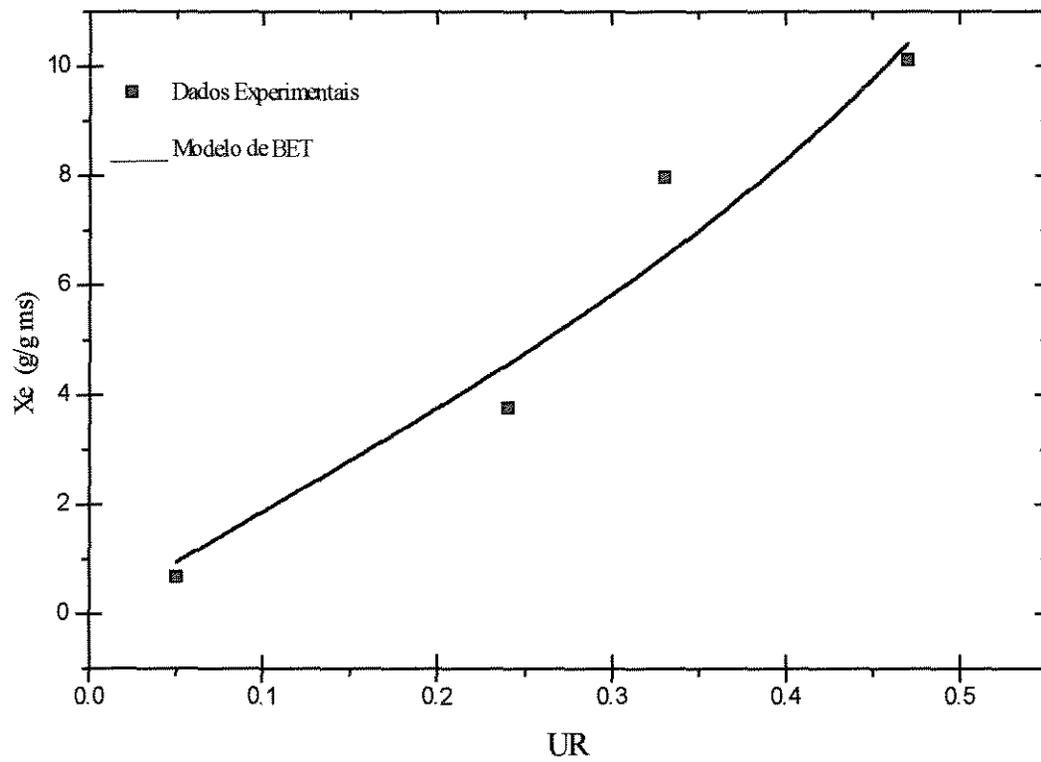


Figura 5.1 Isoterma de desorção para 10°C, ajustada pelo modelo de BET para AW < 0,50

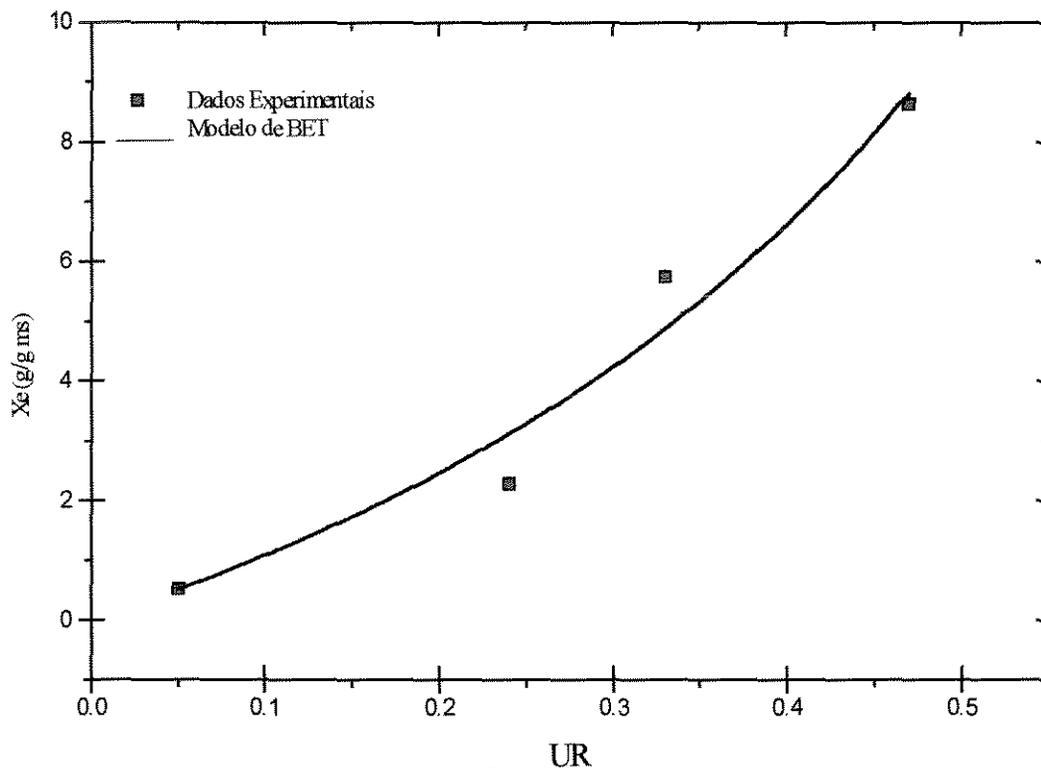


Figura 5.2 Isotherma de dessorção para 10°C, ajustada pelo modelo de BET para AW < 0,50

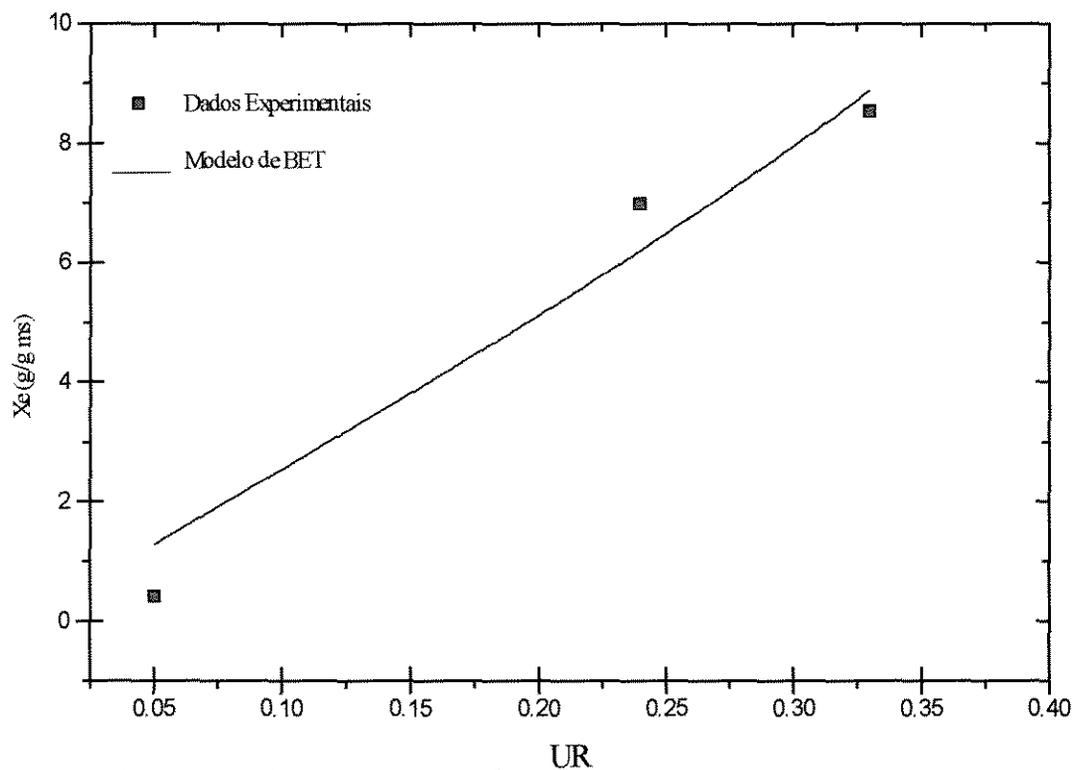


Figura A.3 Isotherma de dessorção para 30 °C, ajustada pelo modelo de BET para AW < 0,40

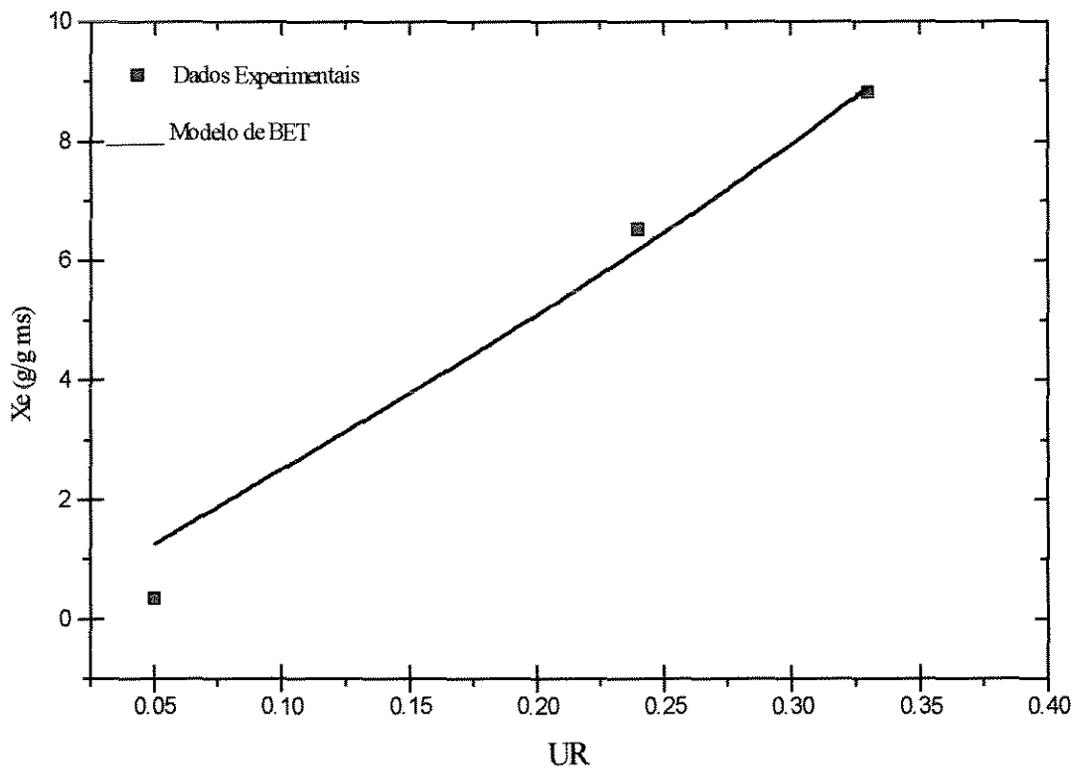


Figura 5.4 Isoterma de dessorção para 30°C, ajustada pelo modelo de BET para  $AW < 0,40$

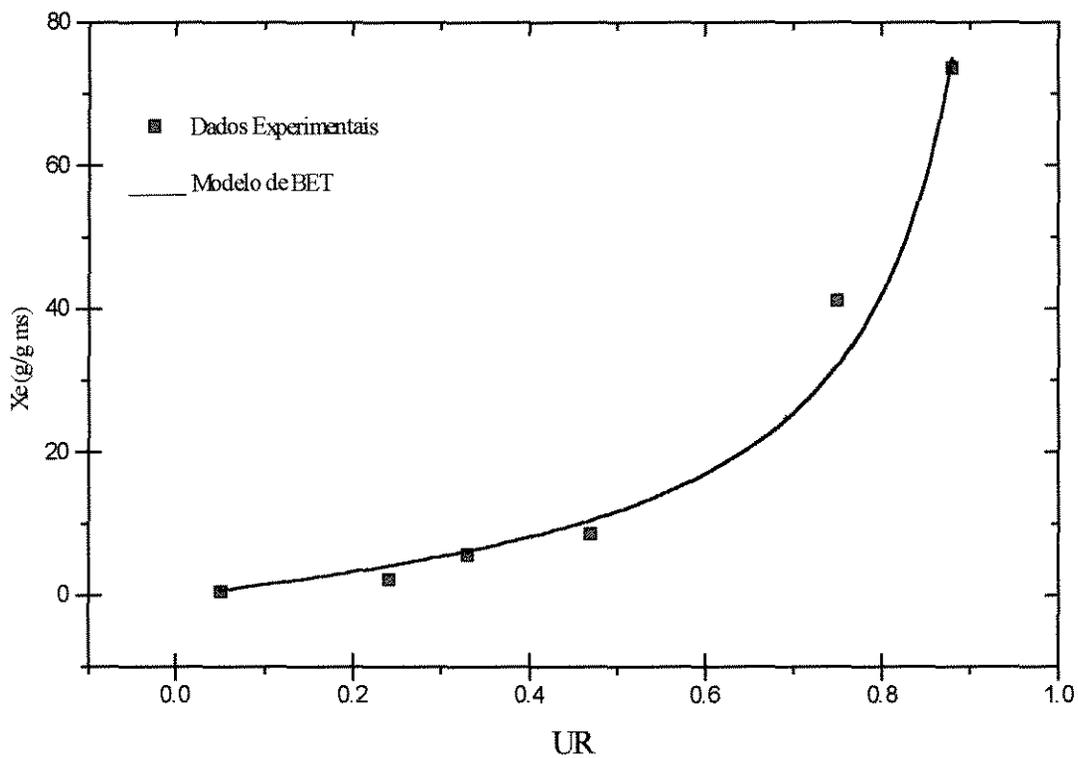


Figura 5.5 Ajuste isoterma para 10°C pelo modelo de BET para  $AW$  0,05 a 0,88

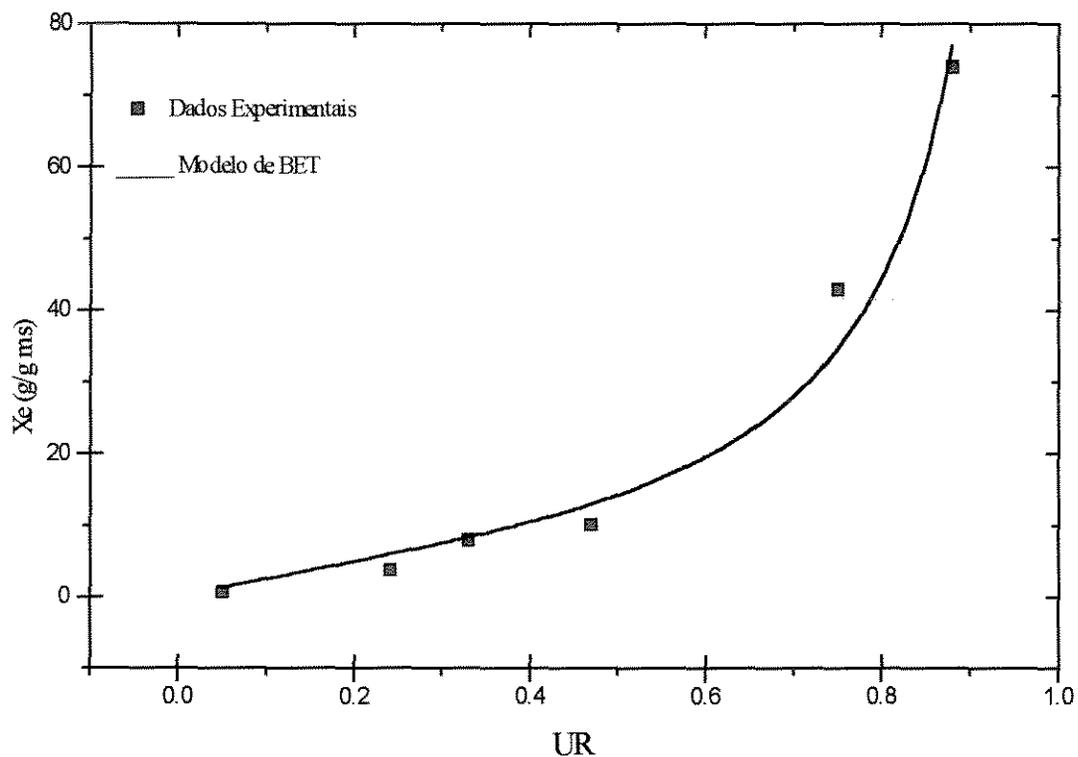


Figura 5.6 Ajuste isoterma para 10°C pelo modelo de BET para AW 0,05 a 0,88

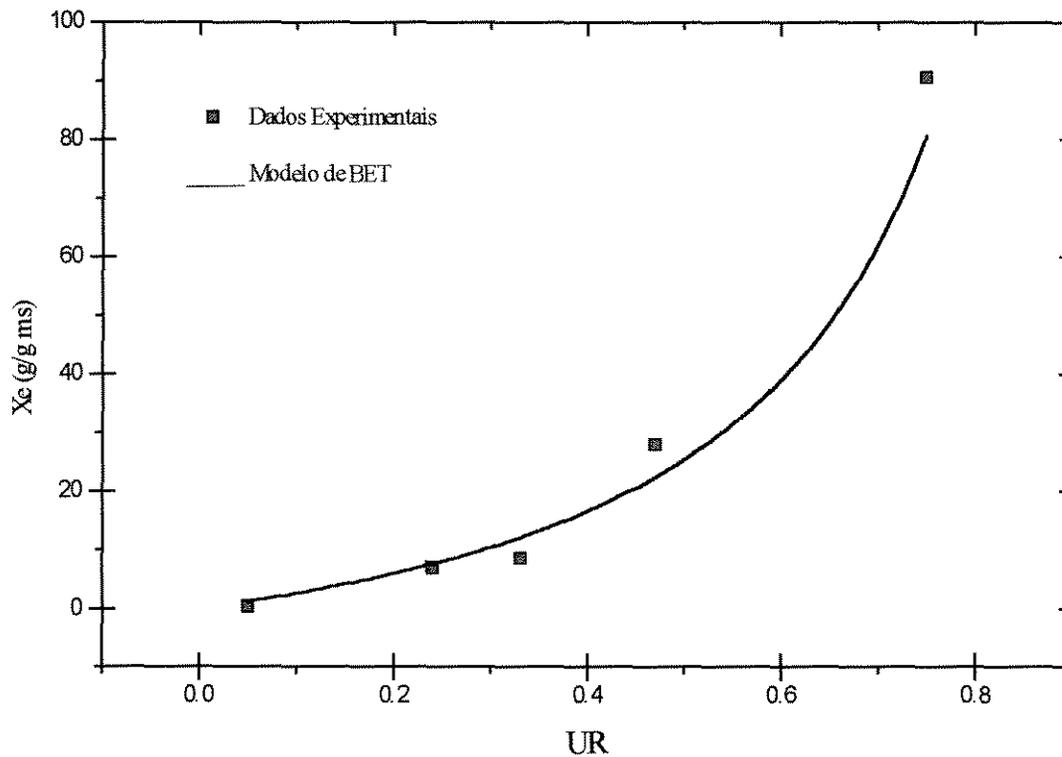


Figura 5.7 Ajuste isoterma para 30°C pelo modelo de BET para AW 0,05 a 0,75

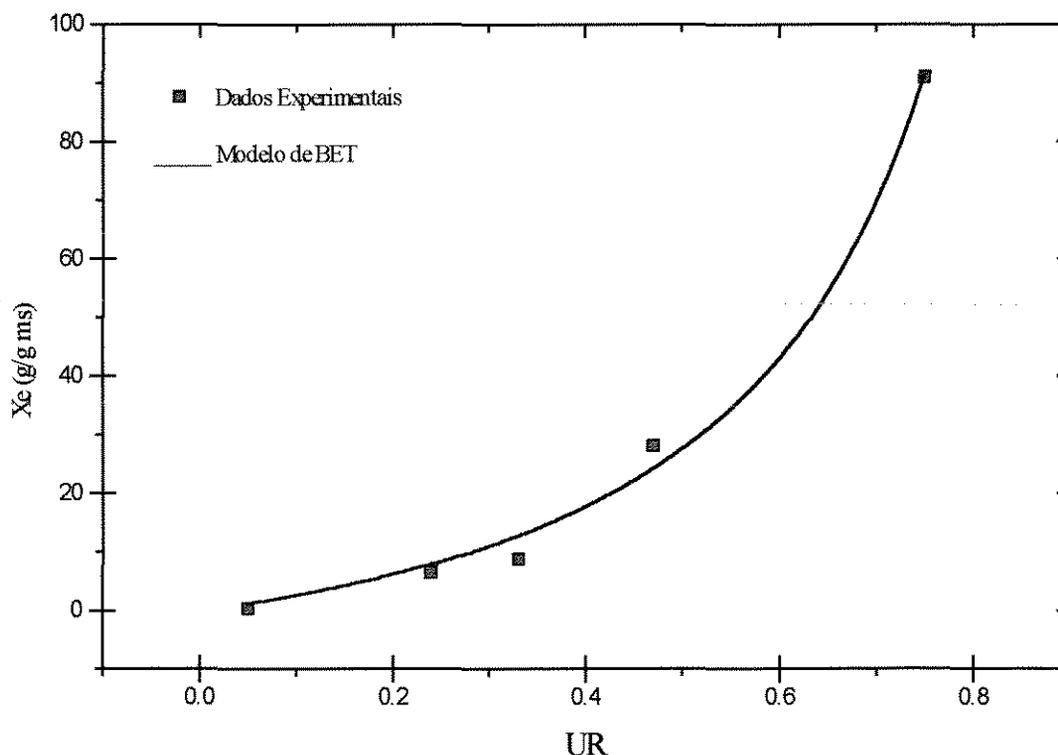


Figura 5.8 Ajuste isoterma para 30°C pelo modelo de BET para AW 0,05 a 0,75.

Utilizando os dados experimentais de adsorção, estimou-se o coeficiente de adsorção sugerido por BORGES & VIDAL (1994), conforme as figuras . Os coeficientes de adsorção calculados constam da tabela 5.6.

No presente trabalho, o coeficiente apresentou pouca correlação com o aumento de umidade relativa, mesmo com o aumento da temperatura.

Tabela 5.5 Coeficientes de adsorção para as diferentes umidades relativas a 10 e 30°C

UR	Temperatura ( °C )			
	Corte Rodela		Corte Cubo	
	10	30	10	30
5	0,4452	0,4918	0,3225	0,3613
24	0,4514	0,4474	0,4497	0,3939
33	0,2763	0,2750	0,1335	0,1703
47	0,2626	0,4304	0,2626	0,3642
75	0,4243	0,2860	0,4243	0,2188
88	0,4909	-	0,2554	-

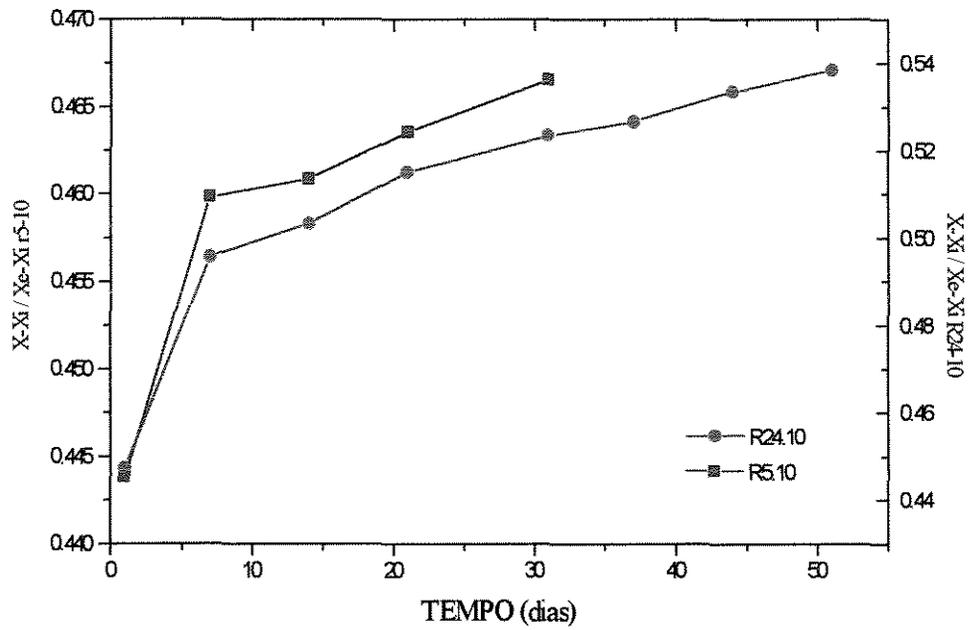


FIGURA 5.9 curva de adsorção de umidade para a maçã corte rodela a 5 e 24% de umidade e 10°C

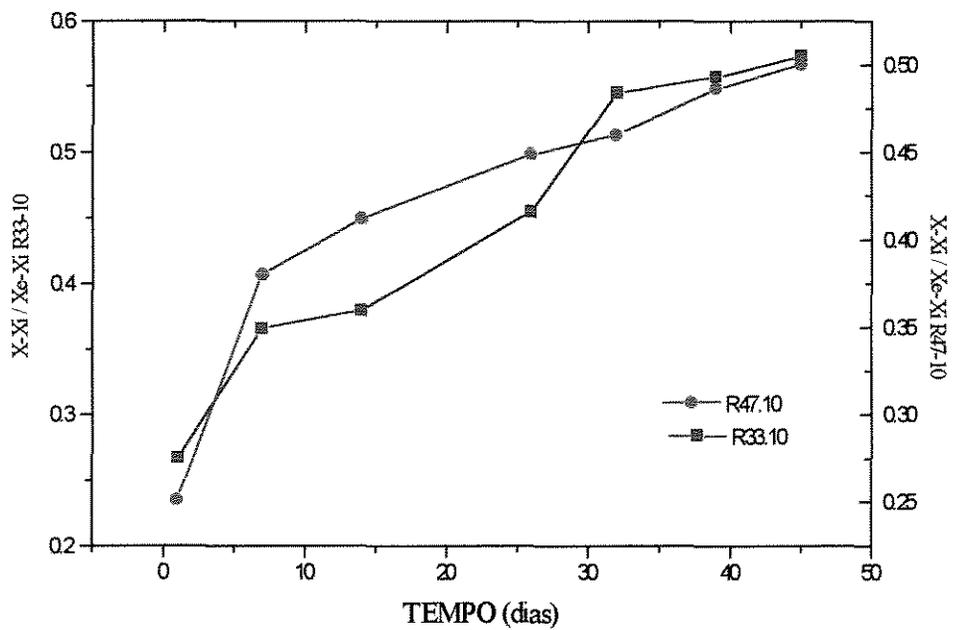


FIGURA 5.10 curva de adsorção de umidade para a maçã corte rodela a 33 e 47% de umidade e 10°C

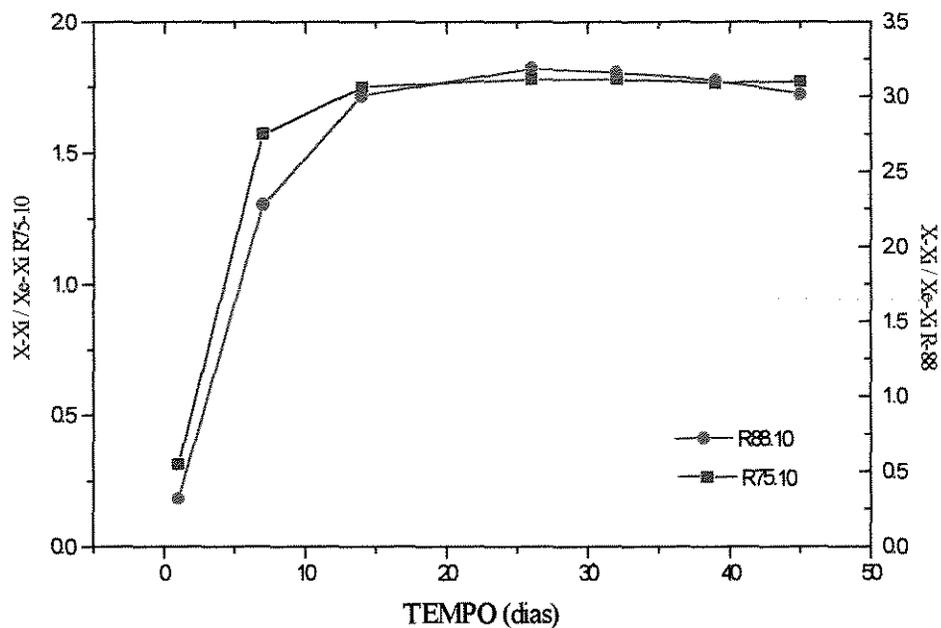


FIGURA 5.11 curva de adsorção de umidade para a maçã corte rodela a 75 e 88% de umidade e 10°C

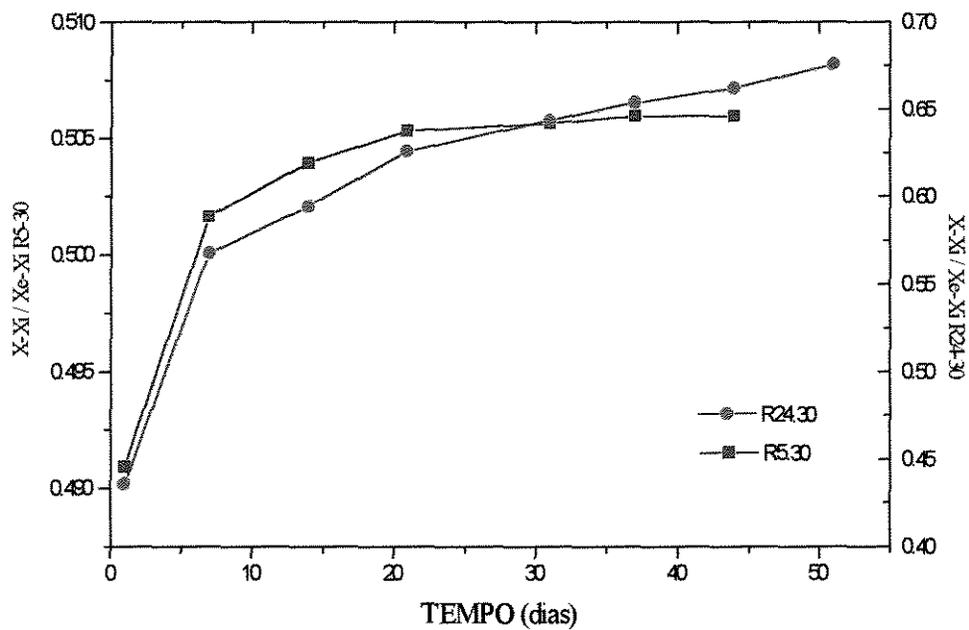


FIGURA 5.12 curva de adsorção de umidade para a maçã corte rodela a 5 e 24% de umidade e 30°C

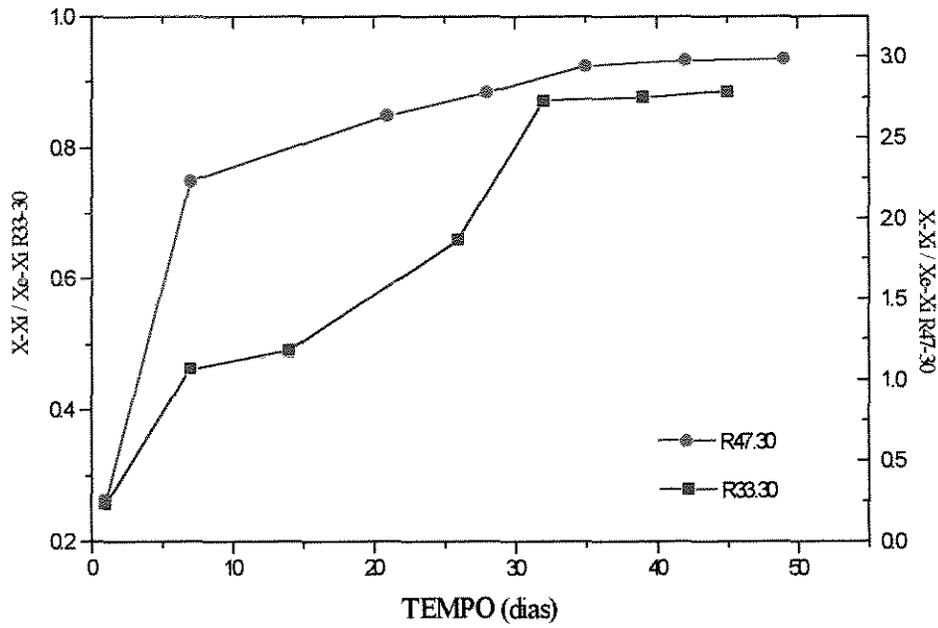


FIGURA 5.13 curva de adsorção de umidade para a maçã corte rodela a 33 e 47% de umidade e 30°C

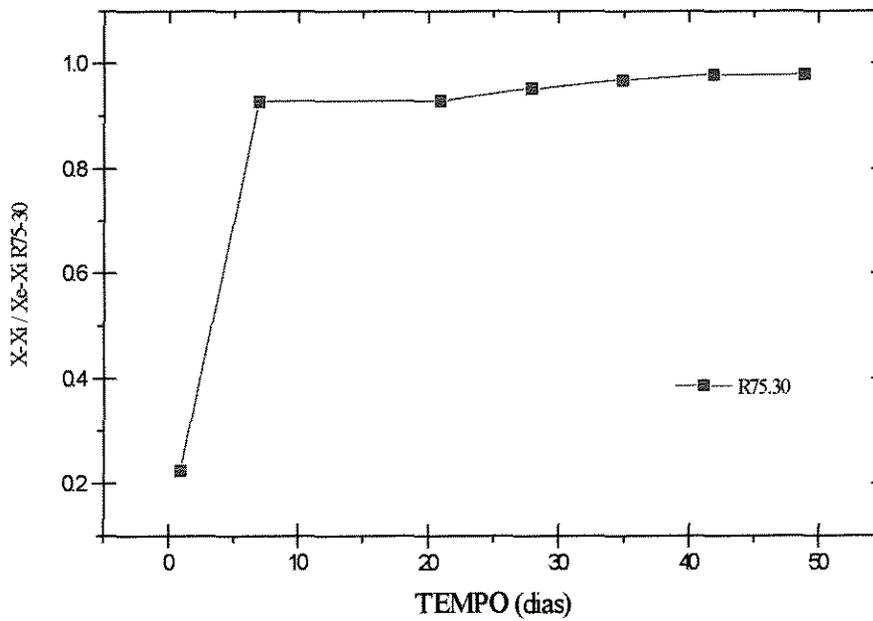


FIGURA 5.14 curva de adsorção de umidade para a maçã corte rodela a 75% de umidade e 30°C

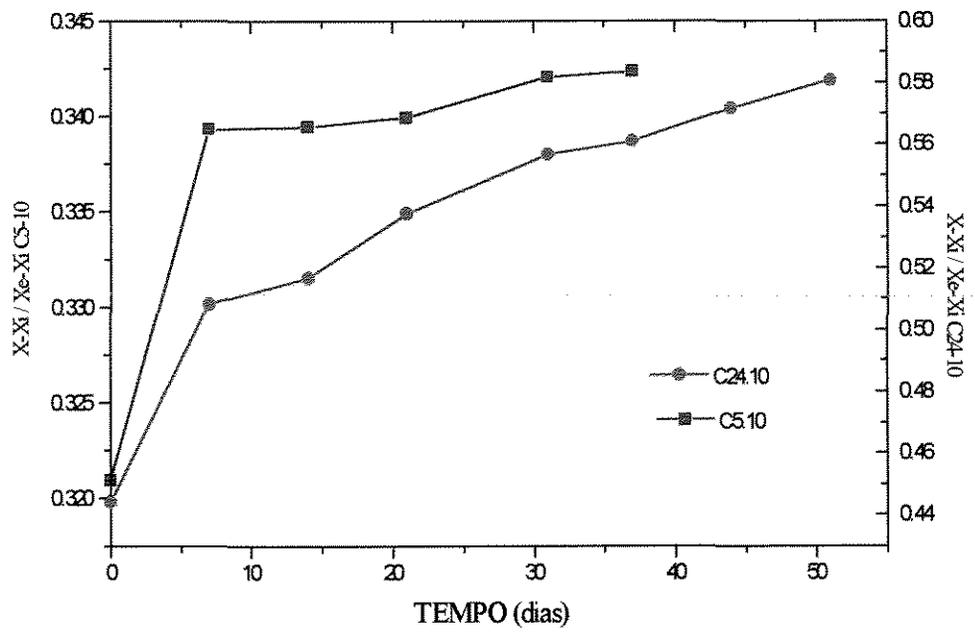


FIGURA 5.15 curva de adsorção de umidade para a maçã corte cubo a 5 e 24% de umidade e 10°C

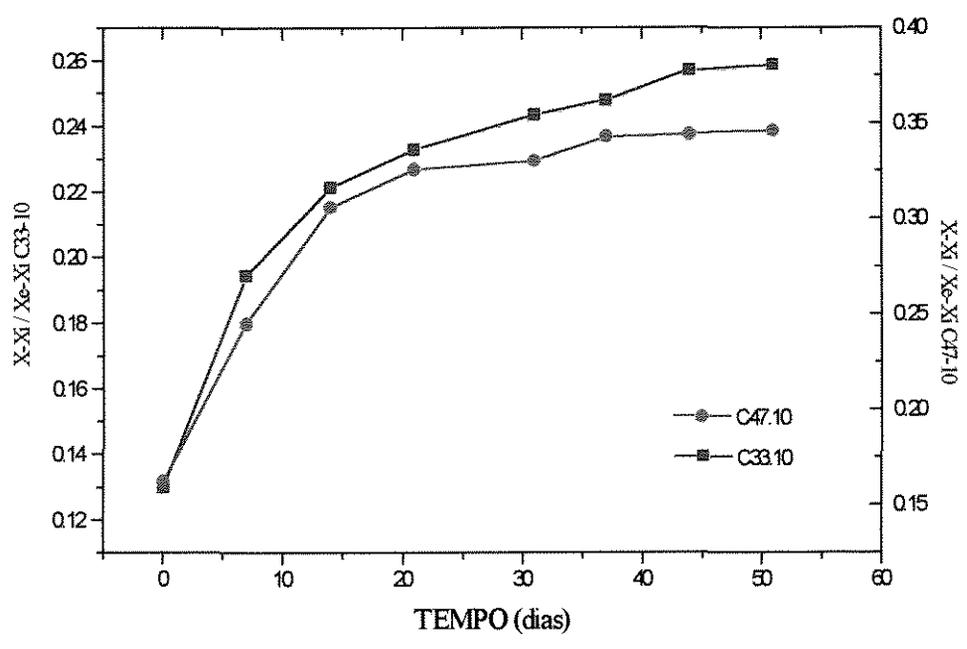


FIGURA 5.15 curva de adsorção de umidade para a maçã corte cubo a 33 e 47% de umidade e 10°C

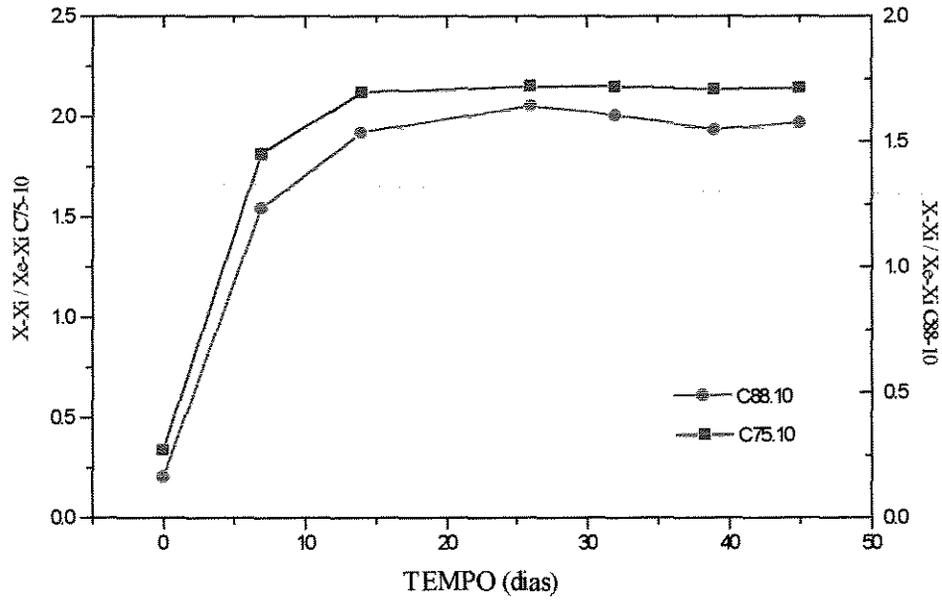


FIGURA 5.16 curva de adsorção de umidade para a maçã corte cubo a 75 e 88% de umidade e 10°C

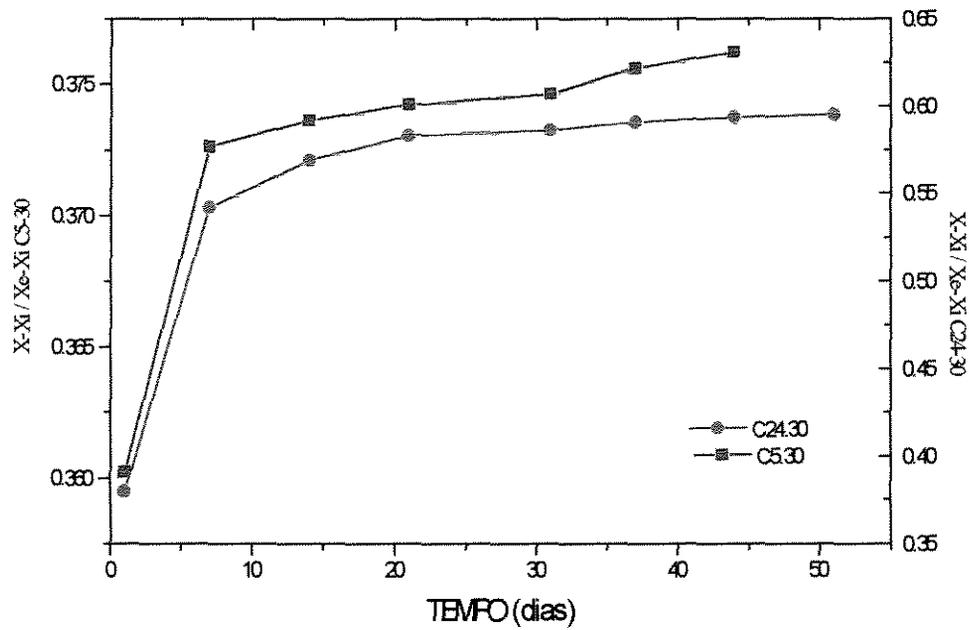


FIGURA 5.17 curva de adsorção de umidade para a maçã corte cubo a 5 e 24% de umidade e 30°C

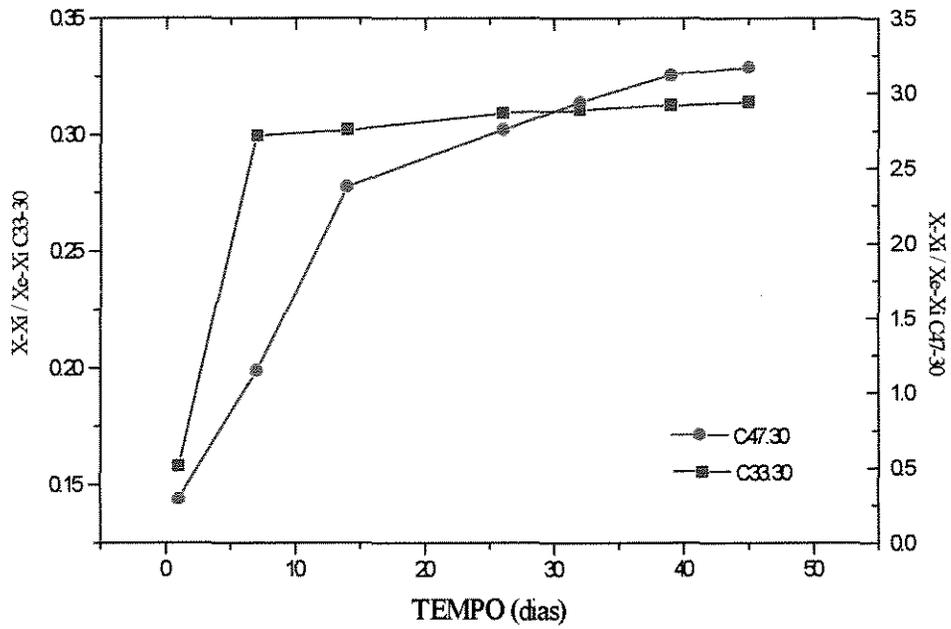


FIGURA 5.18 curva de adsorção de umidade para a maçã corte cubo a 33 e 47% de umidade e 30°C

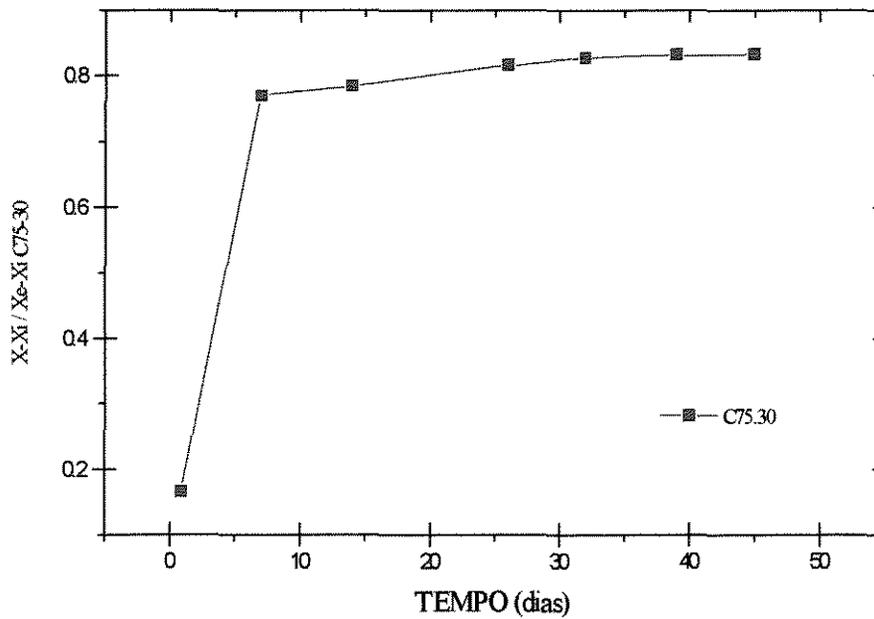


FIGURA 5.18 curva de adsorção de umidade para a maçã corte cubo a 75% de umidade e 30°C

## 5.4 Modelo Difusional

Analisou-se o processo de secagem segundo a teoria difusional, onde um parâmetro importante a ser determinado é a difusividade efetiva. Para determinar tal difusividade, fez-se uso da equação (5), com base na segunda lei de FICK que admite a hipótese de não haver encolhimento do material durante o processo de secagem.

Apresentam-se os dados experimentais de secagem nas tabelas do anexo A, as quais mostram os valores experimentais  $X(\text{gH}_2\text{O/gms})$  e  $X-X_e/X_0-X_e$ .

Com os dados obtidos, realizou-se uma regressão não linear, trabalhando com a série de Fourier para  $n=1$ ,  $n=3$  e  $n=5$ . Os valores para os tratamentos em corte rodela são mostrados na tabela 5.7.

Tabela 5.7 Valores da difusividade efetiva para a maçã corte rodela para  $n=1$ ,  $n=3$ ,  $n=5$  e  $n=10$  a partir do ajuste das curvas de secagem da maçã variedade Golden.

		DIFUSIVIDADE (DPA) ( $10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )					
T°C	V( $\text{ms}^{-1}$ )	1 TERMO		3 TERMOS		5 TERMOS	
		D	$\Delta D$	D	$\Delta D$	D	$\Delta D$
60	0,5	5,5565	0,2749	2,6567	0,1707	2,6567	0,1692
	1,0	3,6339	0,1977	3,6312	0,1780	3,6312	0,1745
	1,5	2,6597	0,1844	4,4842	0,2039	4,4841	0,1993
70	0,5	4,4874	0,2257	3,1842	0,2760	3,1842	0,2745
	1,0	4,8640	0,2507	4,8625	0,2301	4,8625	0,2262
	1,5	3,1856	0,2844	5,5552	0,2484	5,5555	0,2432
80	0,5	6,3985	0,4374	4,0463	0,3118	4,0463	0,3099
	1,0	5,2111	0,2173	5,2103	0,1880	5,2103	0,1821
	1,5	4,0410	0,3240	6,3955	0,4130	6,3955	0,4084

Tabela 5.8 Porcentagem de erro relativo em relação ao valor da difusividade efetiva, estimada pelo modelo difusional.

T (°C)	V (ms <sup>-1</sup> )	1 TERMO	3 TERMOS (%)	5 TERMOS
60	0,5	4,94	6,427	6,368
	1,0	5,44	4,904	4,808
	1,5	6,81	4,547	4,458
70	0,5	5,031	8,668	8,620
	1,0	4,155	4,733	4,652
	1,5	8,928	4,472	4,378
80	0,5	6,836	7,706	7,659
	1,0	4,171	3,609	3,495
	1,5	7,998	4,457	6,385

Analisando os valores dos modelos n=1, n=3, n=5 e, amostrados na tabela 5.7, pode se observar que o modelo n=5 termos apresentou o melhor ajuste para o corte em rodela.

A porcentagem de erro para n=1 termos é 6,15% em média, sendo de 0,5% a diferença em relação ao modelo de n=5 termos.

Para melhor avaliar os resultados das análises descritas nas tabelas 5.6 e 5.7, expõem-se nas tabelas 5.8 e 5.9 e nas figuras 5.19 e 5.20, os valores de difusividade em relação à variação de temperatura e à variação da velocidade, utilizando-se para tanto, a seguinte equação:

$$\% \text{ incremento da } D_i = \frac{D_{i2} - D_{i1}}{D_{i1}} \times 100$$

onde:

$D_i$  = variação no valor da difusividade em função da variável (velocidade ou temperatura)

$D_{i1}$  = valor da difusividade correspondente à menor variável.

$D_{i2}$  = valor da difusividade correspondente à maior variável.

Tabela 5.8 Variação porcentual no valor da difusividade efetiva em função da temperatura do ar de secagem

V (m/s)	temperatura (°C)		
	60 - 70	70 - 80	60 - 80
0.5	19,85	27,07	52,30
1.0	33,90	7,15	43,48
1.5	23,89	15,12	42,62

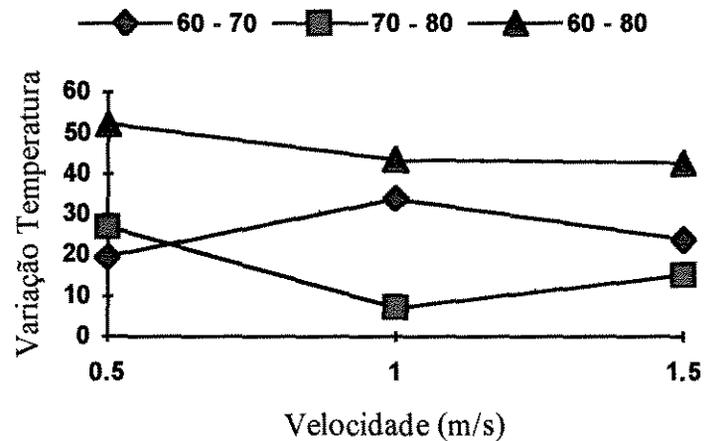


Figura 5.19 Variação porcentual da difusividade efetiva em função da temperatura

Analisando os valores da difusividade referentes à temperatura para cada velocidade de ar, pode-se verificar que esta última é sensível às mudanças de temperatura, elevando-se à medida em que a temperatura aumenta.

Tabela 5.9 Variação porcentual no valor da difusividade efetiva em função da velocidade do ar de secagem

T (°C)	velocidade (m/s)		
	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	0,5 - 1,5
60	36,68	23,49	68,78
70	52,70	14,25	74,47
80	28,76	22,74	58,05

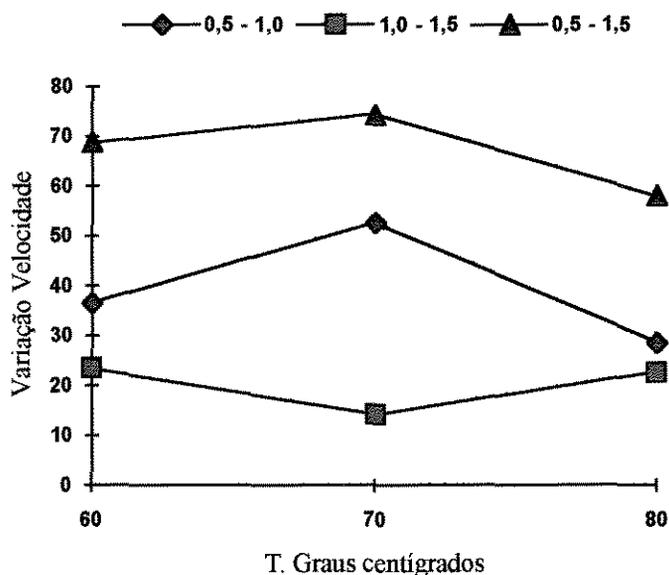


Figura 20 Variação porcentual difusividade efetiva em função da velocidade do ar

Quanto à tabela 5.8, observa-se que para 0,5 m/s o incremento da difusividade de 60 - 70°C em relação a 70 - 80°C foi maior em 1,36, e para 60 - 80°C em relação a 60 - 70 °C, 2,63 vezes maior. Observa-se menor acréscimo na temperatura de 60-70°C em relação a 70 - 80°C, analogamente para 1,5 m/s, de 70 - 80°C em relação a 60-70°C, o incremento da difusividade foi maior em 1,58.

O maior incremento ocorreu para a temperatura de 60 - 80°C na velocidade de 0,5 m/s e o maior incremento se deu quando a temperatura passa de 70 - 80°C com 1,0 m/s e 1,5 m/s de velocidade. Assim, a tabela demonstra que a influência da velocidade do ar é mais acentuada para baixa temperatura.

Na tabela 5.9, pode-se observar que para 60°C, quando a velocidade muda de 1,0 m/s para 1,5 m/s, ocorre uma diminuição de 1,56 vezes em comparação a 0,5 - 1 m/s e 2,92 vezes maior em relação a 0,5 - 1,5 m/s. Observa-se que os maiores incrementos de difusividade ocorrem quando a velocidade passa de 0,5 - 1,5 m/s, nas três temperaturas, sendo o maior de 0,5 para 1,5 m/s a 70°C. Nas velocidades de 0,5 - 1,0 m/s e 1,0 - 1,5 m/s, o incremento foi mínimo a 80°C. O maior incremento foi de 1,0 m/s para 1,5 m/s a 70°C, que foi 3,7 vezes menor em comparação ao de 0,5 m/s para 1,5 m/s a 70°C, e 5,22 vezes menor ao de 0,5 m/s para 1,5 m/s a 70°C. Esta tabela confirma a maior influência da velocidade do ar para temperaturas baixas.

Realizou-se processo similar para comparar os dados de difusividade para a secagem de maçã, corte em cubo. Nas tabelas 4, 5 e 6, do anexo A, encontram-se os dados experimentais de secagem em função da matéria seca da maçã *versus* tempo.

Efetou-se também, uma regressão linear trabalhando com a série de Fourier para  $n=1$ ,  $n=3$  e  $n=5$  termos. Os valores estimados da difusividade efetiva para cada condição experimental são apresentados na tabela 5.10.

Tabela 5.10 Valores da difusividade efetiva para a maçã corte cubo para n=1, n=3, n=5, n=10, a partir do ajuste das curvas de secagem da maçã variedade Golden

		DIFUSIVIDADE (DPA) ( $10^{10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ )					
T <sup>o</sup> C	V(ms <sup>-1</sup> )	1 TERMO		3 TERMOS		5 TERMOS	
		D	ΔD	D	ΔD	D	ΔD
60	0,5	8,0968	0,3548	8,0960	0,2929	6,9540	0,3423
	1,0	7,6279	0,3730	7,6265	0,3290	6,2140	0,3772
	1,5	11,1445	0,5328	11,142	0,4317	5,3666	0,8008
70	0,5	8,0603	0,4906	8,0594	0,4482	6,9450	0,3423
	1,0	13,5100	0,5613	13,510	0,3726	9,8388	0,7786
	1,5	11,1653	0,5736	11,169	0,4997	7,3791	0,7494
80	0,5	10,3173	0,9811	10,312	0,9244	9,0820	0,8425
	1,0	15,0608	0,7161	15,067	0,5173	12,4280	0,6894
	1,5	12,3216	0,9211	12,322	0,8323	11,8066	0,7803

Tabela 5.11 Porcentagem de erro em relação ao valor da difusividade efetiva, estimada pelo modelo difusional

T (°C)	V (ms <sup>-1</sup> )	1 TERMO	3 TERMOS	5 TERMOS
			(%)	
60	0,5	4,382	3,618	4,929
	1,0	4,890	4,315	6,071
	1,5	4,781	3,874	14,922
70	0,5	6,087	5,561	6,380
	1,0	4,154	2,758	7,914
	1,5	4,137	4,476	10,156
80	0,5	9,509	8,960	9,277
	1,0	4,754	3,435	5,547
	1,5	7,471	6,755	6,609

De acordo com a tabela 5.10, verifica-se que o modelo mais bem ajustado foi o de três termos para o corte em cubos.

Os valores de difusividade para n=1 e n=3 termos assemelham-se, já para n=5 termos, o valor da difusividade tende a decrescer.

A porcentagem de erro para  $n=1$  termo é, 5,69% em média, sendo 0,83% a mais com relação a  $n=3$  termos que foi 4,86%, com  $n=5$  termos a porcentagem é 5,65%.

Nas tabelas 5.12 e 5.13, observa-se que, quando a temperatura passa de 60°C para 70°C a 0,5m/s, ocorre um decréscimo na difusividade de -0,45 e quando a temperatura é elevada de 70°C para 80°C o incremento é 62,2 vezes maior, diminuindo quando passa de 60°C para 80°C.

Tabela 5.12 Variação percentual no valor da difusividade efetiva em função da temperatura do ar de secagem

V (m/s)	temperatura (°C)		
	60 - 70	70 - 80	60 - 80
0,5	-0,45	28	27,42
1,0	77,14	11,48	97,47
1,5	0,19	10,36	10,56

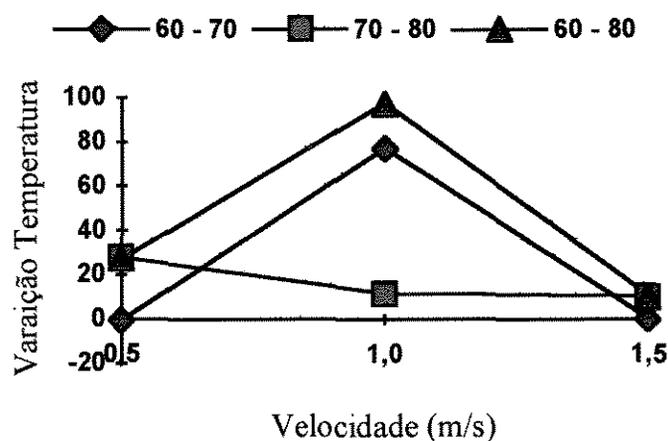


Figura 21 Variação percentual da difusividade em função da temperatura do ar

Tabela 5.13 Variação percentual no valor da difusividade em função da velocidade do ar de secagem

T (°C)	velocidade (m/s)		
	0,5 - 1,0	1,0 - 1,5	0,5 - 1,5
60	-5,79	46,10	37,64
70	67,61	-13,35	38,52
80	45,97	-18,18	19,42

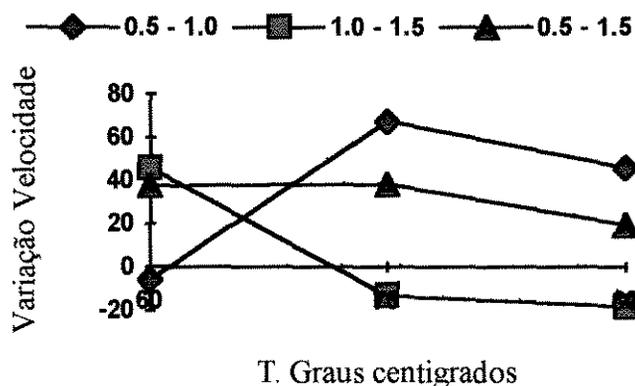


Figura 22 Variação percentual da difusividade em função da velocidade do ar

Analisando a tabela 5.12 para a variação de temperatura de 70°C para 80°C a 1,0 m/s, nota-se que a difusividade decresce em comparação à difusividade de 60°C para 70°C que é 6,72 vezes maior. Quando a temperatura passa de 60°C para 80°C, também a 1,0 m/s, a difusividade é 8,5 vezes maior que a de 70°C para 80°C na mesma velocidade. Na temperatura de 60°C para 70°C a 1,5m/s, observa-se forte incremento em relação à de 70°C para 80°C na mesma velocidade: 54,5 vezes maior. O incremento praticamente não diferiu quando a temperatura passa de 70°C para 80°C e de 60°C para 80 °C. Os dois maiores incrementos foram observados na velocidade de 1,0 m/s quando a temperatura passa de 60°C para 70°C e de 60°C para 80°C.

Quanto à tabela 5.13, observa-se que na temperatura de 60°C, quando a velocidade do ar muda de 0,5 m/s para 1,0 m/s, o incremento diminui. O mesmo acontece

à temperatura de 70°C na velocidade de 1.0 m/s para 1.5 m/s e à de 80°C com 1,0 m/s sendo este o menor incremento. O maior incremento de difusividade é observado na temperatura de 70°C quando a velocidade passa de 0,5 m/s para 1,0 m/s.

Com o aumento da velocidade de 0,5 m/s para 1,0 m/s 60°C o incremento da difusividade é 171,42 vezes menor que à temperatura de 70°C e 2,36 vezes menor que à temperatura de 80°C. Quando a velocidade passa de 0,5 m/s para 1,5 m/s, o incremento na difusividade praticamente não difere entre as temperaturas de 60°C e 70°C, sendo maior em 1,96, em média, em relação ao incremento na temperatura de 80°C.

Demuestra-se assim, que para o corte em cubos, também a influência de velocidade do ar foi maior para a temperatura baixa.

### 5.5 Energia de Ativação

Um parâmetro importante a ser analisado no processo de secagem é a energia de ativação. A equação do tipo Arrhénius foi utilizada para descrever a relação entre a difusividade e a temperatura.

$$D = A \exp(-E_a/RT)$$

$$\ln D = \ln A - E_a/RT$$

onde:

$$D = \text{Difusividade (m}^2\text{/s)}$$

$$A = \text{Constante}$$

$$E_a = \text{Energia de ativação (J/mol)}$$

$$R = \text{Constante universal dos gases (J/g-mol.}^\circ\text{K)}$$

$$T = \text{Temperatura (}^\circ\text{K)}$$

Utilizaram-se os valores da difusividade efetiva estimada pelo modelo difusional com  $n=5$  para o corte em rodelas e  $n=3$  para o corte em cubos. Calculou-se a energia de ativação pelo método de regressão linear em função da velocidade do ar de secagem. Os resultados são apresentados nas tabelas 5.14 e 5.15, e os valores da energia de ativação, na tabela 5.16.

Tabela 5.14 Equação das retas obtidas pela regressão linear para a energia de ativação, corte em rodela.

V (m/s)	equação	r
0,5	$\ln D = 5,4361 - 2469,7 * T^{-1}$	0,994
1,0	$\ln D = 6,0724 - 2138,5 * T^{-1}$	0,948
1,5	$\ln D = 6,0227 - 2092,8 * T^{-1}$	0,995

onde:

$$D = m^2/s$$

$$T = ^\circ K$$

r = coeficiente de correlação

Tabela 5.15 Equação das retas obtidas pela regressão linear para a energia de ativação, corte em cubo

V (m/s)	equação	r
0,5	$\ln D = 7,5404 - 1407,6 * T^{-1}$	0,847
1,0	$\ln D = 0,40 - 4033,1 * T^{-1}$	0,937
1,5	$\ln D = 9,6685 - 583,7 * T^{-1}$	0,864

Tabela 5.16 Valores de Energia de Ativação (Ea) em função da velocidade do ar de secagem para a maçã corte em rodela e cubo

V (m/s)	Ea (J/mol)	
	Corte em rodelas	Corte em cubos
0,5	20548,2	11711,1
1,0	17792,3	33555,2
1,5	17411,9	4856,1

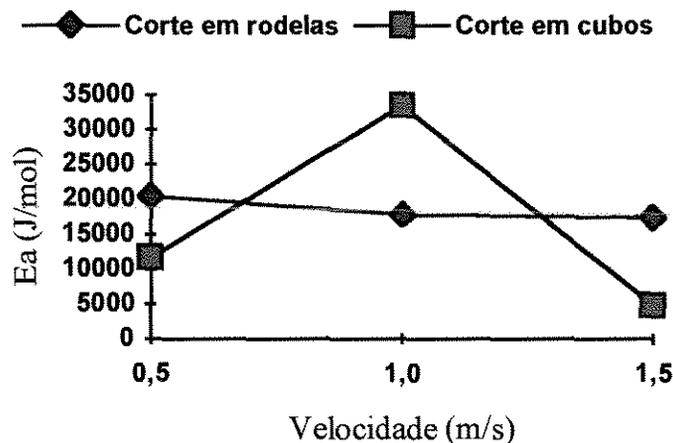


Figura 23 Valores de Energia de ativação ( $E_a$ ) em função da velocidade do ar

DAUDIN (1983) faz uma compilação bibliográfica apresentando valores de energia de ativação a saber: (a), abacate, com placa de espessura 0,3 - 0,7 cm e temperatura entre 26°C e 58°C, valor de 40kJ/mol; (b) trigo, com temperatura entre 21 e 77°C, valor de 43kJ/mol; (c) beterraba açucareira, com placas de 0,4 a 1 cm, temperatura entre 40 e 84°C e velocidade de ar de secagem de 2 a 5 m/s, valor de 29kJ/mol; (d) mandioca, com placa de 0,3 cm, temperatura entre 55 e 100°C e velocidade de ar de 1 a 2,5 m/s, valor de 52kJ/mol; (e) soja com temperatura entre 40 e 71°C e velocidade de ar entre 10,5 e 12,7 m/s, valor de 36kJ/mol. NOGUEIRA (1991) encontrou para secagem de banana uma  $E_a$  de 25kJ/mol. Assim, os valores de energia de ativação situados entre 4Kj/mol e 33,6Kj/mol, neste trabalho, enquadram-se na magnitude esperada.

A discrepância dos valores de energia de ativação não permite maiores discussões a respeito.

## 6. CONCLUSÕES

A maçã desidratada apresenta pequena perda de valor protéico; quanto à secagem de maçã em cubos, nas três temperaturas, também observou-se tal perda. Somente a secagem ao sol não acarretou prejuízo de proteínas.

Quanto às curvas de adsorção da maçã desidratada, a equação de BET linearizada é a que apresentou melhor ajuste para umidades menores de 50% a temperaturas de 10°C e para umidades menores de 47% a temperaturas de 30°C.

A cinética de adsorção não demonstrou nenhuma tendência de aumento (nem de decréscimo) para a constante em teor da umidade relativa.

Para a secagem da maçã, a equação da segunda lei de Fick, com a série de Fourier com cinco termos para o corte em fatias e três termos para o corte em cubos, revelou-se mais bem ajustada.

As difusividades efetivas para a maçã corte em rodela com cinco termos na série de Fourier foram estimadas entre  $2.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $6.3955 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ; para o corte em cubos com três termos, estabeleceram-se as difusividades efetivas foram entre  $8.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  e  $15.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Para a maçã com corte em rodela, os valores da difusividade efetiva mostraram que os parâmetros para a secagem mais rápida são a 80°C com 1,5 m/s , 70°C com 1,5 m/s e 80°C com 1,0 m/s, e para a maçã com corte em cubos, os parâmetros para a secagem mais rápida foram a 80°C com 1,0 m/s, 70°C com 1,0m/s, 80°C com 1,5m/s e 70°C com 1.5m/s.

A Energia de Ativação calculada está entre 4 Kj/mol e 33,6Kj/mol.

## 7. Abstract

The apple (*Malus spp.*) cultivar Golden dehydration process was made, aiming to establish the parameters to its drying. The experiments were carried out at the Post-harvest Department laboratories belonging to the Agricultural Engineering College, UNICAMP. The Apple was submitted to a pre-treatment on which the fruits were washed, selected, peeled and the stones extracted. The fruits was divided in slices about one centimetre of thickness and in cubes measuring one centimetre by side. To the clearing procedure, the pieces were immersed into a sodium bisulphite 0.5% solution and for one minute of period time; soon after the sulfuring, the product was exposed to the sun during 30 minutes, both to remove the solution excess and to improve the process. Three temperatures was used in the drying process: 60, 70, and 80 C of entering on the drying chamber which were combined with different air velocities: 0.5, 1.0 and 1.5 m/s. The experimental data were analysed using the Fourier series with five terms to the slice cuts and three terms to the cube cuts. The diffusibility to the slice cuts was about  $2.66 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  and  $6.3955 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . To the cube cuts the diffusibility was about  $8.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  and  $15.06 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . The dryer model is type static with trays. The product was arranged in only one layer reaching 0.3 kg of average weight of product by tray. To the balance curve execution, two temperature values were set: 10 and 30 C with six moisture percentages: 5, 24, 33, 47, 75 and 88, which was fitted using the BET equation. Due the fungus appearing on the high moisture percentage products, a pre-treatment using potass sorbatum 0.5% solution was set.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de PRODUTORES de MAÇÃ. ABPM, Produção de maçã no Brasil, boletim informativo, Santa Catarina, S.C., 1991.
- ACKER,L.W., Water activity and enzyme activity. Food technol, Chapaique, 23:1257, 1969.
- AMOS,A.J.,Manual de Indústrias de los Alimentos. Leonard Hill (Books) Ltd. Inglaterra, 1973, pags.62-68.
- BELITZ,H.D. & GROSCH,W., Química de los Alimentos. Editorial ACRIBIA, Zaragoza, España,1985,pags.668-669.
- BERTOLINI,L.H.,Desecación al sol de peras y manzanas en Rio Negro. Boletin frutas y Hortalizas, Ministerio de Agricultura, Buenos Aires, Argentina 1939, 20p.
- BORGES,V.S;VIDAL,C.J., Cinética de adsorção da banana desidratada em tambores rotativos. Boletin SBCTA,28(1):41-46, jan/jun 1994.
- BROD,R.F;SILVA,R.J;PARK.J.P., Construção de secador vertical convectivo. COMBEA, Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Campinas,1994, pag. 266.
- BRUNAUER,B.H.,EMMETT.Y.,TELLER,E.,Adsorption of gases in gases in Multimolecular Layers. Journal Amer Chem.Soc.,60 London, 1938, pags. 309-319.
- CANTILLO,R.F.F., Desordenes Fisiologicos em frutas de clima templado en el Brasil. Pelotas, EMBRAPA/UEPAE de Cascata, 1982.9p.

- CARR,D.S. & HARRIS,B.L., Solutions for maintaining constant relative humidity. The Johns Hopkins University, Baltimore,1949,pags. 2014-15.
- CEBALLOS,J.C.;ALTISENT,R.M.;RECASENS,I.,Daños mecanicos en frutos de manzana del cv. "Golden delicius"tratadas con calcio. I congreso Iberico de Ciencias Hortícolas Associação Portuguesa de Horticultura e Fruticultura e Sociedad Española de ciencias Hortícolas, España, Jun-Jul 1990 vol.IV.
- CHEN,C.S., Equilibrium moisture curves for biological materials. Trans ASAE, St Joseph MI, 14(5):924-926,1971.
- CHIRIFE,J. & IGLESIAS,H.A.,Equations for fitting sorption isotherms of food:part 1 - a review, Journal food technol, 13(3):159-174,1978.
- CHUNG,D.S. & CHANG,D.I., Principles of food dehydration. Journal of food Protection, Ames,45(5):475-478, Apr.1982.
- COMPENDIO DA LEGISLAÇÃO DE ALIMENTOS, Consolidação das normas e padrões de alimentos IBIA, Associação Brasileira das Indústrias da alimentação. 1992,pag. 78.
- CRUESS,W.V.,Productos industriais de frutas e hortaliças. Editora Edgard Blucher Ltda.,1973, vII.
- CRUZ,A.G, Desidratação de alimentos. Coleção do Agricultor Editora Globo, São Paulo 1989, 205p.
- DALL'ORTO,C.F.;OJIMA,M.;BARBOSA,W.,Maçã (*Malus spp.*). Boletim Instituto Agrônômico de Campinas, 200, 1990.
- DAUDIN,J.D., Calcul des cinétiques de séchage par L'air chaud des produits biologiques solides, Sciences des aliments. 3(1983)1-36.

- DELHON,M.J., La calidad de manzanas y peras Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación, Corazón de Maria, Madrid, España 1985, 20p.
- DESROSIER,N.W., The technology of Food preservation westrort, Connecticut, the Av. Puplicing company INC 1970 p.70-74.
- EARLE,M.R.L., Traducido por ALEMÁN,V.J., Ingenieria de los Alimentos. ACRIBIA, España, 1971, 664p.
- EMBRAPA/CNPFT. Desordenes fisiologicos en frutas de clima templado en el Brasil, boletim informativo, Pelotas, R.S.,1982.
- EMPASC/ACARES. Sistema de produção de maçã, Santa Catarina, S.C., boletim informati-vo n.380 1982, 100p.
- FRANCO,G., Tabela de composição química dos alimentos. ATHENEU, São Paulo, Brasil, 1992, pag. 134.
- FRIAR,H.F. & VAN HOLTEN,P.,Pineapple dehydration. Fruits production journal, 24, n.3,70-89,1972.
- GÁL,S., Recent advances in techniques for determination of sorption isotherms. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 1974. Proceeding of an ... London, Academic, 1975.
- GAVA,J.A.,Principios de Tecnologia de Alimentos. São Paulo, Nobel 1984 Pag,183-89.
- GUSTAFON,R.J. & HALL,G.E., Equilibrium moisture content of shelled corn from 50 to 155, F. Trans. ASAE, 17(1):120-124-24,1974.
- HOLDWORTH,S.D., Dehydration of food products. A review Journal of food technology, Oxfor, 6(4):331-70, Aug 1971.

- IGLESIAS,H.A. e CHIRIFE,J., Equilibrium moisture contents of air dried beef - dependence on drying temperature. Journal of food technology, Oxford, 11(6):565-73, Dec 1976.
- KING,C.J., Rates of moisture sorption and desorption in porous, dried food tuffs. Food technology, 22:165-71, 1968.
- KNEULE,F., Traducido por CHUECA,E.,El Secado. Bilbao, Munich, 1966, pags. 27-31.
- LABUZA,T.P., Sorption phenomena in food. Food technology, 1968, 22 (3), pags 263-273.
- LOMAURO,C.J.;BAKSHI,A.S.;LABUZA,T.P., Moisture transfer properties of dry an semimoist foods. Journal food science, 50:397-400, 1975.
- MAZZA,G. & LeMAGUER,M., Water sorption properties of Yellow Globe Onion (*Allium cepa* L.) Can. Ins. food sci. Technol. J. vol 11, n.4, oct. 1978. p.189-93.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Classifique melhor a maçã, Secretaria Nacional de Abastecimento, SEAG/PR.Paraná, n.1,17/01,1980.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Normas e padrões de identidade, qualidade e embalagem para classificação e comercialização de maçã, Brasília, n1, 1980.
- MRAK,E.M. & PERRY,R.L., Dehydrating freestone peachs. California Agra. Export. Sta. Circular n. 383,1938.
- MURR,X.F., Estudo dos fenômenos de secagem de batata (*Solanum tuberosum*, L cultivar Bintje). UNICAMP, 162p. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, SP. 1992.
- NOGUEIRA,R.I., Processo de secagem de banana(*Musa acuminata* sub-grupo cavendish cultivar Nanica): Parâmetros ótimos na obtenção de banana-passa. Campinas, 158p. Dissertação (Mestrado em engenharia Agrícola) - Universidade

- Estadual de Campinas, SP. 1991.
- NORMAS ANALÍTICAS DO INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).
- O'BRIEN,F.E.M., The control of humidity by saturated salt solutions. British electrical and allied industries research association, London, 1947, pags. 73-76.
- OKADA,M. & QUAST,D.G., Efeito da granulometria e da densidade de carregamento sobre o custo de liofilização de polpa de banana, boletim informativo, Instituto de Tecnologia de Alimentos, ITAL,1980.
- PARK,K.J., Cinetica de secagem, Campinas, (Apontamentos do curso de pós-graduação) - FEAGRI/UNICAMP, SP.1993
- PARK,K.J., Estudo comparativo de coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante a secagem. . 54p. Dissertação (Livre Docência - Área de Fenômenos de Transporte - Faculdade de Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, SP.1987.
- PARK,K.J. & NOGUEIRA,R.I., Modelos para ajuste de isotermas de sorção de alimentos. ENG. RURAL, Piracicaba, 3(1):80-86, Jul 1992.
- PARK,K.J., Secagem de produtos agrícolas. Paraná, (Apontamentos do curso ministrado em Guarapuava), Paraná, Brasil, 1991.
- PISTONO,R.J., Desecación de los productos vegetales. Editora REVERTE, Barcelona España, 1965, 252p.
- QUAST,D.G., Físico - Química da água em alimentos desidratados. Centro tropical de pesquisa e tecnologia de alimentos, Boletim n.13, Mar.1969, pags 1-25.
- RECASENS,D.I. & BARRAGÁN,J., Utilización del riego por aspersion para obtención de un microclima refrescante en plantaciones frutales: algunas experiencias en manzanos, ITEA, separata n.57, 1984, pags. 21-31.

- RECASENS,D.I., Estudio de diversos parámetros fisiológicos durante el crecimiento del fruto. Aplicación a la variedad de manzana " Starking delicius ". Resumo tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, España, 1982, 43p.
- RECASENS,J.;MOLINA,M.;RECASENS,D.I., El etileno y otros parámetros fisiológicos de manzanas durante la conservación frigorífica. I Congreso Nacional, Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, Valencia, España, 1983, pags. 965-972.
- RIGINATO,O., O Agrônômico. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuaria, Campinas, SP, 31:1-190, 1979.
- ROSSI,S.J. & ROA,G., Secagem e armazenamento de produtos agropecuários com uso de energia solar e ar natural. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia. ACIESP, 1980, 295p.
- SARAVACOS,G.D., Effect of the drying mirthod on the water sorption of dehydrated apple and potato. Journal of food science, Chicago, 32(1):81-84, Jan-Feb 1967.
- SCOTT,W.J., Water relations of food spoilage micro-organisms. Advances in food Research, 1957, 7, pags. 83-127.
- SILVA DA,P.B., A cultura da maçã no Brasil. Boletim informativo Agroquímica CIBA - GEIGY, n.23, 1984, pags. 4-9.
- TREYBAL,R.E., Drying. Mass transfer operations, New York, Mc Graw - Hill, 1968, pags. 569-575.
- TODHUNTER,E.N., The nutritive value of apples. State college of washington, Agricultural Experiment Station Pullman, Washington, popular bulletin 152, Dec. 1937.
- TORREY,M., Dehydration of fruits and vegetables. Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, London, England, 1974, pags.109-114.

- TRAVAGLINI,D. Curso sobre alimentos desidratados. ITAL, Governo do Estado de São Paulo,Secretaria de Agrcultura, Coordenadoria da Pesquisa Agropecúaria, Campinas, SP. 1979, 200p, vI.
- VAN DEN BERG,C., Description of water activity of foods for engineering purposes by means of the GAB model of sorption. Engineering and food, London, 1984 VI, pags. 311-321.
- VICKERS,Z. & BOURNE,M.C., A phycoacoustical theory of intermediate moisture food. Journal of food science, Chicago, 41(5):1158, sep/oct. 1976.
- ZANGELMI,B.A., Processos de desidratação. Centro Tropical de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos, Boletim n.2, Jun. 1966, Pags. 5-15.

**ANEXO - A**  
**Tabelas e curvas de secagem para a maçã a 60, 70 e 80°C**  
**com velocidades de ar 0,5 - 1,0 - 1,5 m/s**

**Tabela A.1 Dados para a curva de secagem de maçã a 60, 70 e 80°C com velocidade de ar.de 0,5m/s**

Secagem de maçã corte rodela								
60°C			70°C			80°C		
t (h)	$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>
0	1,7064	1	0	1,5356	1	0	1,5849	1
0,25	1,6883	0,9885	0,50	1,5140	0,9848	0,25	1,5819	0,9948
0,50	1,6636	0,9730	0,75	1,4857	0,9649	0,50	1,5460	0,9704
0,75	1,6408	0,9586	1,00	1,4552	0,9435	0,75	1,5090	0,9453
1,00	1,6149	0,9422	1,25	1,4291	0,9251	1,00	1,4632	0,9141
1,25	1,5886	0,9257	1,50	1,3946	0,9009	1,25	1,4277	0,8900
1,50	1,5637	0,9099	2,00	1,3248	0,8520	1,50	1,3796	0,8573
1,75	1,5351	0,8918	2,50	1,2232	0,7805	1,75	1,3339	0,8263
2,25	1,4796	0,8568	3,00	1,1624	0,7378	2,00	1,2731	0,7849
2,75	1,4188	0,8184	4,00	0,9365	0,5791	2,50	1,1680	0,7134
3,25	1,3598	0,7812	5,00	0,6872	0,4041	3,00	1,0276	0,6180
3,75	1,2930	0,7391	6,00	0,4568	0,2422	3,50	0,8813	0,5185
4,75	1,0889	0,6102	7,00	0,3505	0,1676	4,00	0,6902	0,3889
5,75	0,9210	0,5042	7,50	0,2973	0,1303	5,00	0,4429	0,2206
6,75	0,6749	0,3490	8,00	0,2404	0,0902	6,00	0,3148	0,1333
7,75	0,4387	0,1998	8,50	0,1944	0,0580	6,50	0,2400	0,0825
8,75	0,2506	0,0812	8,75	0,1790	0,0472	7,00	0,1778	0,0402
9,75	0,1724	0,0318	9,00	0,1527	0,0287	7,50	0,1417	0,0155
10,25	0,1433	0,0134	9,50	0,1348	0,0161	8,00	0,1365	0,0121
10,75	0,1317	0,0061	10,00	0,1180	0,0043	8,50	0,1297	0,0075
10,25	0,1233	0,0009	10,50	0,1138	0,0014	9,00	0,1270	0,0057
11,75	0,1200	1,5E-7	11,00	0,1112	1,6E-7	9,50	0,1213	0,0018
						10,00	0,1186	3,4E-7

**Tabela A 2 Dados para a curva de secagem de maçã a 60, 70 e 80°C com velocidade de a de 1,0m/s**

Secagem de maçã corte rodela								
60°C			70°C			80°C		
t (h)	$\overline{X}$ (g/gms)	$X - X_e$	t (h)	$\overline{X}$ (g/gms)	$X - X_e$	t (h)	$\overline{X}$ (g/gms)	$X - X_e$
		$X_o - X_e$			$X_o - X_e$			$X_o - X_e$
0	1,7679	1	0	1,8002	1	0	1,9697	1
0,25	1,7405	0,9839	0,25	1,7548	0,9736	0,25	1,9068	0,9650
0,50	1,6974	0,9586	0,50	1,7221	0,9544	0,50	1,8583	0,9380
0,75	1,6604	0,9369	0,75	1,6591	0,9176	0,75	1,8046	0,9092
1,00	1,6206	0,9136	1,00	1,6172	0,8931	1,00	1,7423	0,8736
1,25	1,5873	0,8940	1,25	1,5639	0,8620	1,25	1,6847	0,8415
1,50	1,5452	0,8693	1,50	1,5019	0,8258	1,50	1,6228	0,8071
1,75	1,4961	0,8405	1,75	1,4407	0,7900	1,75	1,5514	0,7674
2,00	1,4517	0,8144	2,00	1,3665	0,7466	2,00	1,4728	0,7237
2,50	1,3686	0,7656	2,50	1,1890	0,6430	2,50	1,2798	0,6163
3,00	1,2729	0,7094	3,00	1,0485	0,5609	3,00	1,0972	0,5148
3,50	1,1463	0,6351	3,50	0,8453	0,4423	3,50	0,9094	0,4104
4,00	1,0355	0,5701	4,00	0,6794	0,3454	4,00	0,6969	0,2922
5,00	0,8282	0,4485	4,50	0,4596	0,2170	5,00	0,4622	0,1617
6,00	0,4868	0,2481	5,50	0,3777	0,1692	6,00	0,2905	0,0662
7,00	0,3456	0,1652	6,00	0,3051	0,1267	6,50	0,2755	0,0578
8,00	0,1904	0,0741	6,50	0,2620	0,1016	7,00	0,2628	0,0508
9,00	0,1084	0,0260	7,00	0,2385	0,0878	7,50	0,2508	0,0441
10,00	0,0640	2,3E-7	7,50	0,1881	0,0584	8,00	0,2470	0,0420
			7,75	0,1555	0,0394	8,50	0,2168	0,0252
			8,00	0,1420	0,0318	9,00	0,1778	0,0035
			8,25	0,0892	0,0007	9,50	0,1732	0,0010
			8,50	0,0880	1,4E-7	10,00	0,1714	2,3E-7

**Tabela A 3 Dados para a curva de secagem de maçã a 60, 70 e 80°C com velocidade de ar de 1,50m/s**

Secagem de maçã corte r,dela								
60°C			70°C			80°C		
t (h)	X (g/gms)	X - Xe	t (h)	X (g/gms)	X - Xe	t (h)	X (g/gms)	X - Xe
		Xo - Xe			Xo - Xe			Xo - Xe
0	1,9045	1	0	1,9434	1	0	1,9604	1
0,25	1,8805	0,9866	0,25	1,8898	0,9704	0,25	1,9307	0,9839
0,50	1,7776	0,9293	0,50	1,8221	0,9331	0,50	1,8431	0,9366
0,75	1,7429	0,9099	0,75	1,7794	0,9095	0,75	1,7676	0,8958
1,00	1,7146	0,8941	1,00	1,7141	0,8735	1,00	1,6887	0,8531
1,25	1,6702	0,8694	1,25	1,6510	0,8387	1,25	1,5827	0,7959
1,50	1,6147	0,8351	1,50	1,5809	0,8001	1,50	1,5037	0,7532
1,75	1,5598	0,8078	1,75	1,4920	0,7510	1,75	1,3848	0,6890
2,00	1,4954	0,7720	2,00	1,4043	0,7028	2,00	1,2675	0,6256
2,50	1,3676	0,7007	2,25	1,3034	0,6471	2,50	0,9610	0,4600
3,00	1,2206	0,6188	2,50	1,2223	0,6024	3,00	0,6998	0,3188
3,50	1,0558	0,5270	3,00	0,9992	0,4794	3,50	0,4636	0,1912
4,00	0,9167	0,4494	3,50	0,6761	0,3013	4,00	0,3447	0,1270
4,50	0,7485	0,3551	4,00	0,4363	0,1691	4,50	0,3188	0,1130
5,50	0,4493	0,1889	4,50	0,3612	0,1277	5,50	0,2468	0,0741
7,00	0,2254	0,0641	5,50	0,3030	0,0957	7,00	0,2335	0,0669
7,50	0,1853	0,0417	7,00	0,2041	0,0411	7,25	0,1800	0,0380
8,50	0,1589	0,0270	7,50	0,1613	0,0175	7,50	0,1558	0,0249
9,00	0,1362	0,0144	8,00	0,1403	0,0059	8,00	0,1297	0,0108
9,50	0,1340	0,0132	8,50	0,1326	0,0018	8,50	0,1200	0,0056
10,00	0,1130	0,0015	9,00	0,1294	2,2E-7	9,00	0,1120	0,0013
11,00	0,1103	1E-7				9,50	0,1096	2,5E-7

**Tabela A 4 Dados para a curva de secagem de maçã a 60, 70 e 80°C com velocidade de ar de 0,5m/s**

Secagem de maçã corte cubo								
60°C			70°C			80°C		
t (h)	$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ X (g/gms)	X - X <sub>e</sub> X <sub>0</sub> - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ X (g/gms)	X - X <sub>e</sub> X <sub>0</sub> - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_0 - X_e}$ X (g/gms)	X - X <sub>e</sub> X <sub>0</sub> - X <sub>e</sub>
0	2,2337	1	0	2,2355	1	0	2,9127	1
0,25	2,1426	0,7252	0,25	2,1548	0,9600	0,25	2,8320	0,9694
0,50	2,0387	0,9084	0,50	2,0855	0,9258	0,50	2,6327	0,8941
0,75	1,9316	0,8582	0,75	1,9576	0,8625	0,75	2,4173	0,8127
1,00	1,7887	0,7911	1,00	1,8193	0,7941	1,00	2,1177	0,6995
1,25	1,6499	0,7260	1,25	1,6695	0,7200	1,25	1,8515	0,5988
1,50	1,5447	0,6766	1,50	1,5225	0,6473	1,50	1,5152	0,4717
1,75	1,3897	0,6039	1,75	1,3600	0,5670	2,00	0,9076	0,2421
2,00	1,2390	0,5332	2,00	1,1974	0,4866	2,50	0,5600	0,1107
2,50	0,9623	0,4033	2,50	0,8171	0,2985	3,00	0,4034	0,0515
3,00	0,6809	0,2713	3,00	0,6134	0,1978	3,50	0,3442	0,0291
3,50	0,4908	0,1821	3,50	0,4441	0,1140	4,50	0,3066	0,0149
4,00	0,3880	0,1339	4,00	0,3648	0,0748	5,50	0,2846	0,0066
5,00	0,2205	0,0552	5,00	0,3062	0,0458	6,00	0,2778	0,0040
6,00	0,1701	0,0316	6,00	0,2366	0,0114	6,50	0,2681	0,0003
7,00	0,1262	0,0110	7,00	0,2253	0,0059	7,00	0,2671	9,7E-8
7,50	0,1200	0,0081	7,50	0,2219	0,0042			
8,00	0,1132	0,0049	8,00	0,2208	0,0036			
8,50	0,1064	0,0017	8,50	0,2174	0,0019			
9,00	0,1027	8,9E-8	9,00	0,2143	1,6E-7			

**Tabela A 5 Dados para a curva de secagem de maçã a 60, 70 e 80°C com velocidade de ar de 1,0m/s**

Secagem de maçã corte cubo								
60°C			70°C			80°C		
t (h)	$\frac{X - X_e}{X_o - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_o - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_o - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>
0	1,7845	1	0	2,1156	1	0	2,5423	1
0,25	1,7306	0,9661	0,25	1,9492	0,9161	0,25	2,3510	0,9158
0,50	1,6430	0,9110	0,50	1,8014	0,8415	0,50	2,0998	0,8053
0,75	1,5624	0,8603	0,75	1,5838	0,7318	0,75	1,18313	0,6872
1,00	1,4472	0,7878	1,00	1,4317	0,6551	1,00	1,5639	0,5695
1,25	1,3803	0,7457	1,25	1,1650	0,5206	1,25	1,3099	0,4577
1,50	1,2541	0,6663	1,50	0,9394	0,4068	1,50	1,0011	0,3219
1,75	1,1591	0,6066	1,75	0,7475	0,3100	1,75	0,8239	0,2439
2,00	1,0722	0,5519	2,00	0,5130	0,1918	2,25	0,5174	0,1091
2,50	0,8556	0,5157	2,50	0,3913	0,1304	2,75	0,3752	0,0465
3,00	0,6863	0,3093	3,00	0,3284	0,0986	3,25	0,3185	0,0215
3,50	0,5158	0,2020	3,50	0,2311	0,0496	3,50	0,3065	0,0163
4,00	0,4405	0,1546	4,00	0,1622	0,0148	3,75	0,2966	0,0119
4,50	0,3568	0,1020	4,50	0,1521	0,0098	4,00	0,2895	0,0088
5,00	0,3083	0,0715	5,00	0,1456	0,0065	4,25	0,2838	0,0063
5,50	0,2751	0,0506	5,50	0,1381	0,0027	4,50	0,2780	0,0038
7,50	0,2420	0,0298	6,00	0,1348	0,0011	4,75	0,2701	0,0003
8,00	0,2090	0,0090	6,50	0,1327	1,5E7	5,00	0,2694	5,8E-8
8,50	0,2080	0,0084						
9,00	0,2031	0,0053						
9,50	0,1971	0,0016						
10,00	0,1946	1,1E-7						

**Tabela A 6 Dados para a curva de secagem de maçã a 60, 70 e 80°C com velocidade de ar de 1,5m/s**

Secagem de maçã corte cubo								
60°C			70°C			80°C		
t (h)	$\frac{X - X_e}{X_o - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>	t(h)	$\frac{X - X_e}{X_o - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>	t (h)	$\frac{X - X_e}{X_o - X_e}$ (g/gms)	X - X <sub>e</sub>
0	1,9901	1	0	1,9128	1	0	1,9829	1
0,25	1,8867	0,9448	0,25	1,8249	0,9481	0,25	1,8983	0,9543
0,50	1,7353	0,8639	0,50	1,5828	0,8053	0,50	1,7053	0,8501
0,75	1,5914	0,7872	0,75	1,4988	0,7557	0,75	1,5721	0,7782
1,00	1,4592	0,7166	1,00	1,4187	0,7085	1,00	1,2985	0,6306
1,25	1,2536	0,6068	1,25	1,2951	0,6354	1,25	1,1372	0,5436
1,50	1,0660	0,5066	1,50	1,1395	0,5438	1,50	0,9155	0,4239
1,75	0,8717	0,4029	1,75	1,0080	0,4662	1,75	0,6892	0,3018
2,00	0,7321	0,3283	2,00	0,8591	0,3784	2,00	0,5811	0,2435
2,50	0,5474	0,2298	2,50	0,6370	0,2475	2,50	0,3213	0,1033
3,00	0,3871	0,1442	3,00	0,4842	0,1573	3,00	0,2209	0,0491
3,50	0,2908	0,0929	3,50	0,3897	0,1016	3,50	0,1722	0,0228
4,00	0,2355	0,0633	4,00	0,3462	0,0758	4,00	0,1454	0,0084
5,00	0,1862	0,0370	4,50	0,2817	0,0378	4,50	0,1331	0,0017
6,50	0,1511	0,0183	5,50	0,2587	0,0242	5,00	0,1312	0,0007
7,00	0,1403	0,0125	7,50	0,2502	0,0192	5,50	0,1298	7,1E-8
7,50	0,1260	0,0049	7,50	0,2427	0,0148			
8,00	0,1192	0,0013	8,50	0,2356	0,0106			
8,50	0,1168	1,8E-7	9,00	0,2304	0,0076			
			9,50	0,2228	0,0031			
			10,00	0,2196	0,0012			
			11,00	0,2184	0,0005			
			11,50	0,2176	2,2E-7			

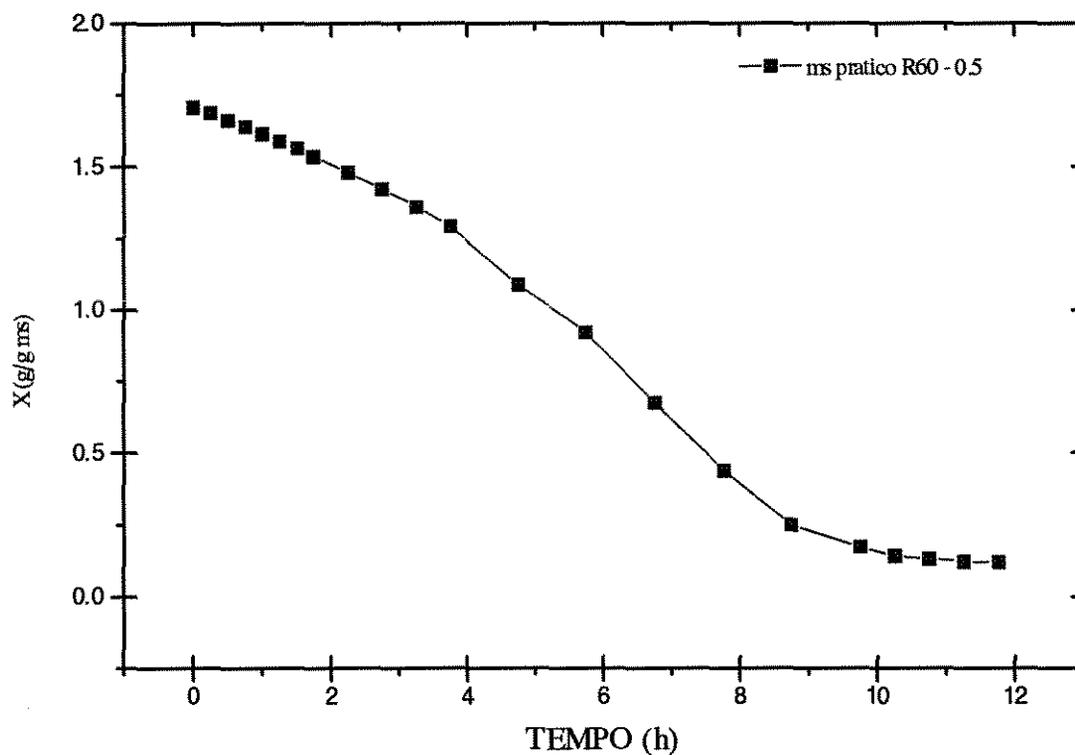


Figura A1 Curva de secagem maçã corte rodela 60°C velocidade 0,5m/s

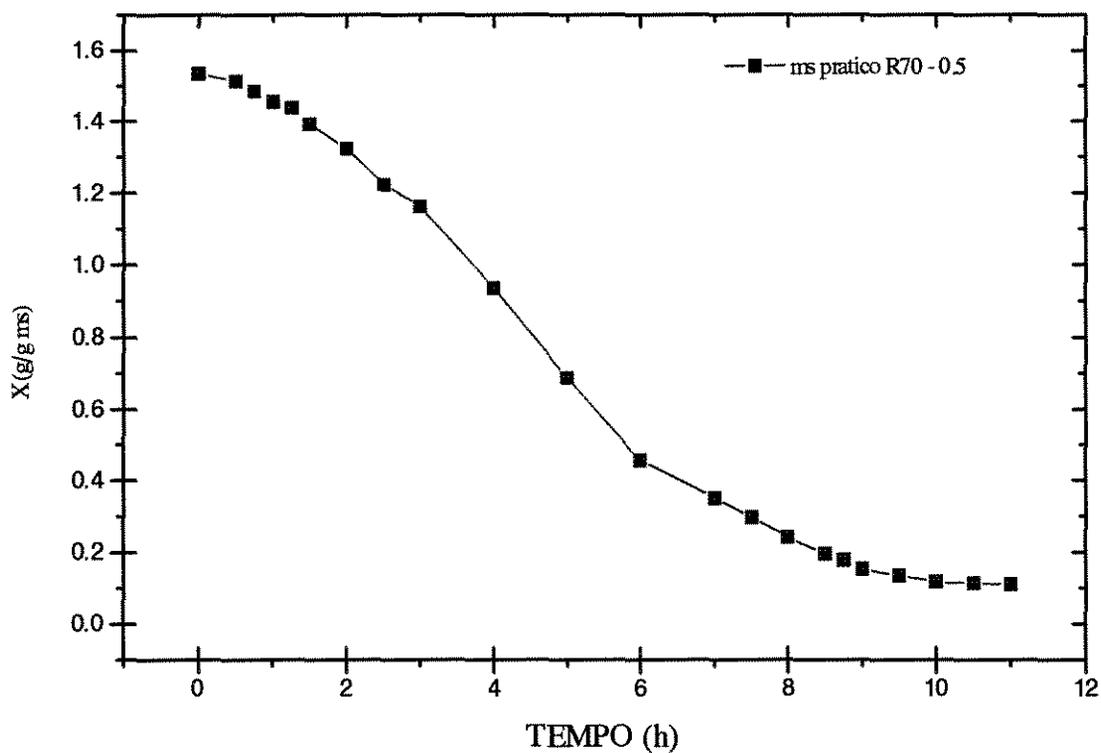


Figura A2 Curva de secagem maçã corte rodela 70°C velocidade 0,5m/s

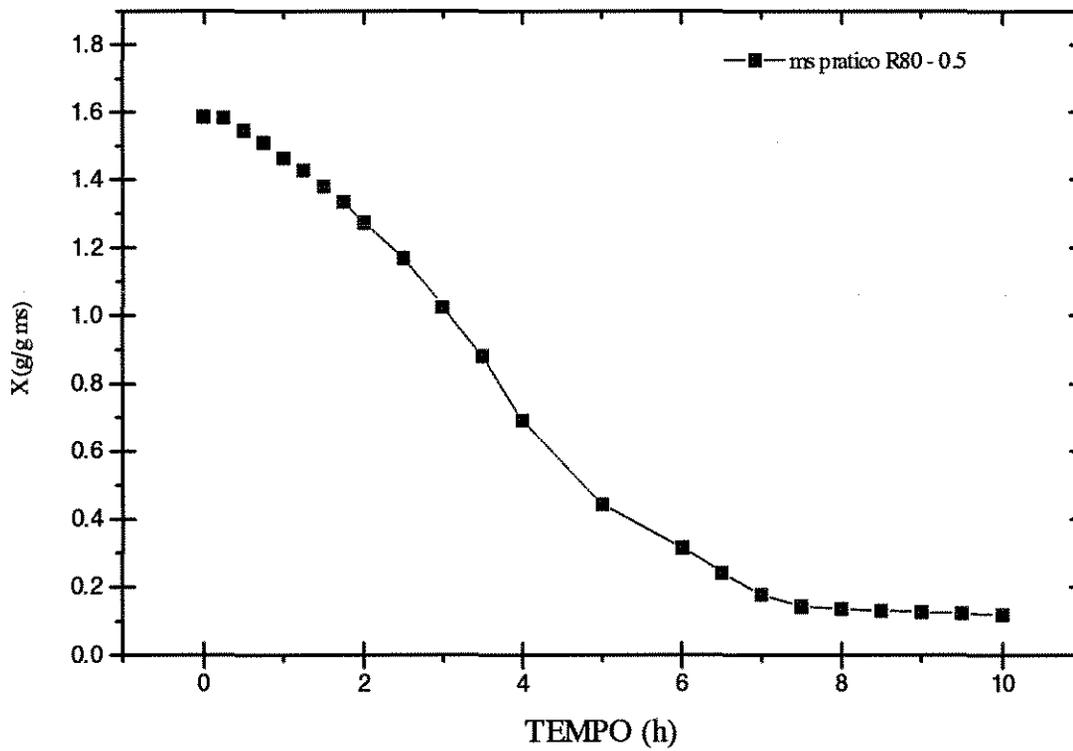


Figura A3 Curva de secagem maçã corte rodela 80°C velocidade 0,5m/s

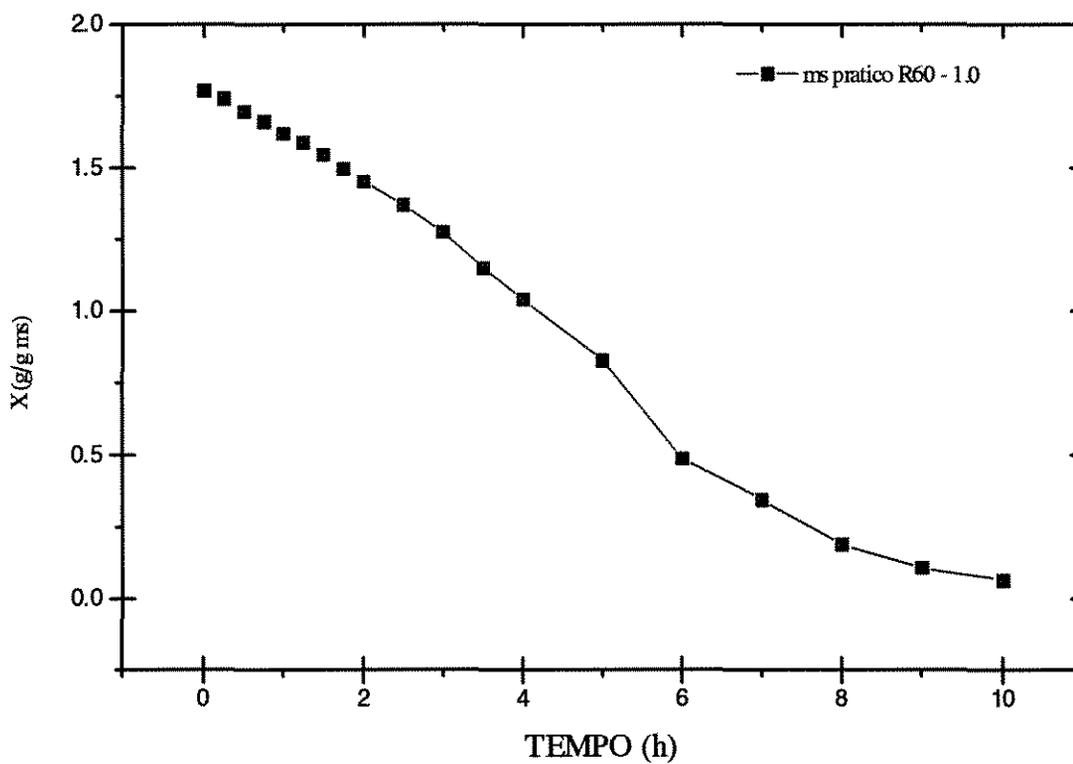


Figura A4 Curva de secagem maçã corte rodela 60°C velocidade 1,0m/s

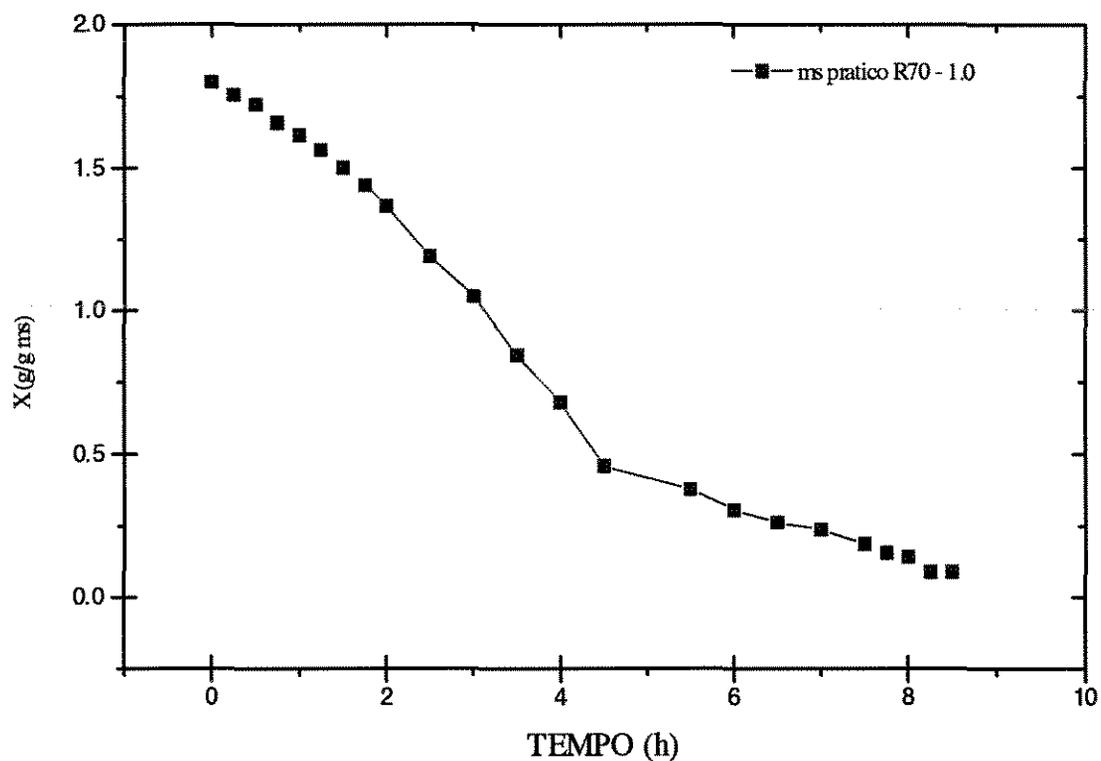


Figura BA5 Curva de secagem maçã corte rodela 70°C velocidade 1,0m/s

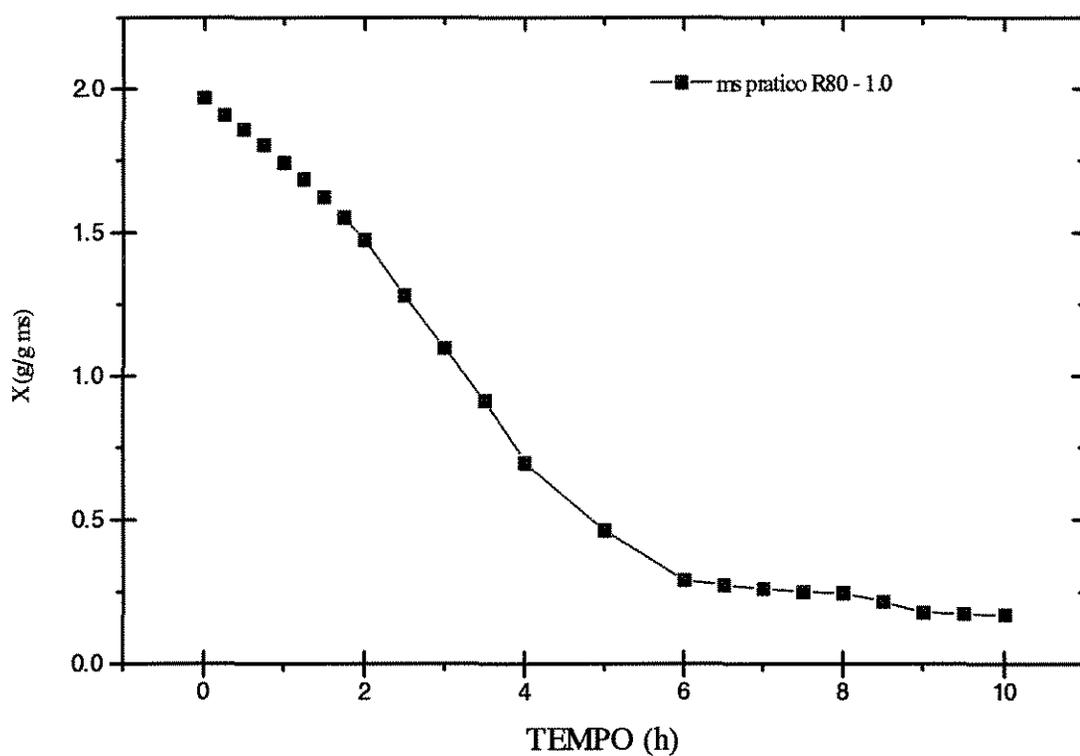


Figura A6 Curva de secagem maçã corte rodela 80°C velocidade 1,0m/s

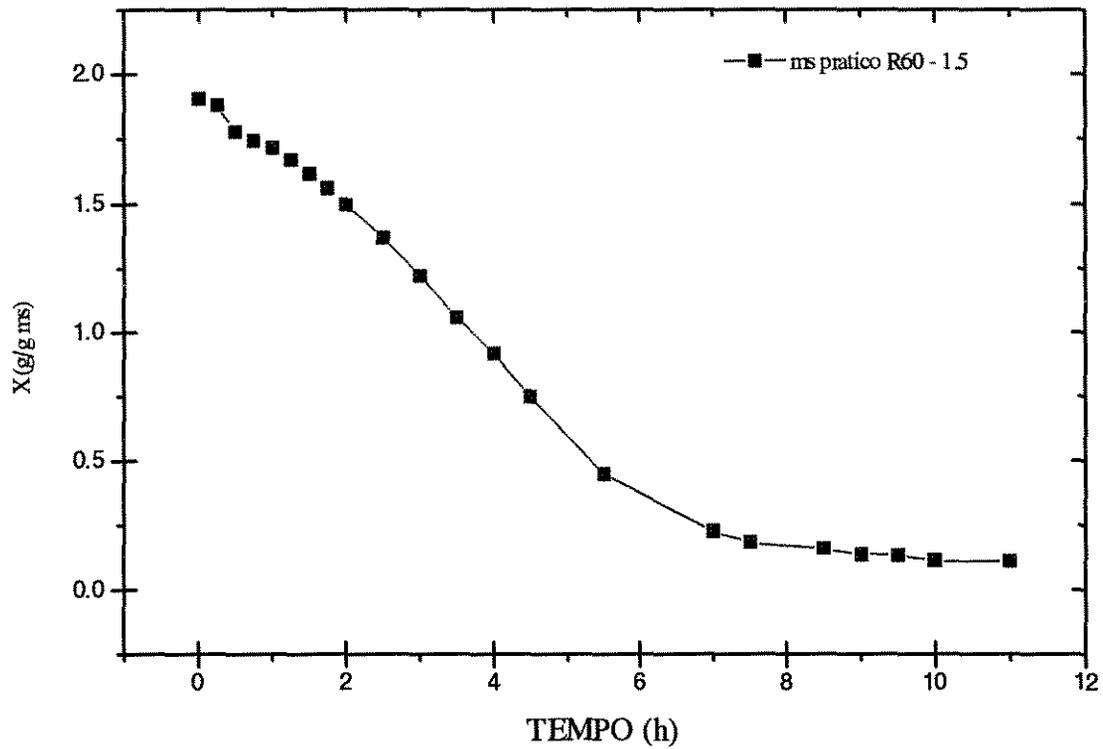


Figura A7 Curva de secagem maçã corte rodela 60°C velocidade 1,5m/s

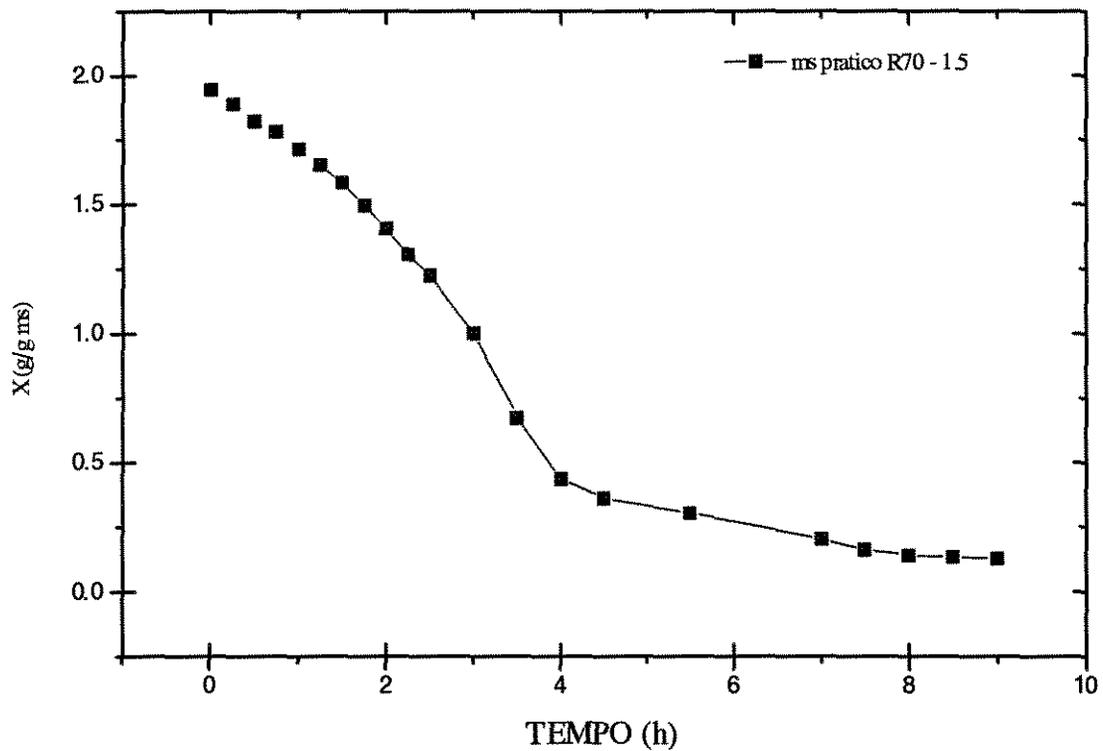


Figura A8 Curva de secagem maçã corte rodela 70°C velocidade 1,5m/s

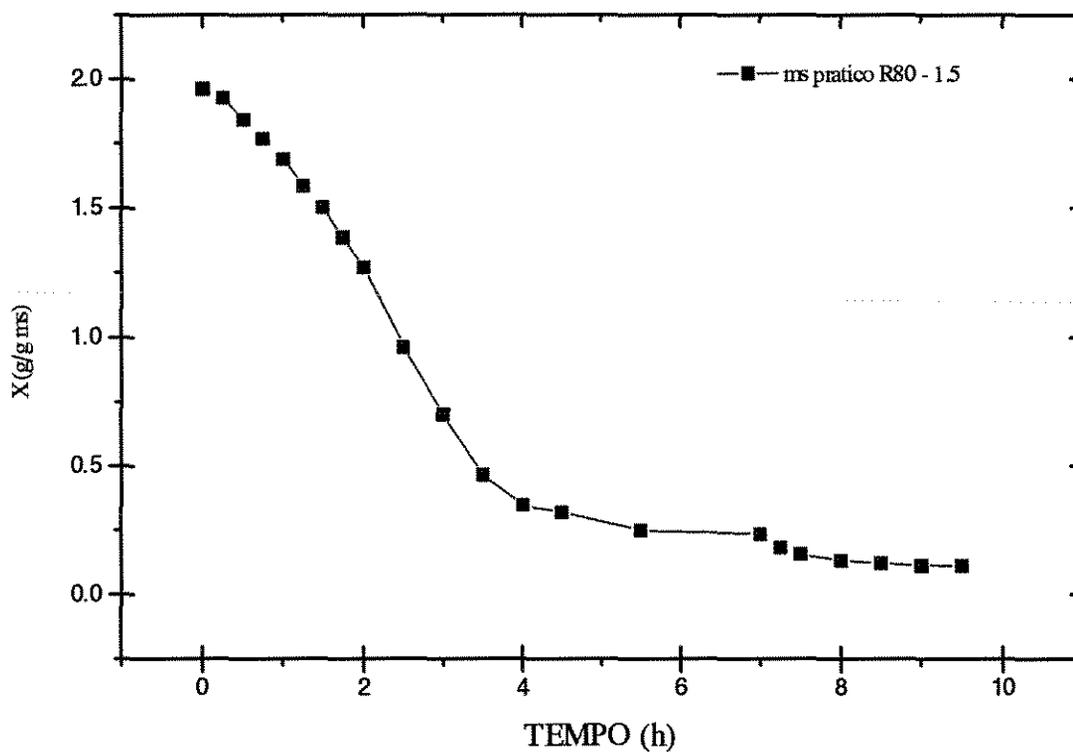


Figura A9 Curva de secagem maçã corte rodela 80°C velocidade 1,5m/s

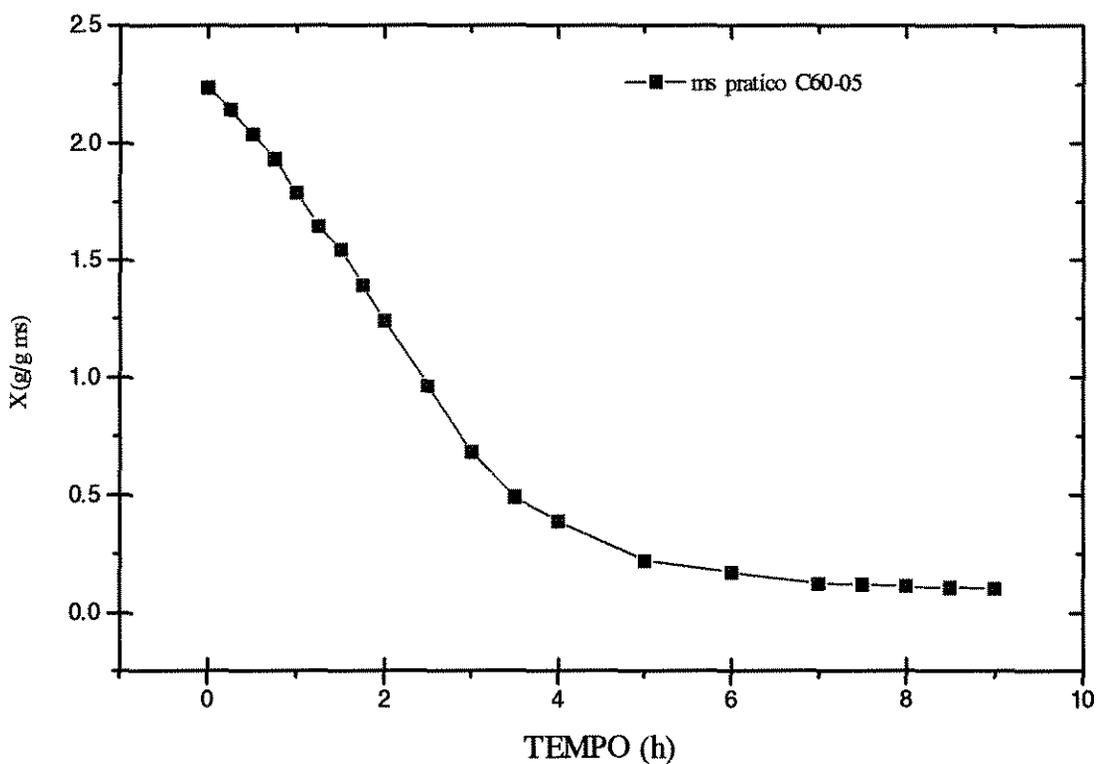


Figura A10 Curva de secagem maçã corte cubo 60°C velocidade 0,5m/s

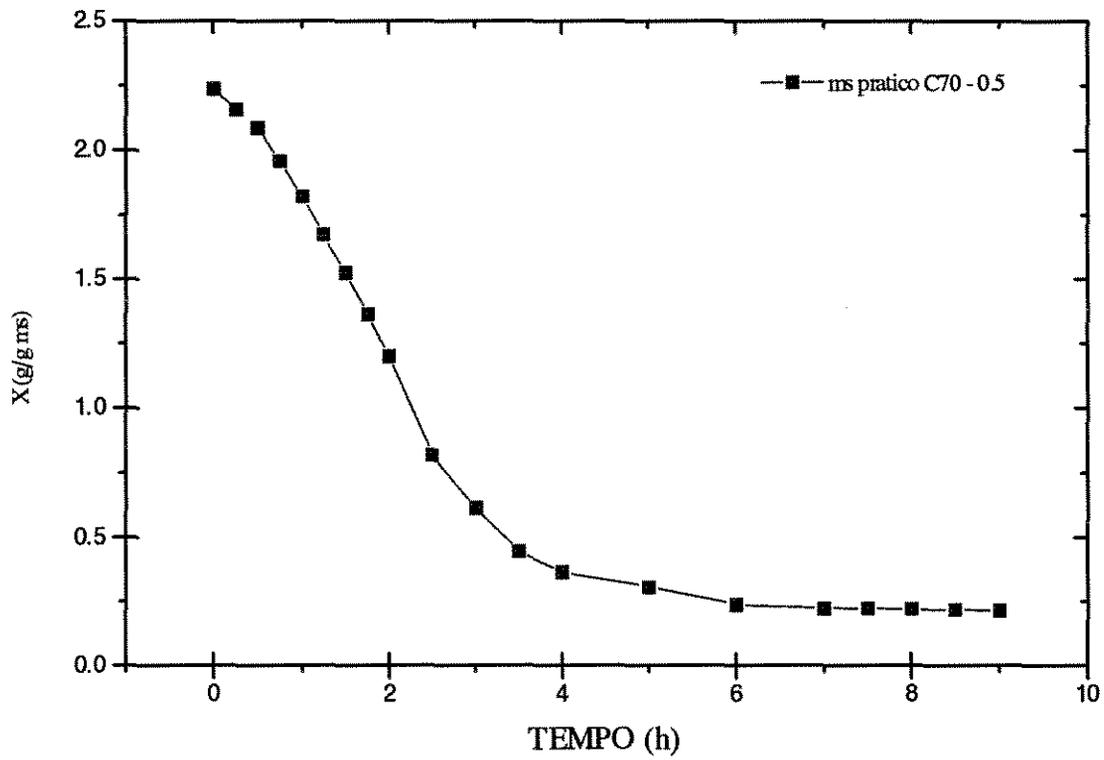


Figura A11 Curva de secagem maçã corte cubo 70°C velocidade 0,5m/s

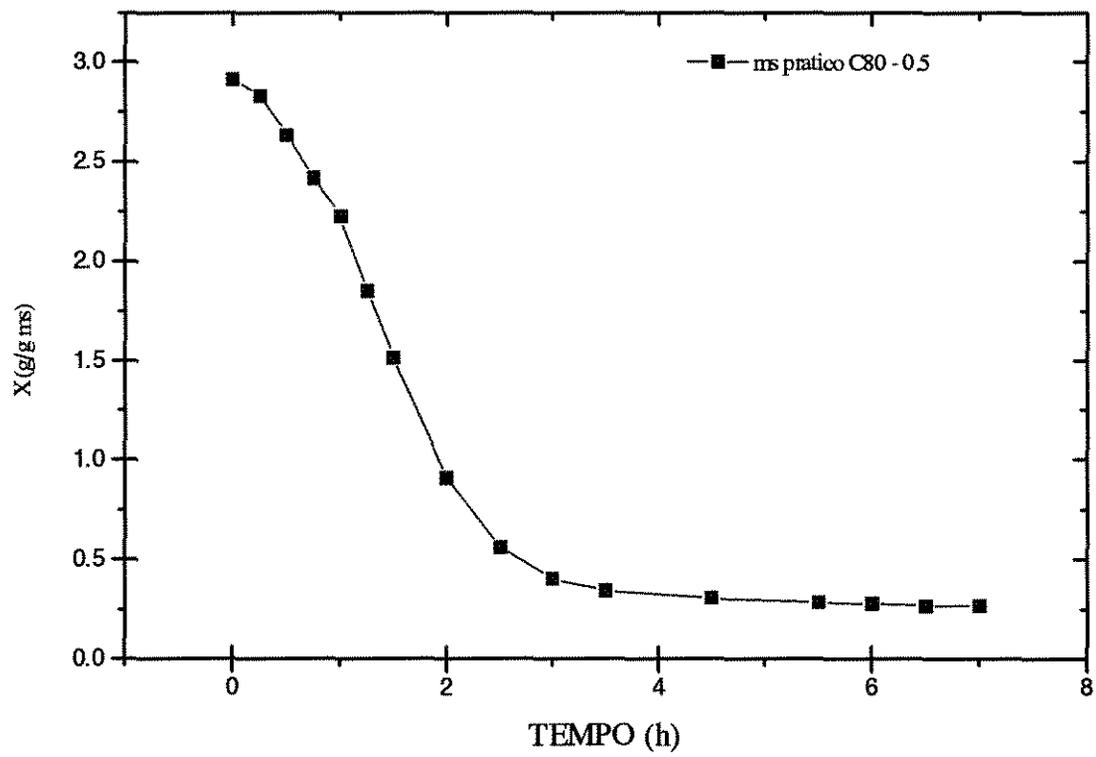


Figura A12 Curva de secagem maçã corte cubo 80°C velocidade 0,5m/s

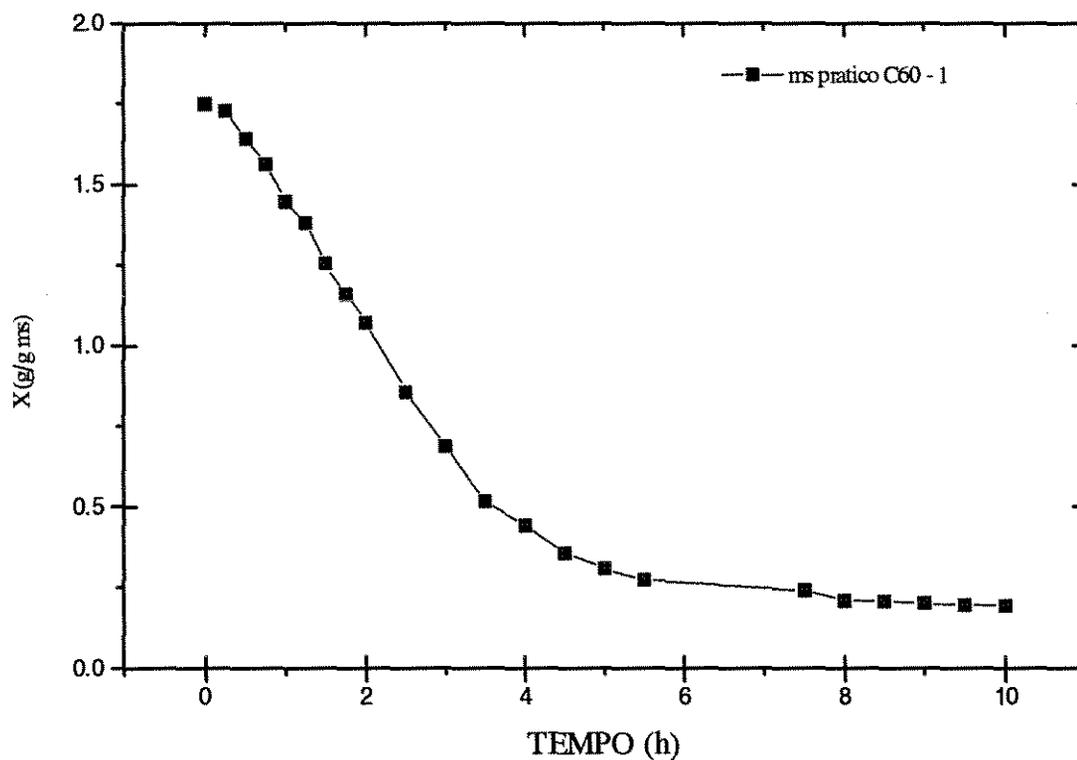


Figura A13 Curva de secagem maçã corte cubo 60°C velocidade 1,0m/s

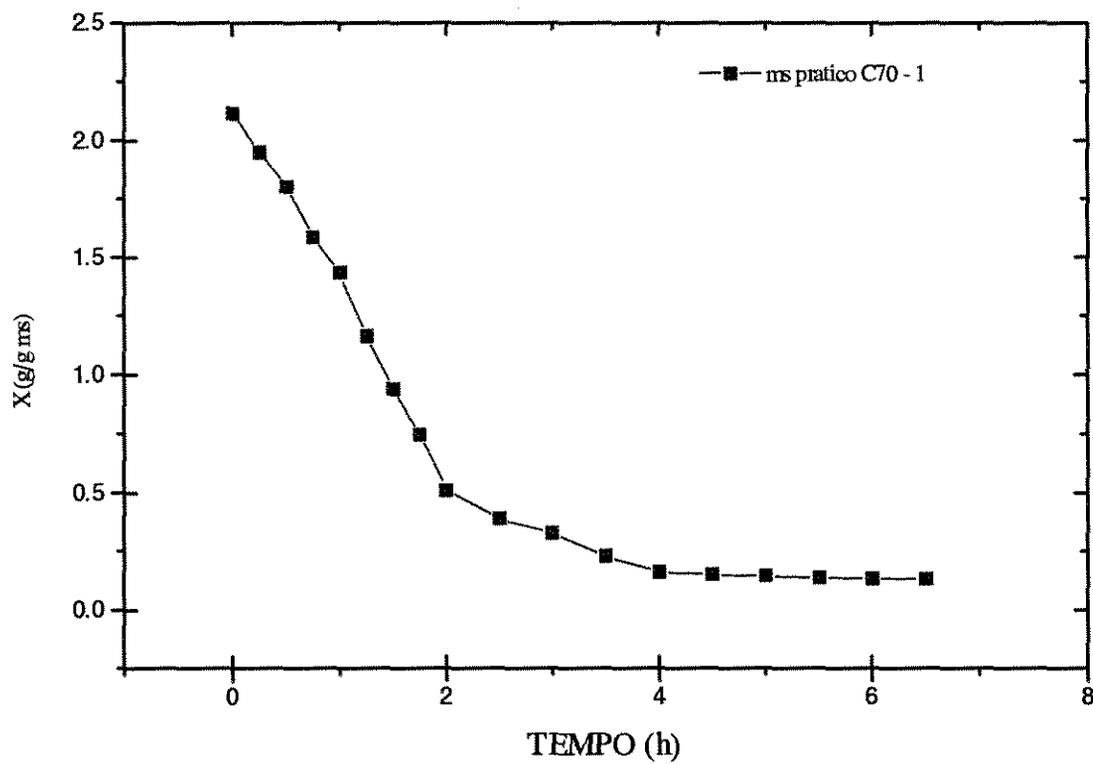


Figura A14 Curva de secagem maçã corte cubo 70°C velocidade 1,0m/s

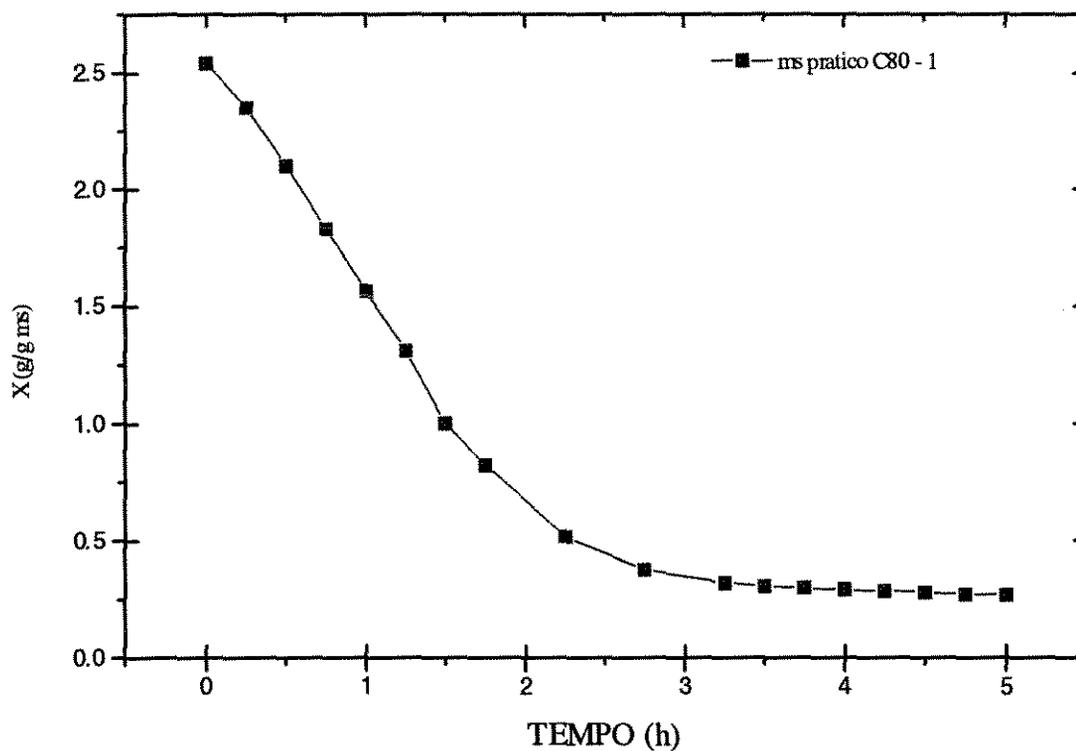


Figura A15 Curva de secagem maçã corte cubo 80°C velocidade 1,0m/s

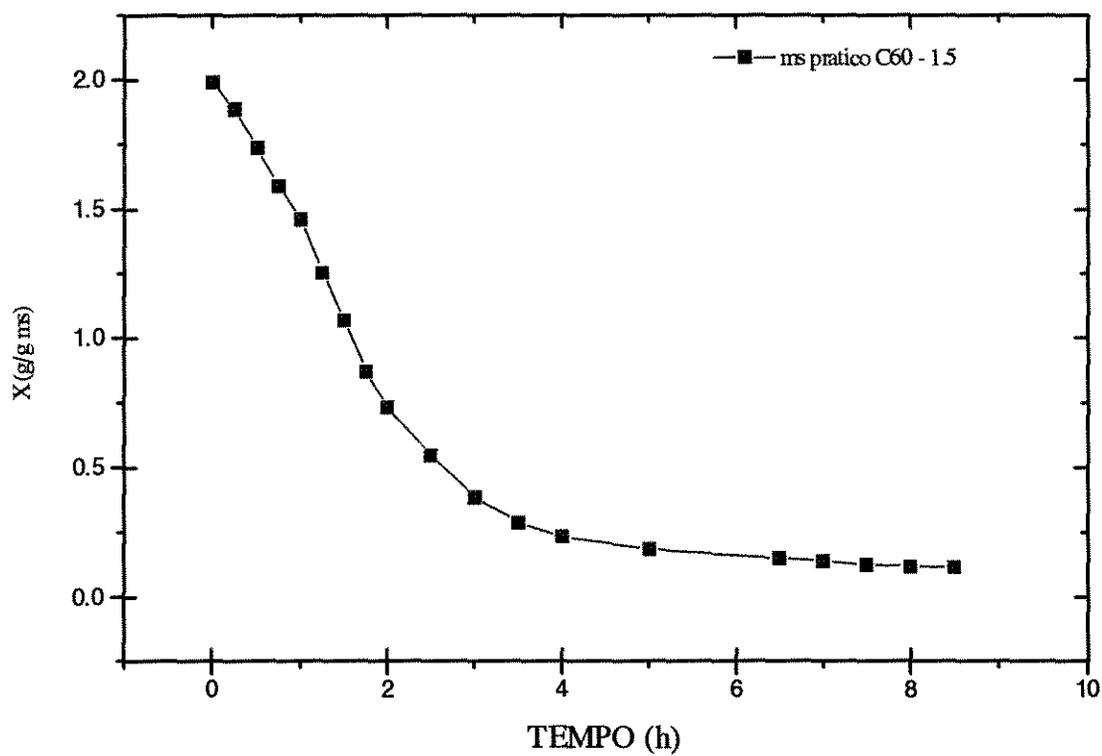


Figura A16 Curva de secagem maçã corte cubo 60°C velocidade 1,5m/s

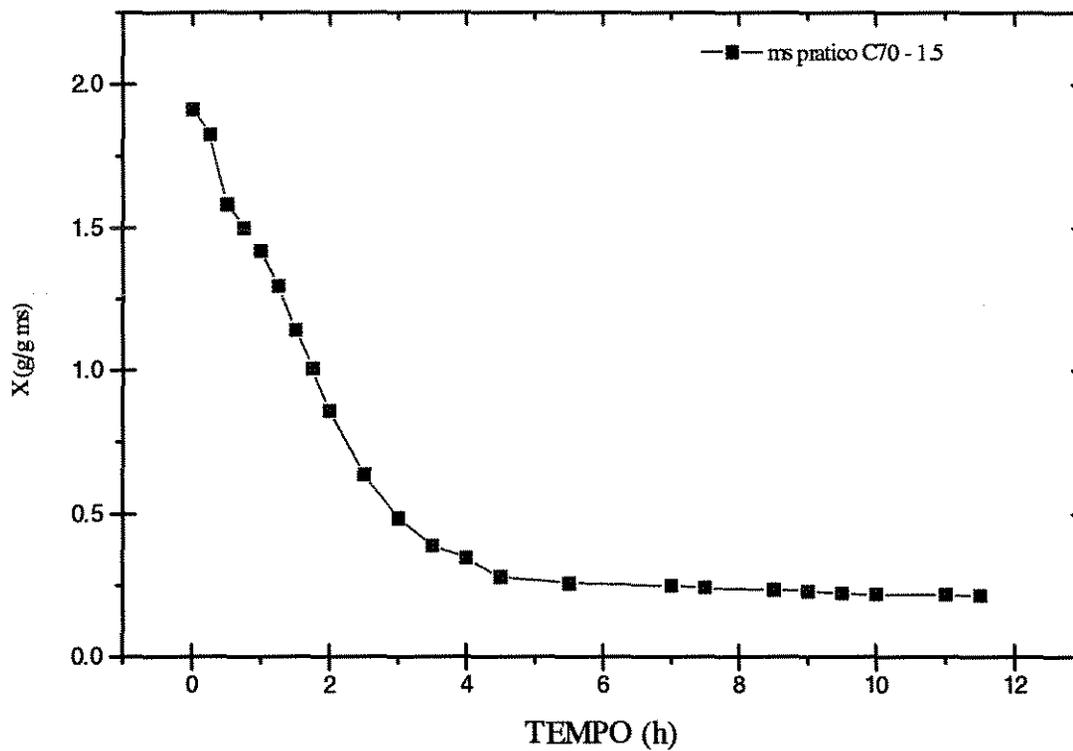


Figura A17 Curva de secagem maçã corte cubo 70°C velocidade 1,5m/s

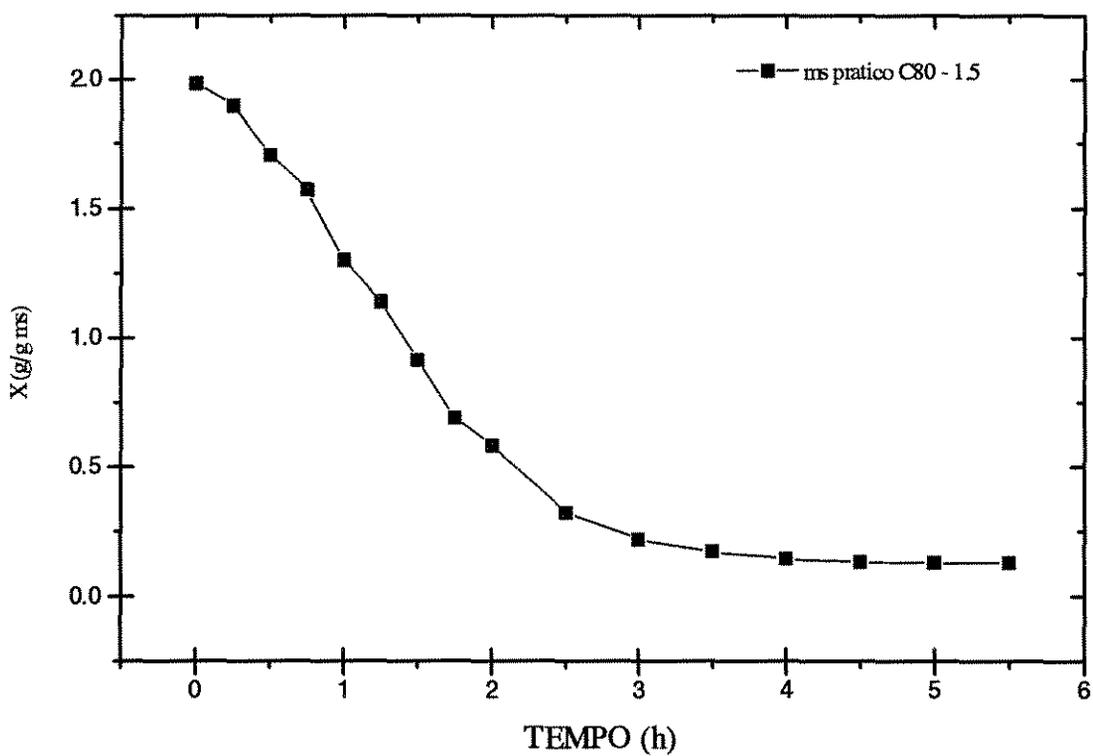


Figura A18 Curva de secagem maçã corte cubo 80°C velocidade 1,5m/s