

Luci Kelly Guizzo da Silva

Influência das Condições de Processo na Cinética de Secagem e na  
Textura de Abacaxi Orgânico Desidratado Utilizando Secador de Leito Fixo



77

Secretaria

1910001323



**LUCI KELLY GUIZZO DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE  
PROCESSO NA CINÉTICA DE SECAGEM  
E NA TEXTURA DE ABACAXI ORGÂNICO  
DESIDRATADO UTILIZANDO SECADOR  
DE LEITO FIXO**



*T. 1323/05*

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Campus de São José do Rio Preto, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos (Área de Concentração: Engenharia de Alimentos)

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Regina Nicolletti Telis

São José do Rio Preto – SP

2004



1664.85

6967<sub>u</sub>

50702009

13/01/2005

Doação

R\$ 24,00

Autor(a)

076/2005

Guizzo-Silva, Luci Kelly

Influência das condições de processo na cinética de secagem e na textura de abacaxi orgânico desidratado utilizando secador de leito fixo / Luci Kelly

Guizzo da Silva. – São José do Rio Preto : [s.n.], 2004.

98 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Javier Telis-Romero.

Co-Orientadora: Vânia Regina Nicolletti Telis.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas.

1. Secagem em leito fixo. 2. Abacaxi. 3. Frutas orgânicas. 4. Textura 5. TPA. 6. Engenharia de Alimentos.

I. Telis-Romero, Javier. II. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. III. Título.

CDU – 664.85





**LUCI KELLY GUIZZO DA SILVA**

**INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DE  
PROCESSO NA CINÉTICA DE SECAGEM E NA  
TEXTURA DE ABACAXI ORGÂNICO  
DESIDRATADO UTILIZANDO SECADOR DE  
LEITO FIXO**

**COMISSÃO JULGADORA**

**TESE PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE**

Presidente e Orientador .....

2º Examinador .....

3º Examinador .....

São José do Rio Preto, de de 2004.



## DADOS CURRICULARES

### LUCI KELLY GUIZZO DA SILVA

NASCIMENTO 15.02.1979

FILIAÇÃO Roberto José da Silva  
Célia Alves Guizzo da Silva

1997/2001 Curso de Graduação  
Engenharia Química  
UFSCAR – São Carlos/SP

2002/2004 Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência  
de Alimentos, nível de mestrado  
UNESP – S. J. Rio Preto/SP

Aos meus pais Roberto e Célia  
simplesmente por serem as  
âncoras da minha vida

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Javier Tellis Romero pela orientação, paciência e bom-humor nos momentos difíceis.

A Prof. Dr. Vânia Regina Nicollet Tellis pela co-orientação, bom senso e clareza de ideias.

Aos profs. Drs. Vivaldo Silveira Júnior e Patricia Onofre pelas sugestões pertinentes ao trabalho e pela aceitação do convite em fazer parte da Comissão Julgadora deste trabalho.

A prof. Dr. Maria Aparecida Mazzi pela participação no Exame de Qualificação e sugestões de melhoria, e à prof. Dr. Ana Lúcia Gabas pelas alterações sugeridas no trabalho final.

À Fazenda Fugido pelo fornecimento da matéria-prima utilizada.

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela infraestrutura de seus laboratórios, equipamentos e funcionários.

À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos pela estrutura organizacional que possibilita a obtenção do título de mestre.

Às amigas Elika e Cristiane que trouxeram ao mestrado momentos de lazer e divertimento e o sentimento de verdadeira amizade.

Aos meus pais por estarem sempre presentes e sempre prontos a apoiar  
diretrizes da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Javier Telis Romero pela orientação, paciência e bom-humor nos momentos difíceis.

A Profª. Drª. Vânia Regina Nicolleti Telis pela co-orientação, bom senso e clareza de idéias.

Aos profs. Drs. Vivaldo Silveira Júnior e Patrícia Onofre pelas sugestões pertinentes ao trabalho e pela aceitação do convite em fazer parte da Comissão Julgadora deste trabalho.

À profª Drª Maria Aparecida Mauro pela participação no Exame de Qualificação e sugestões de melhoria, e, à profª Drª Ana Lúcia Gabas pelas alterações sugeridas no trabalho final.

À Fazenda Fugido pelo fornecimento da matéria-prima utilizada.

Ao Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pela infra-estrutura de seus laboratórios, equipamentos e funcionários.

À Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos pela estrutura organizacional que possibilita a obtenção do título de mestre.

Às amigas Elke e Crislene que trouxeram ao mestrado momentos de lazer e divertimento e o sentimento da verdadeira amizade.

Aos meus pais por estarem sempre presentes e sempre prontos a ajudar.



Aos amigos de laboratório Joel e Marcos que compartilharam dos momentos dos experimentos, quando por vezes, também auxiliaram na coleta de dados e discussões de resultados.

A tantos outros que de uma forma ou de outra participaram deste trabalho: Maria Angélica, Marialba, Molina, Leandro, Marina, Érica, Newton, Jesuíno, Ginaldo, Sueli.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, que foi de fundamental importância para a realização desta pesquisa.

"O homem pretende ser mortal e para isso  
defende princípios efêmeros. Um dia,  
inexoravelmente, descobrirá que para ser  
mortal deverá defender Princípios Absolutos.  
Neste dia, morrerá para a carne, efêmera e  
viverá para o Espírito, Eterno. Será mortal."

Dr. Celso Charuri



## SUMÁRIO

|                                    |      |
|------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS                  | III  |
| ÍNDICE DE TABELAS                  | VI   |
| NOMENCLATURA                       | VII  |
| RESUMO                             | VIII |
| ABSTRACT                           | IX   |
| 1 INTRODUÇÃO                       | 01   |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA            | 04   |
| 2.1 CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS      | 04   |
| 2.2 FINALIDADES DA SECAGEM         | 05   |
| 2.3 FUNDAMENTOS DA SECAGEM         | 09   |
| 2.4 ABACAXI                        | 23   |
| 2.4.1 PRODUÇÃO DE ABACAXI ORGÂNICO | 26   |
| 2.4.2 PRODUÇÃO DE FRUTAS           | 26   |
| 2.5 PRODUTOS ORGÂNICOS             | 37   |
| 2.6 QUALIDADE DE PRODUTO           | 37   |
| 2.7 TEXTURA                        | 37   |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS               | 37   |
| 3.1 MATÉRIA-PRIMA                  | 37   |
| 3.2 SECAGEM EM LEITO FIXO          | 45   |
| 3.3 CINÉTICA DE SECAGEM            | 61   |
| 3.4 TEXTURA                        | 63   |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO           | 67   |
| 4.1 CINÉTICA DE SECAGEM            | 67   |

"O homem pretende ser imortal e para isso defende princípios efêmeros. Um dia, inexoravelmente, descobrirá que para ser imortal deverá defender Princípios Absolutos. Neste dia, morrerá para a carne, efêmera e viverá para o Espírito, Etemo. Será imortal."

**Dr. Celso Charuri**

## SUMÁRIO

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS                                         | III  |
| ÍNDICE DE TABELAS                                         | VI   |
| NOMENCLATURA                                              | VII  |
| RESUMO                                                    | VIII |
| ABSTRACT                                                  | IX   |
| 1 INTRODUÇÃO                                              | 01   |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA                                   | 04   |
| 2.1 CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS                             | 04   |
| 2.2 FINALIDADES DA SECAGEM                                | 06   |
| 2.3 FUNDAMENTOS DA SECAGEM                                | 09   |
| 2.4 ABACAXI                                               | 23   |
| 2.4.1 PRODUÇÃO DE ABACAXI ORGÂNICO                        | 26   |
| 2.4.2 PRODUÇÃO DE FRUTAS TROPICAIS ORGÂNICAS DESIDRATADAS | 29   |
| 2.5 PRODUTOS ORGÂNICOS                                    | 30   |
| 2.6 QUALIDADE DE PRODUTOS DESIDRATADOS                    | 34   |
| 2.7 TEXTURA                                               | 39   |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS                                      | 44   |
| 3.1 MATÉRIA-PRIMA                                         | 44   |
| 3.2 SECAGEM EM LEITO FIXO                                 | 45   |
| 3.3 CINÉTICA DE SECAGEM                                   | 51   |
| 3.4 TEXTURA                                               | 53   |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO                                  | 57   |
| 4.1 CINÉTICA DE SECAGEM                                   | 57   |



|                                     |           |
|-------------------------------------|-----------|
| 4.2 TEXTURA.....                    | 63        |
| 4.3 VOLUME .....                    | 71        |
| <b>5 CONCLUSÕES</b>                 | <b>76</b> |
| <b>6 SUGESTÕES</b>                  | <b>78</b> |
| <b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> | <b>79</b> |
| <b>APÊNDICE A</b>                   | <b>85</b> |
| <b>APÊNDICE B</b>                   | <b>96</b> |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1: Curva de secagem genérica, taxa de evaporação de umidade em função da umidade. $X_C$ é a umidade crítica e $\kappa_C$ a taxa crítica correspondente .....                      | 16 |
| Figura 2.2: Curva generalizada fornecida por Análise de Perfil de Textura, TPA (Morgado e Abreu, 2001) .....                                                                               | 42 |
| Figura 3.1: Secador de leito fixo.....                                                                                                                                                     | 46 |
| Figura 3.2: Representação da disposição das bandejas dentro do secador.....                                                                                                                | 47 |
| Figura 3.3: Disposição das bandejas com as fatias dentro do secador.....                                                                                                                   | 48 |
| Figura 3.4: Entradas do secador para as bandejas. Apenas a primeira (de cima para baixo) foi utilizada .....                                                                               | 48 |
| Figura 3.5: Visão de cima do secador. Disposição dos termômetros e termo-higrômetro .....                                                                                                  | 49 |
| Figura 3.6: Sistema de regulação do ventilador e resistências, e do lado esquerdo, visor do termo-higrômetro.....                                                                          | 49 |
| Figura 3.7: Representação dos pontos feitos na fatia de abacaxi com caneta para medição do diâmetro e espessura .....                                                                      | 50 |
| Figura 3.8: Pedacos da fatia levados ao dessecador para preparação do teste TPA .....                                                                                                      | 54 |
| Figura 3.9: Dessecadores com as soluções salinas contendo as amostras de abacaxi seco em copos plásticos .....                                                                             | 55 |
| Figura 3.10: Texturômetro, com o probe cilíndrico de acrílico utilizado para a análise de textura do abacaxi seco .....                                                                    | 55 |
| Figura 4.1: Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes temperaturas estudadas (40, 50 e 60°C), com mesma espessura inicial (0,70 cm)..... | 57 |





|                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.2: Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes temperaturas estudadas (40, 50 e 60°C), com mesma espessura inicial (1,00 cm)..... | 58 |
| Figura 4.3: Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes temperaturas estudadas (40, 50 e 60°C), com mesma espessura inicial (1,30 cm)..... | 58 |
| Figura 4.4: Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes espessuras estudadas (0,70, 1,00 e 1,30 cm), com mesma temperatura (40°C).....     | 59 |
| Figura 4.5: Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes espessuras estudadas (0,70, 1,00 e 1,30 cm), com mesma temperatura (50°C).....     | 59 |
| Figura 4.6: Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes espessuras estudadas (0,70, 1,00 e 1,30 cm), com mesma temperatura (60°C).....     | 60 |
| Figura 4.7: Superfície de resposta e equação de ajuste do coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura de secagem e da espessura inicial do abacaxi.....                        | 62 |
| Figura 4.8: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo adesividade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,576$ .....       | 65 |
| Figura 4.9: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo resiliência em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,576$ .....       | 66 |
| Figura 4.10: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo dureza em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,751$ .....           | 66 |
| Figura 4.11: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo adesividade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,751$ .....      | 67 |





|                                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 4.12: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo elasticidade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,751$ .....    | 67 |
| Figura 4.13: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo pastosidade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,751$ .....     | 68 |
| Figura 4.14: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo mastigabilidade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,751$ ..... | 68 |
| Figura 4.15: Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo resiliência em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em $a_w=0,751$ .....     | 69 |
| Figura 4.16: Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma temperatura (40°C) e espessuras iniciais diferentes (0,70, 1,00 e 1,30 cm).....                             | 71 |
| Figura 4.17: Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma temperatura (50°C) e espessuras iniciais diferentes (0,70, 1,00 e 1,30 cm).....                             | 72 |
| Figura 4.18: Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma temperatura (60°C) e espessuras iniciais diferentes (0,70, 1,00 e 1,30 cm).....                             | 72 |
| Figura 4.19: Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma mesma espessura inicial (0,70 cm) e temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C).....                            | 73 |
| Figura 4.20: Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma mesma espessura inicial (1,00 cm) e temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C).....                            | 73 |
| Figura 4.21: Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma mesma espessura inicial (1,30 cm) e temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C).....                            | 74 |



ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1: Composição nutricional média do abacaxi por 100 gramas de porção comestível ..... 25

Tabela 3.1: Constantes de GAB encontradas por Nicoleti (2001) ..... 53

Tabela 4.1: Coeficientes de difusão efetivos calculados para os ensaios realizados, variando temperatura e espessura inicial da fatia ..... 61

Tabela 4.2: Constantes do polinômio de 3º grau que descreve o comportamento da taxa de secagem ..... 63

Tabela 4.3: Análise de significância das variáveis temperatura e espessura em relação aos atributos de textura da amostra ..... 65

## NOMENCLATURA

$a$  = constante da equação (2.6)

$a_w$  = atividade de água

$c$  = constante da equação (2.7)

$C$  = constante de GAB, adimensional

$D$  = coeficiente de difusão,  $[L^2 \theta^{-1}]$

$h$  = coeficiente de transferência de calor,  $[F L^{-1} T^{-1} \theta^{-1}]$

$K$  = constante da Equação de GAB, adimensional

$L$  = espessura,  $[L]$

$M$  = umidade adimensional

$Na$  = fluxo mássico,  $[M \theta^{-1} L^{-2}]$

$T$  = temperatura,  $[T]$

$t$  = tempo,  $[\theta]$

$V$  = volume da amostra,  $[L^3]$

$X$  = umidade da amostra

$X_m$  = teor de umidade na monocamada

### Letra Grega

$\lambda$  = calor latente de vaporização da água,  $[F L M^{-1}]$

### Sub-índices

$ap$  = aparente

$bu$  = bulbo úmido

$c$  = crítica

$ef$  = efetivo

$eq$  = equilíbrio

$g$  = ar

$o$  = inicial





## RESUMO

Neste trabalho estudou-se a influência da temperatura de secagem e espessura inicial da amostra na cinética de secagem e nos atributos de textura de abacaxi orgânico desidratado em secador de leito fixo. A velocidade foi mantida a 1,5 m/s em todos os ensaios. As temperaturas estudadas foram: 40, 50 e 60°C, e, as espessuras de: 0,70, 1,00 e 1,30 cm. Foram calculados os coeficientes de difusão efetivos a partir do ajuste dos pontos experimentais de cinética de secagem pela solução analítica da 2ª Lei de Fick, considerando-se geometria de placa infinita, com ambas as faces expostas à secagem, transferência de massa unidirecional e desprezível resistência externa à transferência de massa. A textura foi analisada a partir do método TPA (Texture Profile Analysis) no texturômetro TA-XT2i. Para melhor interpretar os resultados da cinética de secagem, o volume das fatias foi determinado durante os ensaios, a partir de medidas da espessura e diâmetro. Observou-se que quanto maior a temperatura e maior a espessura inicial das fatias, maior o coeficiente de difusão efetivo. Quando a espessura da fatia é mais grossa, a temperatura causa uma influência maior na cinética de secagem. Quando a temperatura é menor, a variação de espessura causa maior influência na cinética. Quanto à textura, observou-se que a variação da espessura inicial exerce maior influência aos atributos de textura que a variação da temperatura de secagem.



## ABSTRACT

In this work it was studied the influence of the drying temperature and initial thickness of the sample in the drying kinetics and in the attributes of texture of dehydrated organic pineapple in a fixed bed dryer. The air velocity was maintained to 1,5 m/s in all of the rehearsals. The studied temperatures were: 40, 50 and 60°C, and, the thickness of: 0,70, 1,00 and 1,30 cm. The effective diffusion coefficients were calculated by the adjustment of the experimental points of kinetics drying for the analytical solution of the second Fick's Law, being considered geometry of infinite plate, with both exposed faces, one-direction mass transfer and despicable external resistance to the mass transfer. The texture was analyzed using the method TPA (Texture Profile Analysis) in equipment TA-XT2i. The volume of the slices was determined during the rehearsals, with measures of the thickness and diameter. It was observed that as larger the temperature and larger the initial thickness of the slices, larger the effective diffusion coefficient. When the thickness of the slice is thicker, the temperature causes a larger influence in the drying kinetics. When the temperature is smaller, the variation of thickness causes larger influence in the kinetics. As for the texture, it was observed that the variation of the initial thickness exercises larger influence to the texture attributes that the variation of the drying temperature.





## 1 INTRODUÇÃO

Desde os anos 90, observa-se uma crescente conscientização dos consumidores sobre a importância da qualidade e valor nutricional dos alimentos processados. Além disso, o requerimento governamental obrigatório sobre a rotulagem dos nutrientes tem estimulado as pesquisas sobre as condições de processamento que conduzem à otimização da qualidade final dos produtos. Dessa forma, espera-se um aperfeiçoamento contínuo dos processos, possivelmente pelo aumento sobre o conhecimento da cinética da deterioração do alimento, pelo avanço dos métodos analíticos e pela disponibilidade de métodos numéricos e computacionais que podem simular o comportamento de sistemas complexos.

Na desidratação ou secagem de alimentos, a relação entre as condições de processamento e a qualidade do produto é bastante complexa em relação a outros processos, devido às grandes variações de temperatura e umidade ocorridas durante a secagem. As taxas de degradação dos atributos da qualidade freqüentemente são funções da umidade e da temperatura.

Entre as alterações sofridas pelos produtos alimentícios durante a desidratação pode-se mencionar as modificações de sua estrutura física, as quais afetam a textura, a capacidade de reidratação e aparência (cor, encolhimento), além da ocorrência de reações químicas

indesejáveis, como o escurecimento, a desnaturação de proteínas, a oxidação de lipídeos, etc., com uma posterior perda do valor nutricional do produto.

A cinética de secagem exerce grande influência sobre os atributos físicos e sensoriais de produtos desidratados, uma vez que estes são diretamente afetados pelo tempo que o alimento permanece exposto às temperaturas usuais de secagem. Assim, torna-se importante a decisão sobre a melhor combinação de temperatura de secagem e espessura inicial a ser adotada para um determinado produto.

As frutas desidratadas, desde que apresentem um conjunto adequado de atributos sensoriais, têm exercido um forte apelo entre parcelas da população interessadas em consumir alimentos naturais, ricos em fibras e nutritivos. O uso de matéria-prima obtida por cultivo orgânico deve contribuir para fortalecer esse apelo, principalmente na exportação para países desenvolvidos, cujos consumidores mostram-se dispostos a pagar mais por alimentos de qualidade garantida.

À luz de tais considerações, o objetivo deste trabalho foi a determinação experimental da influência da espessura da fatia de abacaxi e da temperatura de secagem no coeficiente efetivo de difusão de água do abacaxi, em secagem de leito de fixo e a consequência destas variáveis nos atributos de textura da fruta seca.

Acredita-se que o presente trabalho é de grande interesse para fruticultores e cooperativas interessados em preservar excedentes



de produção e/ou comercializar produtos de maior valor agregado, além de aumentar o leque de informações a respeito de produtos orgânicos.

## 2.1 CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS

O alimento é uma exigência crítica para a sobrevivência do homem e por isso tem sua importância na nossa vida cotidiana e em todos os aspectos econômicos, políticos e até sociais (CAMARGO, 1984).

Muito antes da Revolução Industrial, no início da vida urbana, os homens obtinham seus alimentos por meio da pesca, caça e agricultura de subsistência, meios que dependiam do clima, do solo, da disponibilidade de animais, ou seja, dependiam do auxílio da natureza. Os alimentos eram, então, abundantes algumas vezes, e escassos outras (CAMARGO, 1984).

Com o avanço da civilização, o homem tendeu a agrupar-se em cidades, abandonando o campo, o regime pastoril, para dedicar-se à ocupação industrial. Surgiram as grandes cidades, as modernas metrópoles, e as áreas vizinhas, cada vez mais cheias de fábricas, afastaram para mais longe as terras destinadas à produção de alimentos, causando um problema de suprimento para os habitantes. Assim, o homem teve que se concentrar em diversos fatores capazes de afetar os alimentos: assegurar suficiente disponibilidade, desenvolver meios de conservação, de forma a tê-los em tempos de escassez, aprender métodos de processamento para aumentar a variedade e atratividade dos alimentos, conhecer os aspectos médicos e nutricionais





## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONSERVAÇÃO DOS ALIMENTOS

O alimento é uma exigência crítica para a sobrevivência do homem e por isso tem sua importância na nossa vida cotidiana e em todos os aspectos econômicos, políticos e até sociais (CAMARGO, 1984).

Muito antes da Revolução Industrial e do início da vida urbana, os homens obtinham seus alimentos por meio da pesca, caça e agricultura de subsistência, meios que dependiam do clima, do solo, da disponibilidade de animais, ou seja, dependentes do auxílio da natureza. Os alimentos eram, então, abundantes algumas vezes, e escassos outras (CAMARGO, 1984).

Com o avanço da civilização, o homem tendeu a congrega-se em cidades, abandonando o campo, o regime pastoril, pela ocupação industrial. Surgiram as grandes cidades, as modernas megalópolis, e as áreas vizinhas, cada vez mais cheias de fábricas, afastaram para mais longes as terras destinadas à produção de alimentos, causando um problema de suprimento para os habitantes. Assim, o homem teve que se concentrar em inúmeros fatores capazes de afetar os alimentos: assegurar suficiente disponibilidade; desenvolver meios de conservação, de forma a tê-los em tempos de escassez; aprender métodos de processamento, para aumentar a variedade e atratividade dos alimentos; conhecer os aspectos médicos e nutricionais,





para balancear as dietas alimentares; e saber como minimizar as doenças que os alimentos poderiam causar (CAMARGO, 1984).

Embora as ciências só se desenvolvessem com lentidão, ainda assim o homem pôde aprender certas técnicas de conservação de alimentos, muitas delas empregadas até hoje (CAMARGO, 1984).

A secagem de alimentos é conhecida desde tempos imemoriais. Provavelmente teve origem nos desertos ou nos lugares de bastante altitude, onde o clima é seco e árido. A Bíblia fala de figos e uvas secos, já conhecidos nas antigas Palestina e Mesopotâmia (CAMARGO, 1984). De tempos imemoriais é também o emprego do sal como agente preservativo. Documentos registram o fornecimento de peixe salgado às civilizações do Egito e Mesopotâmia (CAMARGO, 1984).

A fermentação já era usada pelos assírios, babilônios e egípcios, que empregavam cevada para produção de suas bebidas alcoólicas. O emprego de temperaturas frias, inclusive do congelamento, nasceu dos povos árticos, pela utilização de suas próprias condições naturais. O uso de sementes de mostarda, tanto como condimento como preservativo, teve origem oriental (CAMARGO, 1984).

Apesar de todos os efeitos benéficos dos processos descritos, estes pouco podiam evoluir, pois a microbiologia e a nutrição ainda eram desconhecidas, e, a química começava a ser desenvolvida. Por muitos séculos nenhuma invenção de destaque ocorreu no campo de preservação de alimentos (CAMARGO, 1984).



Em 1810, a conservação de alimentos ganhou um impulso. O método de processamento através do emprego de calor combinado com fechamento hermético acabava de ser desenvolvido pelo "chef" francês Nicholas Appert. O acerto da teoria de Appert foi mostrado pelos trabalhos de Pasteur, entre 1860 e 1864, sobre a destruição dos microrganismos pelo calor (CAMARGO, 1984).

Appert chegou a receber um prêmio em dinheiro por Napoleão Bonaparte, que, preocupado com seu exército, procurava alguém que lhe fornecesse uma maneira de conservar alimentos por períodos longos e o mais próximo das qualidades naturais (CAMARGO, 1984).

Desde então, e paradoxalmente, as guerras têm trazido uma notável contribuição à ciência e à tecnologia de alimentos. A Segunda Grande Guerra representou uma expansão ainda mais significativa neste sentido (CAMARGO, 1984).

Os historiadores reconhecem que os novos métodos de preservar alimentos, o desenvolvimento dos processamentos e conhecimento do valor nutricional fizeram aumentar a população mundial e criar melhores condições sociais (CAMARGO, 1984).

## 2.2 FINALIDADES DA SECAGEM

A desidratação é uma técnica de preservação, na qual o teor de umidade é reduzido até um nível em que o produto fica





relativamente estável quimicamente. Vida de prateleira mais longa, diversidade de produto e redução de volume são razões para a popularidade de frutas secas e vegetais, e isto pode ser expandido com melhoramentos na qualidade do produto e aplicações do processo (PRAKASH, S., JHA, S. K. & DATTA, N., 2004)

→ Em países em desenvolvimento, torna-se uma característica comum ver um tipo de invasão do produto em mercados locais por um período relativamente curto e naturalmente ser vendido por preços baixos, e então desaparecem na próxima estação. Isto leva a retorno mínimo financeiro para os produtores. O produto agrícola seco pode ser vendido durante a entressafra para render mais lucro. Devido a redução no volume e peso do produto seco, o custo de transporte se reduz e então o produto seco pode ser transportado para lugares distantes, onde alcança maior preço. Além disso, devido ao aumento da vida de prateleira do produto seco, ele pode ser vendido no tempo apropriado do ano (SINGH, S., SINGH, P. P., DHALIWAL, S. S., 2004).

**diversos secar** Muitos dos países do terceiro mundo produzem grandes quantidades de frutas e legumes para consumo local e exportação. De acordo com a Organização de Agricultura e Alimento (FAO, 1991), as estimativas para 1990 foram aproximadamente 341,9 milhões de toneladas métricas. Muitas destas frutas e legumes contêm grande quantidade de conteúdo de umidade inicial e são altamente suscetíveis a rápida degradação. Além disso, ao empregar sistemas confiáveis de



estocagem, os métodos de pós-colheita, tais como a secagem, podem ser implementados juntos para converter estes produtos perecíveis em produtos mais estabilizados que podem ser mantidos sob condições mínimas de controle por um período de tempo mais extenso (CHUA & CHOU, 2003).

A maioria das indústrias de alimentos emprega equipamentos de secagem tais como liofilizadores, spray dryers, secadores de tambor e secadores a vapor. Os preços destes secadores são significativamente altos e apenas grandes indústrias geram recursos para custeá-los. Devido ao alto custo inicial, as indústrias de pequeno porte e produtores não têm como pagar pela tecnologia de alta qualidade de secagem. Ao lado da procura por tecnologias mais baratas, as pequenas indústrias e produtores buscam pela facilidade de uso e sistemas práticos de secagem (CHUA & CHOU, 2003).

Chua & Chou (2003) fizeram um estudo de diferentes tipos de secadores para produtos agrícolas alimentícios, e, propuseram diversos secadores de baixo custo para aplicação em áreas produtivas, onde matéria-prima e mão-de-obra são disponíveis. Os secadores propostos possuíam as seguintes características:

- Baixo custo de capital inicial;
- Facilidade em fabricar com materiais disponíveis;
- Facilidade de operação (sem complicação eletrônica ou mecânica);



- Promover efetivamente melhor cinética de secagem e qualidade do produto que o método de secagem direta ao sol;
- Facilidade em manter todas as partes e componentes;
- Simples substituição das partes durante pane.

Os secadores de baixo custo encontrados por Chua & Chou (2003) foram: Secador de Leito Fluidizado, Secador de Leito Tipo Jorro, Secagem Infravermelho, Secadores Convectivos de Baixo Custo e Secador Solar.

Lahtasni et al (2004) utilizou um secador solar indireto de convecção forçada com um coletor solar de ar, um aquecedor auxiliar, um ventilador de circulação e um gabinete de secagem para secar pêra e verificou que uma temperatura mais alta do ar de secagem produziu uma taxa de secagem mais alta e conseqüentemente a razão de umidade diminuiu. Segundo Kouhila (2001) e Kouhila et al. (2002), isto é devido ao aumento da taxa de abastecimento de ar aquecido para o produto e a aceleração da migração de água dentro da pêra. A taxa de secagem não varia muito em função da taxa de fluxo de ar que parece ter um efeito menos importante que a temperatura do ar de secagem, como notado em outros estudos (KOUHILA, 2001; KOUHILA et al., 2002).

## 2.3 FUNDAMENTOS DE SECAGEM

Desde que os vegetais, as frutas, os ovos e leite, são obtidos, e desde que os alimentos são elaborados, neles se iniciam



processos físicos, químicos e biológicos, que alteram suas qualidades sensoriais e sanitárias. O grau dessa alteração está condicionado a inúmeras causas ligadas à composição dos alimentos, à presença de enzimas e de microrganismos e a outros fatores, capazes de desencadear, neutralizar ou frear o processo de deterioração.

Os frutos, entre outros alimentos, em seu estado "*in natura*" apresentam uma grande quantidade de água. Esta água e mais fatores como temperatura, presença de oxigênio e outros, promovem um ambiente propício ao crescimento de fungos e organismos responsáveis pela degradação do alimento armazenado, bem como reações químicas internas (CHUNG E CHANG, 1982).

→ A água é um dos componentes dos alimentos que os microrganismos mais necessitam para o seu desenvolvimento. A redução da água livre do alimento eleva a pressão osmótica do meio e conseqüentemente reduz as condições de desenvolvimento microbiano. Nessas condições, as enzimas responsáveis por determinadas alterações nos alimentos, também têm suas atividades reduzidas (SILVA, 2000).

O conceito de umidade hoje difere um pouco do que prevalecia até algum tempo atrás. Não é o conteúdo de água ou de umidade que dá a idéia da disponibilidade aos agentes deteriorantes e sim a sua condição no alimento. Muitas vezes um alimento com uma maior umidade tem menos água disponível que um alimento com menor umidade. Isto depende das condições em que esta água está ligada aos





componentes do alimento. É a atividade de água que dá a idéia correta da disponibilidade de água nos alimentos, independentemente do seu valor quantitativo (SILVA, 2000). A atividade de água é parte dos fatores que afetam o desenvolvimento microbiano.

Dentre vários métodos de conservação de frutos pode-se citar a desidratação, que consiste na remoção parcial da água contida nele. Com a redução nos teores de umidade constata-se uma diminuição na atividade enzimática bem como uma menor taxa de proliferação dos microrganismos causadores da deterioração (CHUNG E CHANG, 1982).

A desidratação parcial ou total visa a redução da atividade d'água de um alimento, a qual pode ser relacionada intimamente com a sua estabilidade física, química e microbiológica. Um outro objetivo que se torna importante na desidratação é a sensível diminuição no volume, visto que o fruto "*in natura*" contém uma quantidade maior de água. Além da diminuição do volume, o fruto "*in natura*" requer cuidados especiais no seu transporte e armazenamento devido a sua estrutura frágil, onde a desidratação promove um aumento na estabilidade física proporcionada por uma maior maleabilidade, facilitando consideravelmente o transporte (CHUNG E CHANG, 1982).

A desidratação pode ser definida como sendo uma operação na qual uma separação líquido-sólido é alcançada por fornecimento de calor, com resultante separação da parcela líquida. Embora na maioria dos casos a água é o líquido que se deve remover,





existem casos em que se utiliza o mesmo processo para obter evaporação de solventes (LAND, 1991).

 A conservação de frutos e hortaliças mediante desidratação apresenta-se como um importante desafio, pois, devido à constituição destes produtos, a eliminação da água deve ser realizada de modo que o dano sobre sua qualidade seja mínimo, resultando num produto seco que possa ser re-hidratado até um produto praticamente de mesma qualidade que o original. Para se obter estes resultados com produtos vegetais desidratados os processos de transferência de calor e massa devem ser otimizados. Para o desenvolvimento do processo é necessária uma cuidadosa análise do efeito destes fenômenos de transporte na estrutura do alimento. Só mediante um conhecimento e análise destes processos poderá obter-se um alimento de ótima qualidade (SINGH E HELDMAN, 1998).

 A desidratação pode ser realizada segundo várias técnicas, mas basicamente os princípios de secagem são os mesmos. Trata-se da utilização da energia térmica para remoção de parte ou quase totalidade da água do produto ou dos frutos (TRAVAGLINI, AGUIRRE E SILVEIRA, 2001). E esta água é retirada da superfície mediante ventilação forçada ou mesmo por convecção natural.

A velocidade e o tempo de secagem, segundo Holdsworth (1971), são afetados pelas propriedades físicas do produto (tamanho e forma), pela disposição do produto no equipamento de secagem



(espessura da camada do produto), condições de secagem (temperatura, umidade relativa e velocidade do ar), características do equipamento de secagem (mecanismo de transferência de calor), composição química e estrutura do produto. O processo de desidratação pode ser dividido em dois: (a) o período de velocidade constante e (b) o período de velocidade decrescente.

Após um pré-aquecimento inicial, o período de taxa constante de secagem se inicia. Neste período, constata-se um excesso de umidade na camada mais externa do produto, e a evaporação ocorre pela retirada desta umidade superficial. Por sua vez, o movimento das partículas de água no interior até a camada externa se dá por um processo de difusão dessas moléculas. Este período permanece enquanto a umidade existente é capaz de abastecer a camada superficial.

O período de velocidade constante está caracterizado pela evaporação, devido à migração de água desde as camadas mais profundas até a superfície, enquanto exista umidade suficiente para manter o excesso desta na superfície (ELUSTONDO, ELUSTONDO & URBICANI, 2001).

Segundo Puiggali (1993), citado por Pinheiro (2004), o período de taxa constante de secagem é caracterizado por uma abundante quantidade de água livre na superfície do produto e um regime isotérmico, onde a temperatura do produto se aproxima da temperatura de bulbo úmido do ar de secagem. Esta fase continua enquanto o suprimento





de água da superfície de evaporação é mantido na mesma taxa de evaporação de água.

No período de velocidade decrescente, como o teor de umidade é diminuído pela desidratação, a velocidade do movimento interno de umidade decresce e a velocidade de desidratação cai mais rapidamente que no período anterior. Em um determinado ponto o conteúdo de umidade do produto atinge o conteúdo de umidade de equilíbrio para determinada condição de desidratação, cessando a transferência de massa (CHUNG E CHANG, 1982).

A técnica mais utilizada na produção de frutas e hortaliças desidratadas é a secagem por ar quente, onde uma batelada do material a ser seco, usualmente na forma de pequenos pedaços ou fatias, é submetida a uma corrente de ar quente paralela ou perpendicular ao leito de sólidos.

A desidratação é uma operação unitária que envolve a transferência simultânea de calor e massa. A transferência de calor, necessária para evaporação da umidade, é geralmente baseada no mecanismo de convecção. Quanto à transferência de massa, existem dois aspectos importantes a serem considerados: o transporte da água no interior do sólido a ser seco até a superfície e a remoção do vapor a partir da mesma. O processo, usualmente representado por uma curva de secagem (Figura 2.1), pode ser dividido em três fases, descritas abaixo.





1ª Fase (AB) – Aquecimento do material até a temperatura de secagem desejada: a elevação da temperatura causa um rápido aumento na taxa de secagem.

2ª Fase (BC) – Período de taxa constante: a velocidade de transferência de massa (da água) no interior do sólido poroso é igual à velocidade de evaporação da água na superfície do mesmo.

3ª Fase (CD) – Período de taxa decrescente: a velocidade de transferência de massa no interior do sólido é menor que a taxa de evaporação na superfície, ocorre a elevação da temperatura do produto.

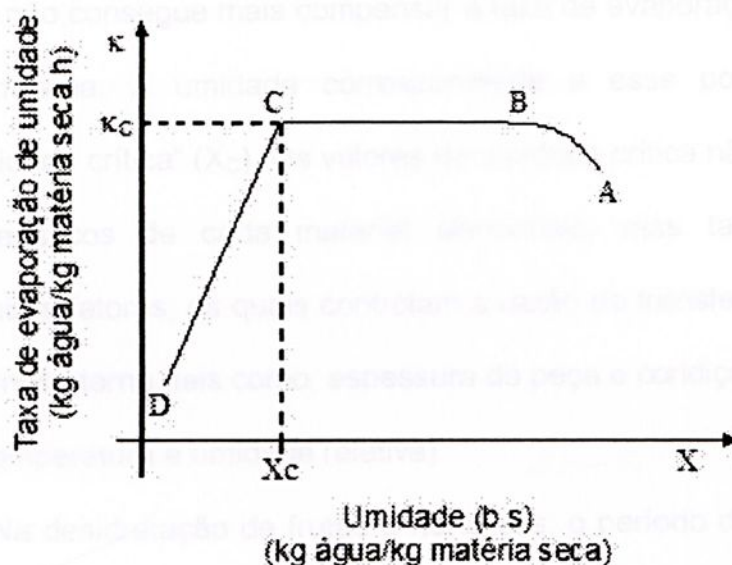
No estudo da secagem, depois da obtenção das curvas e da caracterização dos períodos de secagem, é interessante descrever o processo matematicamente, de forma que as equações obtidas possam ser utilizadas no próprio estudo da cinética de secagem ou em projetos de secadores.

$$N_s = \frac{h(T_a - T_{wv})}{\lambda} \quad (2.1)$$

onde  $N_s$  é o fluxo mássico,  $h$  é o coeficiente de transferência de calor,  $T_a$  é a temperatura do ar,  $T_{wv}$  é a temperatura de bulbo úmido do ar e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água a  $T_{wv}$ .

De acordo com Chirife (1953), o fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água





**Figura 2.1** - Curva de secagem, taxa de evaporação de umidade em função da umidade.  $X_c$  é a umidade crítica e  $\kappa_c$  a taxa crítica correspondente.

No período de secagem em taxa constante (BC), a água evapora de acordo com o fornecimento de calor para o sólido úmido e, portanto, a transferência de calor gás-sólido controla o processo. Como todo calor transferido é convertido em calor latente, pode-se representar a taxa de secagem da seguinte forma (NICOLETI et al., 2001):

$$Na = \frac{h(T_g - T_{bu})}{\lambda} \quad (2.1)$$

onde  $Na$  é o fluxo mássico,  $h$  é o coeficiente de transferência de calor,  $T_g$  é a temperatura do ar,  $T_{bu}$  é a temperatura de bulbo úmido do ar e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água a  $T_{bu}$ .

De acordo com Chirife (1983), o fim do período de taxa constante corresponde ao instante em que a migração interna de água

para a superfície não consegue mais compensar a taxa de evaporação da água livre da mesma. A umidade correspondente a esse ponto é denominada "umidade crítica" ( $X_c$ ). Os valores da umidade crítica não são somente característicos de cada material alimentício, mas também dependem de outros fatores, os quais controlam a razão da transferência de umidade interna/externa, tais como, espessura da peça e condições do ar (velocidade, temperatura e umidade relativa).

Na desidratação de frutas e hortaliças, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase, as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda pode conter quantidades significativas de água. A partir desse ponto, o processo consome grandes quantidades de energia e os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados, devido à elevação da temperatura (NICOLETI et al., 2001).

O período de taxa decrescente (CD), segundo Chirife (1983), se inicia quando a migração interna de umidade passa a controlar o processo. Para a primeira fase do período de taxa decrescente, a migração de água ocorre principalmente por escoamento capilar, difusão de líquido e difusão de vapor, podendo estes mecanismos ocorrerem simultaneamente.

Para descrever o processo de secagem no período de taxa decrescente, utilizam-se modelos teóricos, semi-teóricos e empíricos.





Esses modelos são geralmente baseados no fenômeno de transferência de massa, negligenciando-se o efeito de transferência de calor.

De acordo com Daudin (1983), a teoria de migração de água por difusão pode ser escrita exclusivamente com a lei de Fick, expressa em termos do gradiente de umidade, que enfoca principalmente o estudo dos efeitos globais do fenômeno interno, não descrevendo os possíveis mecanismos de migração.

O modelo teórico utilizado para interpretar a secagem de alimentos e de produtos agrícolas é a teoria da difusão da água como líquido ou vapor, representada pela equação da difusão, derivada da lei de Fick (CRANK, 1975):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \nabla(D_{ap} \nabla X) \quad (2.2)$$

onde X é a umidade em base seca, t é o tempo e  $D_{ap}$  é a difusividade aparente.

Como o fenômeno de migração é complexo, trabalha-se com a difusividade efetiva, que engloba todos os efeitos que podem intervir nesse fenômeno. As soluções analíticas para a equação da difusão, assumindo que a resistência ocorre numa fina camada na superfície das partículas, como o modelo de Lewis, analogo a lei de resfriamento de Newton, que na sua forma integrada é comumente chamada de modelo exponencial. Este modelo estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre numa equação da seguinte forma (PARRY, 1985):

Considerando-se que o sólido seja uma placa plana com ambas as superfícies expostas ao ar de secagem, de difusividade constante, variação do volume desprezível e que o efeito do gradiente de



temperatura no interior da amostra também seja desprezível, tem-se a seguinte solução analítica (CRANK, 1975):

$$M = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[ - (2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ap} t}{L^2} \right] \quad (2.3)$$

onde M é a umidade adimensional  $(X - X_{eq})/(X_0 - X_{eq})$ , X é a umidade da partícula em base seca,  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio em base seca,  $X_0$  é a umidade inicial em base seca,  $D_{ap}$  é a difusividade aparente, t é o tempo e L é a espessura da amostra.

A maioria dos cereais (arroz, trigo, feijão, soja, etc.) apresentam uma pequena mudança de volume durante a secagem. Desta maneira, a solução analítica pode ser aplicada satisfatoriamente no estudo destes materiais. Para alimentos de alto conteúdo de água como a maioria das frutas (uva, caqui, abacaxi, maçã, etc.) a variação de volume é grande e, por esta razão, as soluções analíticas não podem ser aplicadas de forma exata e devem ser consideradas como aproximações da solução real.

Alguns modelos semi-teóricos são baseados na teoria da difusão, assumindo que a resistência ocorre numa fina camada na superfície das partículas, como o modelo de Lewis, análogo à lei de resfriamento de Newton, que na sua forma integrada é comumente chamada de modelo exponencial. Este modelo estabelece que a taxa de secagem é proporcional ao teor de água livre dada pela equação abaixo (PARRY, 1985):





$$\frac{dX}{dt} = -K_4(X - X_{eq}) \quad (2.4)$$

onde o fator de proporcionalidade  $K_4$  é denominado de constante de secagem,  $X$  é a umidade absoluta e  $X_{eq}$  é a umidade de equilíbrio.

A equação acima é normalmente utilizada na forma integrada como:

$$M = \exp(-K_4 t) \quad (2.5)$$

onde  $M$  é a umidade adimensional,  $t$  é o tempo e  $K_4$  a constante de secagem.

A equação (2.5) pode ser apresentada com duas importantes modificações do modelo exponencial na forma integrada com dois e três parâmetros, que apresentam bons ajustes experimentais, sendo dadas pelas equações:

$$M = a \cdot \exp(-K_4 t) \quad (2.6)$$

$$M = c \cdot \exp(-K_4 t^n) \quad (2.7)$$

A equação (2.6) é similar à solução do modelo de Fick (equação 2.3) para tempos de secagem longos, quando apenas o primeiro termo da solução em série for significativo, ou seja,  $m=1$  (MC CORMICK, 1983). Esta correlação é utilizada por muitos pesquisadores da área de secagem para determinação da difusividade aparente a partir da constante de secagem, como observado nos trabalhos de Mazza & Lemaguer (1980) para cebola, Aguerre et al. (1982) para arroz, Carbonell et al. (1986) para pimenta, Saravacos & Raouzeous (1986) para amido,





Yusheny & Poulsen (1988) para batata e Tobinaga & Pinto (1992) para filés de peixes. A relação entre estes parâmetros é :

$$K_4 = \frac{\pi^2 D_{ef}}{4.L^2} \quad \text{para lâminas (secagem por um lado)}$$

$$K_4 = \frac{\pi^2 D_{ef}}{L^2} \quad \text{para lâminas (secagem pelos dois lados)}$$

$$K_4 = \frac{\pi^2 D_{ef}}{r^2} \quad \text{para esferas}$$

A equação (2.7) é conhecida como modelo de Page, sendo freqüentemente utilizada nos estudos da secagem de produtos agrícolas, em particular para grãos e sementes, por apresentar excelentes resultados (PARTI & DUGMANICS, 1990; PATHAK et al., 1991). Misra & Brooker (1980) compilaram dados de secagem de milho em camada fina, de nove fontes diferentes, e os ajustaram através da Equação de Page, observando que  $n$  reflete a resistência interna à secagem, enquanto  $K$  representa os efeitos das condições externas. Gabas (1998) estudou a influência da temperatura e pré-tratamento químico na secagem de uva da variedade Itália, ajustando a equação de Page aos dados experimentais, a qual representou satisfatoriamente as curvas de secagem. Os resultados mostraram uma dependência linear do parâmetro "K" da Equação de Page com a temperatura do ar de secagem e do parâmetro "n" com a concentração de oleato utilizado no pré-tratamento químico das uvas.



Segundo Van Arsdel et al. (1973), o fator que mais influencia a taxa de secagem é a natureza da matéria prima, compreendendo constituição química e física das paredes das células.

Vagenas et al. (1990), ao estudarem a secagem de alimentos, verificaram que dentre as dificuldades ou problemas encontrados durante a secagem, tem-se a complexidade da composição e estrutura do alimento e mais especificamente:

- os coeficientes de transferência de calor e massa, bem como as propriedades termodinâmicas do alimento, são funções da temperatura e umidade, de forma que a equação diferencial resultante do novo sistema torna-se não linear e somente pode ser resolvida por métodos numéricos;

- o alimento encolhe consideravelmente, ocasionando mudanças no tamanho e forma, afetando a taxa de secagem. A maioria dos autores negligencia o encolhimento considerando seus efeitos na difusividade efetiva ou aparente. Quando o encolhimento é considerado, seu efeito é reconhecido somente como decréscimo nas dimensões da amostra.

O estudo do encolhimento é de grande importância para um melhor entendimento do processo de secagem. Suarez & Viollaz (1991), analisando a secagem de batata, compararam o uso da segunda lei de Fick com difusividade constante e sem encolhimento e da lei de Fick de difusão com encolhimento, encontrando resultados diferentes.





Alguns pesquisadores têm admitido que o decréscimo do volume durante a secagem seja equivalente ao volume removido de umidade e por isso, durante a secagem do produto, seu volume decresce linearmente com a umidade (LOZANO et al., 1983).

## 2.4 ABACAXI

O abacaxi é uma infrutescência, ou seja, um conjunto de pequeníssimos frutos ou bagas que se desenvolvem em torno de um eixo ou miolo. O fruto inteiro tem forma cilíndrica ou cônica (frutos maiores na base), com rebentos na base e coroa de folhas no ápice.

De perfume forte e sabor variado, ora dulcíssimo, ora bastante ácido, o abacaxi é, seguramente, uma das frutas tropicais mais populares do mundo. Devido à sua excelente qualidade sensorial, sua beleza e à existência da coroa, desde há muito o abacaxi faz jus ao cognome de rei dos frutos. Provavelmente nativo do sul da América do Sul, da região onde hoje fica o Paraguai, o abacaxi foi carregado por toda a América pelos índios Guaranis, tornando-se espécie cultivada pelas populações autóctones até a região da América Central e Caribe muito antes da chegada dos europeus.

É um autêntico produto de regiões tropicais e subtropicais, altamente consumido em todo o mundo, sobretudo sob a forma de compotas e sucos. Além disso, presta-se também para a fabricação de doces cristalizados, geléias, sorvetes, cremes, gelatinas e





pudins. A qualidade dos frutos é atribuída às suas características físicas externas (coloração da casca, tamanho e forma do fruto), e internas conferidas por um conjunto de constituintes físico-químicos e químicos da polpa, responsáveis pelo sabor, aroma e valor nutritivo.

O abacaxi não é fruta calórica, mas seu conjunto contém altas porcentagens de vitaminas, A, B e C, assim como carboidratos, sais minerais e fibras. A Tabela 2.1 apresenta a composição nutricional média do abacaxi.

No Brasil, cultivam-se as variedades Pérola, a preferida pelo mercado *in natura*, e Smooth Chayenne ou Havaiana, que produz um fruto maior, mais ácido e resistente e que, por isso mesmo, é normalmente destinada à exportação e às indústrias de compotas e de sucos (NICOLETI et al, 2001).

Fonte: Salunke et al. (1991) e Franco (1992) conforme disponível em <http://www.nucleoestudo.org.br/efru/Tabela2.htm>

O abacaxi possui ação anti-inflamatória não bem compreendida; uma teoria é que as enzimas bromelina e chitinase bloqueiam as prostaglandinas que fazem parte do inchaço. Essas enzimas têm sido usadas com grande sucesso para tratar artrite reumatóide e para acelerar a cicatrização de tecidos como resultado de ferimentos, úlceras diabéticas e cirurgias em geral. As enzimas bromelina estão presentes no abacaxi cru ou no suco da fruta fresca, embora de maneira mais diluída do que as enzimas usadas na pesquisa (IRMÃOS BENASSI).

**Tabela 2.1** - Composição nutricional média do abacaxi por 100 gramas de porção comestível.

|                    |          |
|--------------------|----------|
| <b>Vitamina A</b>  | 16,65 UI |
| <b>Tiamina</b>     | 80 mg    |
| <b>Riboflavina</b> | 128 mg   |
| <b>Vitamina C</b>  | 27,2 mg  |
| <b>Niacina</b>     | 0,82 mg  |
| <b>Energia</b>     | 52,0 cal |
| <b>Carboidrato</b> | 13,70 g  |
| <b>Proteínas</b>   | 0,40 g   |
| <b>Gordura</b>     | 0,20 g   |
| <b>Cálcio</b>      | 18,0 mg  |
| <b>Potássio</b>    | 82,9 mg  |
| <b>Fósforo</b>     | 8,0 mg   |
| <b>Ferro</b>       | 0,5 mg   |
| <b>Sódio</b>       | 10,6 mg  |
| <b>Magnésio</b>    | 15 g     |
| <b>Fibra</b>       | 0,95 g   |

Fonte: Salunkhe et al. (1991) e Franco (1992) conforme disponível em <http://www.nucleoestudo.ufla.br/nefrut/Tabela2.htm>

O abacaxi possui ação antiinflamatória não bem compreendida; uma teoria é que as enzimas bromelina bloqueiam as prostaglandinas que fazem parte do inchaço. Essas enzimas têm sido usadas com grande sucesso para tratar artrite reumatóide e para acelerar a cicatrização de tecidos como resultado de ferimentos, úlceras diabéticas e cirurgias em geral. As enzimas bromelina estão presentes no abacaxi cru ou no suco da fruta fresca, embora de maneira mais diluída do que as enzimas usadas na pesquisa (IRMÃOS BENASSI).



Como as enzimas do abacaxi agem especificamente para hidrolizar as proteínas, ajudam a facilitar a digestão. Suas enzimas limitam a tendência para formar coágulos de sangue, e estudos sugerem que elas podem melhorar a circulação nos indivíduos com artérias estreitas, ou que sofrem de angina. As enzimas do abacaxi são destruídas com o cozimento da fruta e a pasteurização do suco, mas a fruta fresca e o suco da fruta fresca as retém (IRMÃOS BENASSI).

#### 2.4.1 Produção de abacaxi orgânico

Durante o ano de 2002, o consumo de abacaxi orgânico fresco superou 1200 toneladas nos quatro maiores mercados da União Européia (Alemanha, França, Reino Unido e Holanda), enquanto os Estados Unidos tiveram um consumo estimado em 1000 toneladas anuais (CENTENO, 2003).

Ainda que a comercialização de abacaxi orgânico na União Européia date dos últimos anos da década de 90, o mercado ainda é insipiente, inclusive por limitações técnicas que restringem a oferta. A maior barreira existente para a produção de abacaxi orgânico continua sendo a proibição do uso de etileno para induzir a floração (CENTENO, 2003).

Atualmente, a União Européia conta com o abastecimento constante de países africanos, como Camarões e Gana, asiáticos, como





Sri Lanka, e latino-americanos, como República Dominicana e Honduras (CENTENO, 2003).

Em uma análise da oferta de abacaxi orgânico na América Latina, realizada pela CIMS (Centro de Inteligência de Mercados Sustentáveis na América Latina) entre agosto e dezembro de 2002, foram identificados 22 empresas, obtendo-se informação de 16 delas (73%), informação que equivale a 90% da produção latino-americana. Com base nestes resultados, estima-se que existem 385 produtores de abacaxi orgânico certificado, em área de produção de 1300 hectares e volume de 12000 toneladas de fruta fresca. Além destes, já certificados, a CIMS encontrou mais 120 produtores em 565 hectares de área plantada e 8400 hectares em fase de transição para orgânico (CENTENO, 2003).

Aproximadamente 15% da produção latino-americana de abacaxi orgânico é vendida para consumo das frutas frescas e 85% processada. No mercado dos produtos processados, 34% corresponde ao abacaxi desidratado e o restante (66%) à fabricação de sucos, purê e doce em calda (CENTENO, 2003).

Estima-se que 16% da fruta produzida é consumida nos mercados locais, 84% restante é exportado. A União Européia figura como o maior mercado de destino de abacaxi orgânico da América Latina, 30 % é reenviando aos Estados Unidos (CENTENO, 2003).



2.4.2 Produção Honduras é o maior produtor e exportador de abacaxi orgânico processado, enquanto a República Dominicana é o principal exportador de abacaxi fresco (CENTENO, 2003).

Na América Latina, o preço do abacaxi fresco orgânico em março de 2003 era de US\$ 0,65/kg, 20% mais caro que a fruta convencional. O preço do abacaxi orgânico desidratado é 30% superior ao da fruta convencional, chegando a US\$ 8,30/kg (CENTENO, 2003).

Cabe ressaltar que o mercado de abacaxi convencional (não-orgânico) a nível mundial avança para uma eventual saturação, consequência do aumento das áreas de produção em muitos países. Esta saturação ocasionará baixas nos preços e uma possível crise no setor a médio prazo, o que prejudicará o setor orgânico também. Porém, espera-se que as sobretaxas para produtores orgânicos sejam reduzidas até desaparecerem dentro de 2 anos (CENTENO, 2003).

A produção mundial de abacaxi chegou a 14,4 milhões de toneladas em 2001, ou 21% da produção global de frutas tropicais. Assim, abacaxis continuam dominando o comércio internacional em frutas tropicais, respondendo por 47% das exportações mundiais em 2001, seguido por mangas com 24%, abacates com 11% e mamões com 8%. A União Européia e os Estados Unidos são os principais mercados de importação de abacaxi, com 74% de demanda de importação global em 2001 (FAO, 2003).





#### 2.4.2 Produção de frutas tropicais orgânicas desidratadas

O aumento do consumo dos alimentos orgânicos no mercado está gerando uma forte demanda por variedade. Os consumidores que se identificam com o estilo de vida saudável, não desejam que a oferta de orgânicos se limite a frutas e verduras frescas. Logo se estabelece o grande potencial para as frutas orgânicas desidratadas (VILLALOBOS, 2003).

A América Latina produz 1,912 toneladas de fruta orgânica desidratada. A banana é a principal fruta desidratada (61%), cujo principal destino é a União Européia. Por outro lado, a manga é a segunda fruta de destaque, representando 19% da produção de frutas desidratadas, cujo principal importador é os Estados Unidos. Outras frutas de importância no mercado internacional são o abacaxi e o mamão (VILLALOBOS, 2003).

O CIMS (Centro de Inteligência de Mercados Sustentáveis na América Latina) identificou 11 empresas que realizam a desidratação de frutas orgânicas, outras duas se encontram em processo de certificação da planta de processamento. Cinco delas se encontram no México, onde se produz 34% da produção total de frutas desidratadas na América Latina. Os outros países de destaque são Equador e Costa Rica. Colômbia e Honduras possuem pequena participação (VILLALOBOS, 2003).





O mercado para estes produtos mantém taxas superiores de 15%. Com o ingresso de supermercados convencionais na venda dos produtos orgânicos, é provável que o crescimento se mantenha por alguns anos. Países da região asiática estão começando a processar fruta orgânica desidratada e aumentando o tamanho de suas plantações certificadas. Apesar do aumento na oferta, a qualidade se mantém muito distinta. A qualidade e o volume de produtos são fundamentais para os produtores desenvolverem-se no mercado (VILLALOBOS, 2003).

## 2.5 PRODUTOS ORGÂNICOS

Espera-se de uma fruta que, além de saborosa, seja saudável, sem danos causados por insetos, doenças ou manuseio inadequado. Deve também possuir textura, suculência, sabor, valor nutritivo e, sobretudo, não estar contaminada por produtos químicos potencialmente tóxicos para os seres humanos. Esta seria a fruta ideal. Embora, a princípio pareça difícil encontrar frutas que reúnam todos estes requisitos, elas já existem e se encontram em todos os pomares que seguem manejos agro-ecológicos de produção. Comer uma fruta certificada como orgânica, é ter o prazer e a segurança de se consumir um produto ideal em termos de qualidade

É cada vez maior o número de pessoas que está buscando uma alimentação mais saudável, na tentativa de resgatar a possibilidade consumir alimentos frescos, de boa qualidade biológica e



livre de agrotóxicos. Atualmente, os alimentos recebem altas quantidades de produtos tóxicos e passam por uma série de processos de transformação até chegar ao consumidor final. Isso acaba provocando uma mudança de hábitos alimentares e um distanciamento entre o agricultor e o consumidor (SEBRAE, 2002).

As motivações para o consumo variam em função do país, da cultura e dos produtos que se analisa. Todavia, observando países como Alemanha, Inglaterra, Austrália, Estados Unidos, França e Dinamarca, percebe-se que existe uma tendência de o consumidor orgânico privilegiar, aspectos relacionados à saúde e sua ligação com os alimentos, ao meio ambiente, assim como à questão do sabor dos alimentos orgânicos (SEBRAE, 2002).

No Brasil, já desponta uma tendência semelhante, onde o consumidor apresenta-se mais disposto a pagar um valor relativamente superior por um produto de procedência orgânica. Essa tendência pode ser verificada mesmo na população com baixa renda familiar, respeitando as proporcionalidades em relação a condição sócio-econômica (SEBRAE, 2002).

No que diz respeito à comercialização, um mercado bastante atraente é o de exportação, responsável pela maior aquisição do produto nacional. Para o produtor, as perspectivas de expansão das vendas são crescentes, na medida em que os consumidores europeus, na busca pela qualidade alimentar, querem aumentar o consumo de frutas





orgânicas. Produzir alimentos saudáveis, cujo cultivo considere a preservação do meio ambiente e condições dignas do trabalhador, começa a ser um bom negócio para o País. É crescente o interesse do consumidor em saber a origem do que põe à mesa. Esse novo nicho de mercado começa a atrair parte dos agricultores brasileiros, porque oferece boa remuneração. Com isso, a produção escapa do mercado comum de *commodities* e o agricultor obtém melhores resultados no mercado interno e nas exportações (PLANETA ORGÂNICO).

Esse segmento é um dos negócios que mais crescem na Europa e Estados Unidos, com incremento anual da ordem de 25% segundo informações do Instituto Biodinâmico de Desenvolvimento (IBD), órgão certificador de produtos orgânicos. A agricultura alternativa voltou a ganhar destaque nos anos 90, após a crise da vaca louca, quando surgiram as empresas de certificação com a proposta de avaliar e garantir a qualidade dos produtos (SEBRAE, 2002).

As atuais previsões indicam que o volume financeiro da agricultura orgânica mundial atingirá a cifra de 100 bilhões de dólares nos próximos 10 anos. Hoje a Europa movimenta anualmente 4,5 bilhões de dólares, os EUA 4 bilhões e o Japão entre 3 e 4 bilhões de dólares. A Argentina exporta anualmente 40 milhões de dólares, em produtos orgânicos (SEBRAE, 2002).

O mercado mundial de orgânicos movimenta cerca de US\$ 23,5 bilhões de dólares por ano, e há uma expectativa de





crescimento da ordem de 20% ao ano. Neste mercado incluem-se produtos frescos, processados, industrializados e até artigos de cuidados pessoais, produzidos com matérias-primas obtidas sob o sistema orgânico (SEBRAE, 2002).

No Brasil a produção de orgânicos teve um grande impulso nos últimos dois anos, que se justifica pelo preço dos produtos no mercado, em média 30% acima dos produtos convencionais, por uma possível diminuição nos custos de produção ou por uma maior possibilidade de conservação dos recursos da propriedade rural (SEBRAE, 2002).

A demanda no Brasil cresce cerca de 10% ao ano, um ritmo acelerado provavelmente em decorrência do aumento de popularidade dos produtos orgânicos, à medida que se tornam disponíveis nos pontos de venda. As exportações absorvem 70% do volume total certificado e o Brasil ocupa atualmente a segunda posição na América Latina em termos de área manejada organicamente. Estima-se que já estão sendo cultivados perto de 100 mil hectares em cerca de 4.500 unidades de produção orgânicas. Aproximadamente 70% da produção brasileira ocorre nos estados do Paraná, São Paulo, Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Espírito Santo. Os principais produtos brasileiros exportados são café (Minas Gerais); cacau (Bahia); soja, açúcar mascavo e erva-mate (Paraná); suco de laranja, óleo de dendê e frutas secas (São



Paulo); castanha de caju (Nordeste) e guaraná (Amazônia) (SEBRAE, 2002).

Dominique Pallet, organizador do Seminário Franco-Brasileiro "Competitividade da Cadeia Orgânica Brasileira para Exportação" (organizado pelo Centro Internacional de Pesquisa Agronômica para o Desenvolvimento – CIRAD com apoio do CENDOTEC em 29/11/2001) afirma que o mercado francês e europeu oferece boas oportunidades para a produção brasileira, tanto que, para alguns produtos o Brasil já está exportando (PLANETA ORGÂNICO). Os principais alimentos orgânicos produzidos no Brasil são representados pela soja que ganha com 31% seguida de hortaliças (27%) e café (25%). A maior área plantada é com frutas (26%), depois cana (23%) e palmito (18%) (INFORME).

## 2.6 QUALIDADE DE PRODUTOS DESIDRATADOS

A qualidade do alimento não depende apenas de seu estado antes de ser processado e estocado, mas também da extensão das alterações ocorridas durante o processamento. Isso é válido para as propriedades organolépticas (cor, odor e textura), bem como para o conteúdo nutricional (SAGUY & KAREL, 1980). Na desidratação ou secagem de alimentos, a relação entre as condições de processamento e a qualidade do produto é mais complicada quando comparada com outros processos, devido à extensa faixa de temperatura e umidade ocorridas





durante a secagem. As taxas de degradação dos atributos da qualidade, freqüentemente são funções da umidade e da temperatura. Portanto, faz-se necessário um conhecimento da relação entre a qualidade do alimento e todos os fatores conhecidos que afetam as taxas de degradação como tempo, temperatura, umidade, pH, níveis de oxigênio, composição nutricional, intensidade da luz, entre outros. Entre as alterações sofridas pelos produtos alimentícios durante a desidratação pode-se mencionar as modificações de sua estrutura física, as quais afetam a textura, a capacidade de reidratação e aparência (cor, encolhimento), além da ocorrência de reações químicas indesejáveis, como o escurecimento, a desnaturação de proteínas, a oxidação de lipídeos, etc., com uma posterior perda do valor nutricional do produto.

Em relação à mudança de propriedades, um parâmetro físico-químico que poderia estabelecer propriedades do produto como a qualidade e estabilidade, sendo altamente utilizado em trabalhos recentes, é a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), alcançando sucesso no esclarecimento da dinâmica de processos como a aglomeração e cristalização/recristalização. No que se refere à secagem, a temperatura de transição vítrea tem grande importância para o entendimento das alterações na estrutura física do produto, uma vez que governa a passagem da matriz polimérica - que forma a maioria dos materiais alimentícios e biológicos - do estado vítreo, caracterizado por altas viscosidades (da ordem de  $10^{12}$  Pa.s) para o estado borrachoso, cuja





viscosidade situa-se em torno de  $10^7$  Pa.s. Essa alteração na viscosidade pode ser responsável pela mudança na cinética de vários processos relacionados à mobilidade molecular dos componentes do produto.

Strumillo & Adamiec (1991) classificaram as alterações nas propriedades dos produtos biológicos durante a secagem, considerando quatro tipos de alterações básicas distintas: bioquímica, enzimática, química e física.

As alterações bioquímicas - características das leveduras, bactérias e fungos - estão estreitamente conectadas com a perda de água nas células e nos seus elementos estruturais individuais. Alterações enzimáticas incluem principalmente as mudanças da atividade causada pela decomposição estrutural dos biopolímeros. Normalmente, as alterações químicas resultam num decréscimo do valor nutritivo do produto biológico ou numa formação de substâncias nocivas para o meio. As alterações bioquímicas e químicas são freqüentemente manifestadas como alterações físicas: os produtos biológicos perdem a solubilidade ou a capacidade de se ligar à água, perdendo também componentes aromáticos, devido à decomposição ou à alta volatilidade. A descoloração do produto é freqüentemente observada.

É fato conhecido que a textura, a densidade, a capacidade de reidratação, a aglomeração e as propriedades mecânicas de alimentos desidratados, dependem de fatores como as propriedades e características da matéria-prima, temperatura e umidade do ar de



secagem, tipo do secador e distribuição do tempo de residência do produto.

Na desidratação de frutas, o período de taxa decrescente é especialmente importante. Nessa fase as partes externas do material já estão secas, enquanto o interior ainda contém quantidades significativas de umidade. A partir daí, o processo consome grande quantidade de energia e os atributos físicos, sensoriais e nutricionais do produto podem ser prejudicados pela elevação da temperatura (NIJHUIS et al., 1996). A relação entre as condições de secagem e a qualidade final do produto pode ser analisada a partir dos parâmetros de interação matriz sólida - solvente, tais como isoterma de adsorção e temperatura de transição vítrea (ACHANTA & OKOS, 1996).

Outro fenômeno freqüentemente observado durante a secagem de frutas é a formação de crostas, que prejudicam a reidratação. Durante a rápida secagem de um biopolímero, o conteúdo de umidade na superfície é reduzido, de forma que essa porção do material, inicialmente no estado borrachoso passa para o estado vítreo. Durante esse processo, a difusividade da água no interior do produto não é alta o suficiente para repor a umidade perdida na superfície, resultando na formação da crosta e impedindo o posterior encolhimento devido à alta rigidez do material nessa região. Para evitar que isso ocorra, deve-se utilizar condições moderadas de desidratação (baixa velocidade do ar, baixa temperatura) de modo a obter taxas de secagem suficientemente baixas que permitam



a reposição da umidade perdida pela superfície. A formação de crostas pode ser desejável ou não, dependendo do produto. Se o alimento deve ser reidratado antes do consumo, uma crosta densa é indesejável, já que forma uma camada pouco permeável na superfície. Entretanto, quando se trata de cereais matinais, por exemplo, onde é necessário que o produto permaneça crocante mesmo após algum tempo em contato com o leite, a crosta é uma necessidade (ACHANTA & OKOS, 1996).

Durante as operações de desidratação, os alimentos podem sofrer várias alterações, tanto no seu valor nutritivo como em suas propriedades sensoriais. As propriedades mais afetadas são a cor, o aroma, o sabor e a textura. Algumas vezes essas alterações melhoram a qualidade dos produtos, mas quando a operação não é bem conduzida, essas modificações podem provocar mudanças indesejáveis a esses alimentos (SILVA, 2000).

No processo de secagem, além de mudanças físicas, ocorrem principalmente mudanças químicas e bioquímicas, particularmente se as reações induzidas enzimaticamente são incluídas nessas mudanças. As transformações que ocorrem normalmente durante a secagem da fruta não são devidas à atividade de microrganismos, contudo, quando existem condições insatisfatórias de secagem ou frutas frescas inadequadas são desidratadas, pode ocorrer o desenvolvimento de microrganismos, fazendo com que o produto final resultante seja de baixa qualidade (TRAVAGLINI et al., 2001).





## 2.7 TEXTURA

A textura pode ser considerada como uma manifestação das propriedades reológicas de um alimento. É um atributo importante de qualidade que influi nos hábitos alimentares e preferência do consumidor, no processamento e manipulação de alimentos e pode ser tomado como índice de deterioração. A importância da textura na qualidade total varia amplamente em função do tipo de alimento, entre outros fatores; assim, por exemplo, naqueles casos onde a textura pode ser um fator crítico na qualidade de alimentos, tais como batatas fritas, flocos de milho, bolachas e outros produtos crocantes. Por tudo isso, existe muito interesse em medir a textura através de métodos quantitativos (MORGADO E ABREU, 2001).

A medida das propriedades mecânicas tem sempre como finalidade estimar ou medir a magnitude de algum aspecto de textura dos alimentos. A textura dos alimentos é um dos atributos primários que confirma sua qualidade sensorial. Sua definição não é fácil porque é uma sensação complexa, resultado da ação de estímulos de natureza distinta. Pode ser definida como o conjunto de propriedades reológicas e de estrutura (geométrica e de superfície) de um produto, perceptíveis pelos receptores mecânicos, o tato e em certos casos, pelos visuais e auditivos (DURAN, FISZMAN E BARBER, 2001).

A evolução tecnológica veio aperfeiçoar métodos e equipamentos, chegando ao mercado texturômetros mais sensíveis,



versáteis, baratos e de pequenas dimensões que realizam testes imitativos desenvolvidos sob condições que simulam às realizadas na prática.

A principal dificuldade com estes equipamentos, em muitos casos, é que se desconhece exatamente qual propriedade está sendo medida e surge então uma diversidade de parâmetros que às vezes são erradamente interpretados criando muita confusão.

O teor de umidade remanescente é o principal fator que influencia na textura da fruta fresca. Baixos teores de umidade tornam a textura dura, mas com níveis intermediários de umidade, pode-se ter uma fruta com textura agradável. Cada tipo de fruta apresenta uma umidade crítica acima da qual a fruta está sujeita à deterioração por fungos e microrganismos. Para algumas frutas esta umidade crítica está abaixo daquela considerada desejável para o consumo. Considerando os limites, a fruta seca de umidade intermediária está menos sujeita às reações que causam o escurecimento durante o armazenamento.

A cristalização dos açúcares é um dos problemas mais comuns que podem ocorrer com as frutas secas durante o armazenamento, resultando na formação de cristais de dextrose que podem se depositar na superfície dessas frutas, numa fina camada ou internamente como grandes cristais granulares. Frequentemente a deposição dos cristais de açúcar na superfície das frutas assemelha-se ao crescimento de fungos e podem ocorrer enganos. Evita-se a cristalização



dos açúcares pelo aquecimento das frutas à temperatura de 55°C após a embalagem e então resfriadas, isso dissolve a dextrose cristalizada e previne a cristalização por um ano ou mais (TRAVAGLINI et al., 2001).

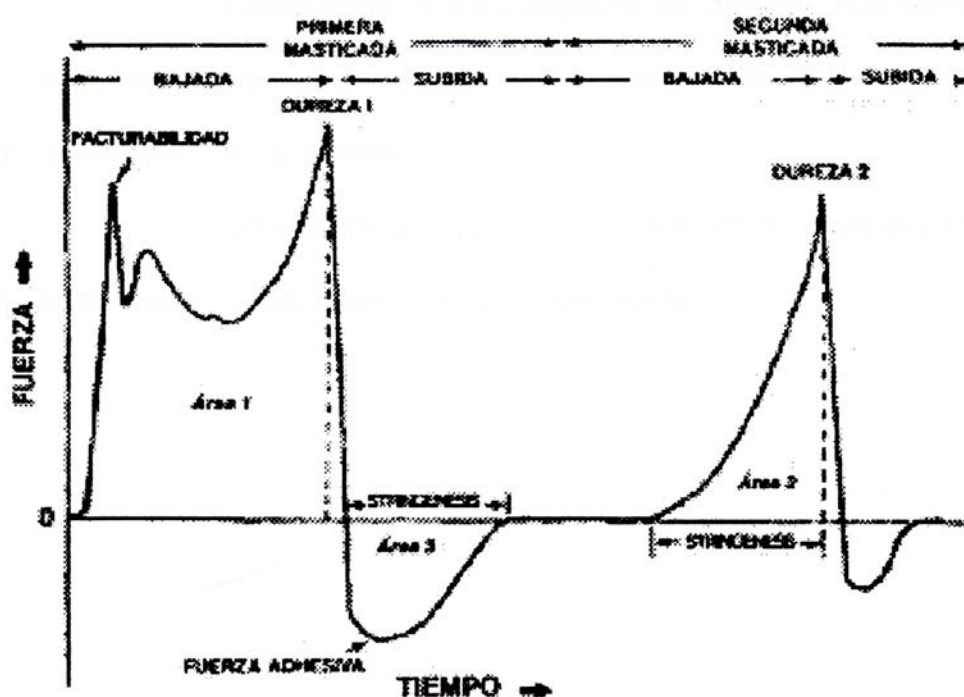
Uma análise que está sendo muito utilizada como forma de obtenção de alguns parâmetros de textura em alimentos é a prova de dupla compressão, chamada de Análise de Perfil de Textura (TPA), desenvolvida por um grupo de pesquisa da “General Foods Corporation” nos anos 60, mediante o uso de um texturômetro de fabricação própria para obter vários parâmetros de textura. Este teste tem mostrado uma elevada correlação existente entre as medições por esta técnica e a análise sensorial (MORGADO E ABREU, 2001).

A Figura 2.2 mostra uma curva generalizada de uma TPA de onde se pode observar alguns dos principais parâmetros obtidos pela análise.

Quanto à força necessária para alcançar uma deformação pré-determinada. Calculada como sendo o pico de máxima força aplicada no primeiro ciclo de compressão.

- Adesância (ou Coesividade): razão entre a área positiva do segundo e a área positiva do primeiro ciclo.





**Figura 2.2** – Curva generalizada fornecida pela Análise de Perfil de Textura, TPA (MORGADO E ABREU, 2001).

Os atributos da Análise de Perfil de Textura que podem ser obtidos são: dureza, fraturabilidade, elasticidade, coesividade, adesividade, pastosidade e mastigabilidade. Segundo Durán, Fiszman e Barber (2001), citado por Pinheiro (2004), os parâmetros da avaliação por TPA são definidos da seguinte forma:

- Dureza: força necessária para alcançar uma deformação pré-selecionada. Calculada como sendo o pico de máxima força aplicada no primeiro ciclo de compressão;
- Aderência (ou Coesividade): razão entre a área positiva do segundo e a área positiva do primeiro ciclo;

- Adesividade: a área negativa do primeiro ciclo completo de compressão que representa o trabalho necessário para despregar a sonda da superfície da amostra;
- Pastosidade: aplicada em alimentos semi-sólidos, é calculado como o produto da dureza e coesividade.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

As secagens de abacaxi em leito fixo e as análises de textura foram realizadas no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista de São José do Rio Preto.

#### 3.1 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada foi abacaxi (*Ananas comosus* L.) da variedade Pérola, procedente de cultivo orgânico e gentilmente cedido pela Fazenda Fugido (Borborema – SP).

A cada ensaio de secagem foram utilizados dois abacaxis de tamanho médio, maduros e sem injúrias na casca obtidos pouco antes do início da secagem.

Os abacaxis foram descascados e fatiados em cortador mecânico regulado com a espessura específica de cada ensaio (0,7, 1,0 ou 1,3 cm). Utilizou-se apenas a parte central, o terço médio do fruto, que apresentava maior uniformidade de diâmetro.

Após este processo, algumas fatias foram trituradas para a análise do grau de maturação por leitura de °Brix em refratômetro, e, determinação da umidade inicial, em triplicata, usando o método gravimétrico em estufa a vácuo a 60°C até peso constante (RANGANA, 1977).





O teor de sólidos solúveis variou de 12 a 14°Brix e a umidade inicial de 84 a 87% (b.u.).

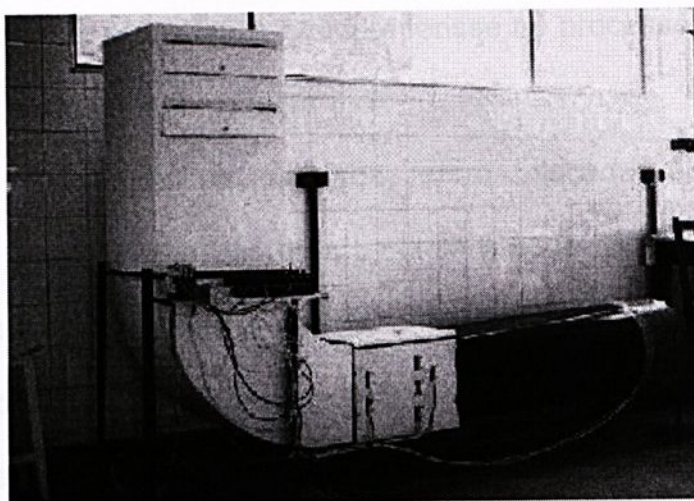
### 3.2 SECAGEM EM LEITO FIXO

O secador utilizado foi construído no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual Paulista de São José do Rio Preto. Os materiais utilizados na construção foram basicamente madeira, fibra de cimento, amianto e aço galvanizado.

O secador é formado por três seções principais: seção de entrada do ar, constituído de um ventilador centrífugo que confere a velocidade ao ar de entrada, seção de aquecimento, composto por 8 resistências elétricas independentes e câmara de secagem, com 2 entradas para bandejas.

Este secador não apresenta sistema de monitoramento de variáveis do processo, tais como temperatura ou velocidade do ar, nem sistema de aquisição de dados. Logo, as variáveis foram monitoradas “manualmente” durante o processo.





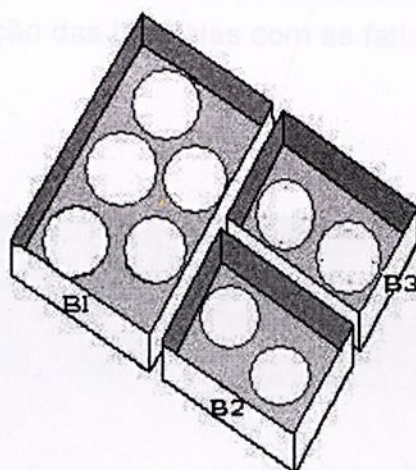
**Figura 3.1 – Secador de leito fixo**

Para o início do ensaio, o secador primeiramente foi ligado, por aproximadamente 1 hora, na temperatura e velocidade do ar pré-determinadas. A velocidade do ar foi ajustada (1,5 m/s) pelo botão de regulação do ventilador, sendo medida diversas vezes utilizando-se um anemômetro. Do mesmo modo, a temperatura de entrada do ar (40, 50 e 60°C) foi ajustada pela combinação das resistências elétricas, medida através de termômetros fixados na posição logo abaixo de onde ficariam as bandejas com as amostras. Foram colocados dois termômetros na região central, ficando um mais à esquerda e outro mais à direita (Figura 3.5).

As fatias de abacaxi foram colocadas dentro das bandejas, em monocamadas. Apenas um nível do secador foi utilizado, ou seja, utilizou-se apenas uma entrada do secador, para evitar demasiada diferença de temperatura, conforme altura da câmara, e também para que

a umidade liberada pelas fatias não interferisse no processo de secagem das fatias da parte superior (Figura 3.4).

Nesta entrada utilizada, foram colocadas 3 bandejas de tela com as fatias de abacaxi: uma bandeja grande (B1), de dimensões 39,5 x 19,5 x 5,0, e duas pequenas (B2 e B3), de dimensões 19,0 x 19,0 x 5,0. As bandejas B1 e B2 (uma grande e uma pequena) serviram para que se pudesse monitorar a perda de água, a bandeja B3 foi utilizada para o acompanhamento do encolhimento das fatias durante a secagem.



**Figura 3.2** – Representação da disposição das bandejas dentro do secador





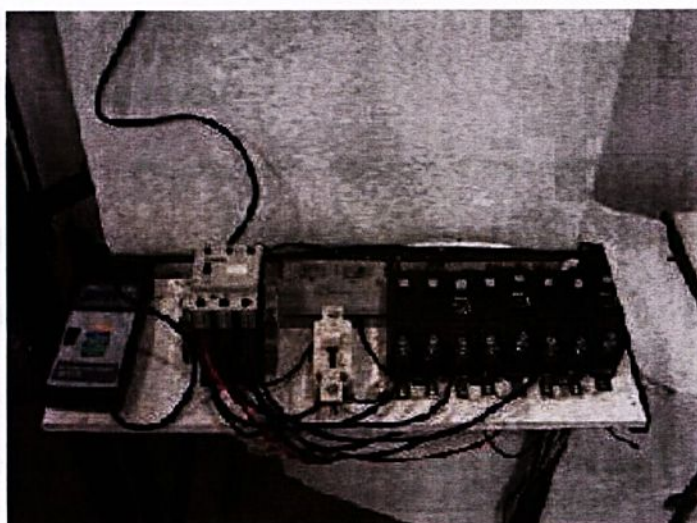
**Figura 3.3 –** Disposição das bandejas com as fatias dentro do secador



**Figura 3.4 –** Entradas do secador para as bandejas. Apenas a primeira entrada (de cima para baixo) foi utilizada.



**Figura 3.5** – Visão de cima do secador. Disposição dos termômetros e termo-higrômetro.



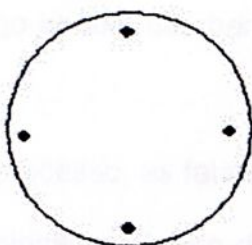
**Figura 3.6** – Sistema de regulação do ventilador e resistências, e do lado esquerdo, visor do termo-higrômetro.

Dentro da bandeja B3, foram colocadas 2 fatias de abacaxi, que era o espaço disponível da bandeja pequena. Nestas fatias foram feitas 4 marcas com caneta hidrográfica para que se medissem a espessura e o diâmetro nos mesmos pontos ao longo do processo.





T. 1323/05



**Figura 3.7** – Representação dos pontos feitos na fatia de abacaxi com caneta para a medição do diâmetro e espessura

Assim, durante o ensaio, foram realizadas pesagens periódicas das bandejas B1 e B2 e medições de espessura e diâmetro das fatias da bandeja B3. Não foram feitas pesagens da bandeja B3, apenas medições, pois havia o contato manual com as fatias, o que poderia interferir na umidade.

Para as pesagens, durante a secagem, foi utilizada uma balança semi-analítica modelo BG2000, marca Gehaka de precisão 0,01g. E para as medições de diâmetro e espessura, utilizou-se um paquímetro.

Durante cada ensaio, o tempo de residência das amostras foi 24 horas. As pesagens foram realizadas com maior frequência nas primeiras duas horas do processo, e depois a cada uma hora aproximadamente, sempre marcando a hora exata do ato de pesagem.

As medições de diâmetro e espessura foram feitas durante todo o processo, sem tanta frequência como as pesagens, visto que não sofriam variações muito grandes em curtos períodos de tempo.

A umidade relativa do ar foi medida durante todo o processo pelo auxílio de um termo-higrômetro (modelo HT-3004, marca





Lutron) que foi acoplado logo abaixo das bandejas das fatias, lido a cada pesagem.

Ao final do processo, as fatias foram embaladas em sacos plásticos transparentes e colocadas dentro do dessecador com sílica, de onde logo seriam transferidas.

### 3.3 CINÉTICA DE SECAGEM

Através de pesagens periódicas das bandejas contendo o produto, foram determinadas curvas de umidade versus tempo.

A partir desses dados foram então determinados os coeficientes de difusão de umidade no abacaxi durante a secagem em leito fixo. Tais coeficientes foram calculados através da solução analítica da equação de difusão (equação 3.1), desenvolvida por Crank (1975), considerando-se a geometria de placa plana infinita, transferência de massa unidirecional e resistência externa à transferência de massa desprezível.

$$M = \frac{(X - X_{eq})}{(X - X_0)} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp \left[ - (2n-1)^2 \frac{\pi^2 D_{ef} t}{L^2} \right] \quad (3.1)$$

Na equação (3.1),  $M$  é a umidade adimensional,  $X$  a umidade do produto,  $X_{eq}$  a umidade de equilíbrio,  $X_0$  a umidade inicial, todas em base seca.  $D_{ef}$  é o coeficiente de difusão efetivo,  $t$  é o tempo e  $L$  é a espessura inicial da amostra. Foi considerada a espessura inicial da fatia, visto que o fluxo de ar foi frontal em uma das faces da placa plana. Caso a secagem tivesse ocorrido de forma que o fluxo de ar fosse



paralelo às fatias, de modo que as duas faces ficassem expostas nas mesmas condições, então seria melhor considerar a metade da espessura da fatia nos cálculos de  $D_{ef}$ .

Foram utilizados os 5 (cinco) primeiros termos desta equação para encontrar o coeficiente de difusão efetivo através de regressão não-linear, pelo programa Origin 4.1.

A umidade de equilíbrio,  $x_{eq}$ , foi calculada a partir do modelo de GAB (equação 3.2) utilizando as constantes encontradas por Nicoleti, 2001, para abacaxi da variedade Smooth Cayenne. Apesar de se ter usado o abacaxi orgânico Pérola neste trabalho, foram consideradas desprezíveis possíveis diferenças entre uma variedade e outra, já que as constantes se referem ao mesmo fruto e pelo fato de este valor ( $x_{eq}$ ) não causar influência significativa no cálculo do coeficiente de difusão de umidade ( $D_{ef}$ ).

$$X_{eq} = \frac{(C-1) \cdot K \cdot aw \cdot X_m}{1 + (C-1) \cdot K \cdot aw} + \frac{K \cdot aw \cdot X_m}{1 - K \cdot aw} \tag{3.2}$$

**Tabela 3.1** – Constantes de GAB para dessorção de abacaxi encontradas por Nicoleti (2001)

| T(°C) | $X_m$ (b.s.) | C     | K     |
|-------|--------------|-------|-------|
| 40    | 0,8179       | 0,132 | 0,713 |
| 50    | 0,1319       | 0,516 | 0,899 |
| 60    | 0,0633       | 1,110 | 1,003 |
| 70    | 0,0637       | 0,850 | 1,022 |



### 3.4 TEXTURA

Utilizando o equipamento TA - XT2i (Texture Analyser) da Stable Micro Systems, com um probe cilíndrico de acrílico de 35 mm de diâmetro, foram determinados alguns parâmetros de textura pelo método TPA (Texture Profile Analysis), são eles: dureza, fraturabilidade, adesividade, elasticidade, aderência, pastosidade, mastigabilidade e resiliência.

O método TPA consiste da aplicação de dois ciclos de compressão consecutivos da amostra, fornecendo um gráfico de força pelo tempo.

Para se aplicar o teste, as amostras secas foram condicionadas em ambientes com atmosfera definidas pelas soluções salinas, para atingirem uma umidade final conhecida. A finalidade deste condicionamento foi o de verificar se a textura do abacaxi é apenas função de sua umidade final ou se também é também função das condições de secagem. Ou seja, verificou-se, por exemplo, se uma fatia de abacaxi secada a 60°C com 1,3 cm de espessura inicial apresenta a mesma textura que uma fatia secada a 40°C e 1,0 cm de espessura inicial, ambas estando então com a mesma atividade de água.

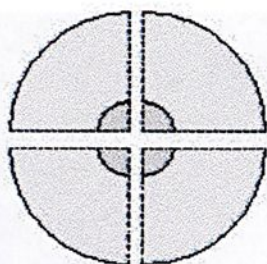
As soluções supersaturadas utilizadas para fornecer diferentes atividades de água foram provenientes dos seguintes sais:  $K_2CO_3$  (Carbonato de Potássio), NaBr (Brometo de Sódio),  $NaNO_2$  (Nitrito de Sódio) e NaCl (Cloreto de Sódio); cujas atividades de água a uma





temperatura de 35°C são: 0,432; 0,576; 0,625 e 0,751, respectivamente (LABUZA et al., 1985 e YOUNG, 1967).

As fatias secas obtidas foram cortadas em 4 pedaços. Três pedaços, provenientes de fatias diferentes e do mesmo ensaio, foram condicionados a uma certa umidade relativa. Ou seja, de cada ensaio, foram utilizadas 3 fatias secas, cada 1/4 da fatia foi colocado em dessecador com determinada solução salina. Estes pedaços permaneceram no ambiente com UR controlada até atingirem peso constante, o que levou, aproximadamente, 30 dias. As fatias, por terem passado pelo processo de secagem, não sofreram deterioração.



**Figura 3.8 – Pedaços da fatia levados ao dessecador para preparação do teste TPA**



**Figura 3.9** – Dessecadores com as soluções salinas contendo as amostras de abacaxi seco em copos plásticos



**Figura 3.10** – Texturômetro, com o probe cilíndrico de acrílico utilizado para a análise de textura do abacaxi seco.

Uma deformação de 50% a partir da altura inicial da amostra foi aplicada a uma velocidade de 1 mm/s. O tempo entre as duas

compressões foi de 3 segundos e a força utilizada foi de 10 g. Antes da aplicação do teste, foram retirados os oríolos da borda da fatia e possível parte do miolo central da fatia, a fim de se uniformizar a amostra.

Os parâmetros foram calculados automaticamente pelo programa Texture Expert V.1.22 (Stable Micro System), através das relações entre as áreas dos picos de interesse do gráfico.



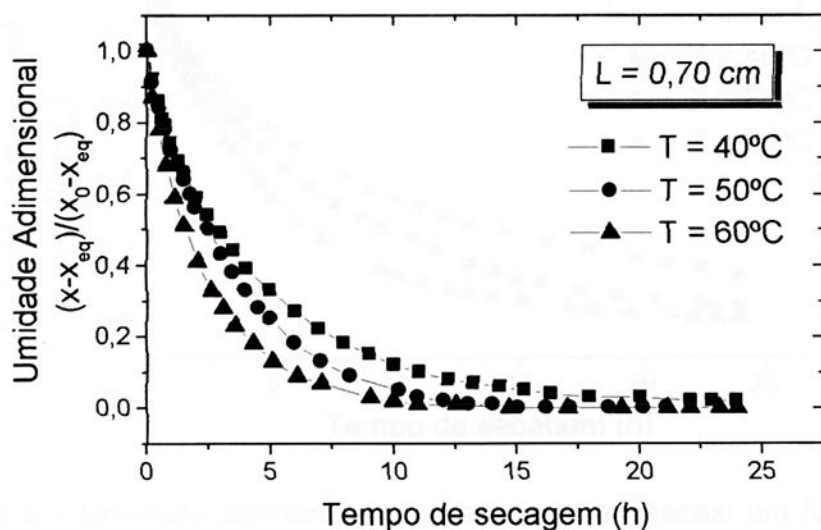


## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

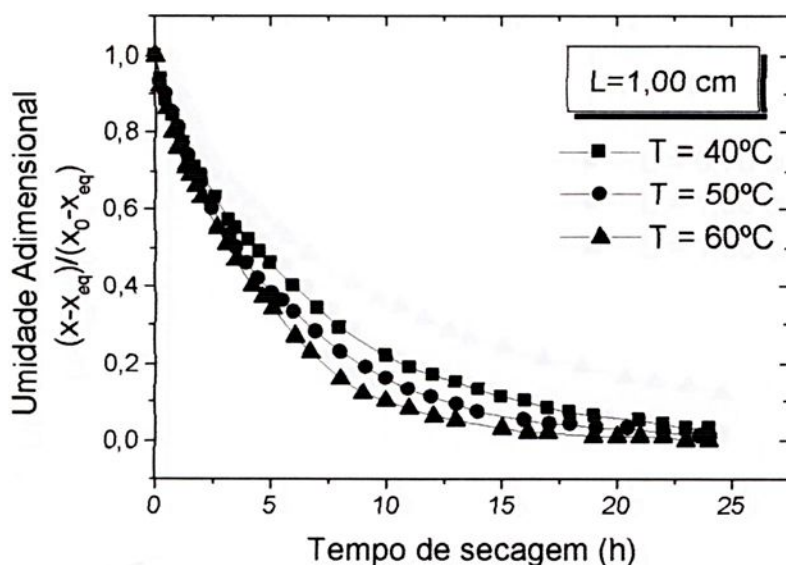
### 4.1 CINÉTICA DE SECAGEM

No total foram realizados 11 ensaios de secagem, 9 ensaios combinando-se as temperaturas de 40, 50 e 60°C e as espessuras iniciais de 0,70, 1,00 e 1,30 cm com 2 repetições no ponto central ( $T = 50^{\circ}\text{C}$  e  $L = 1,00$  cm).

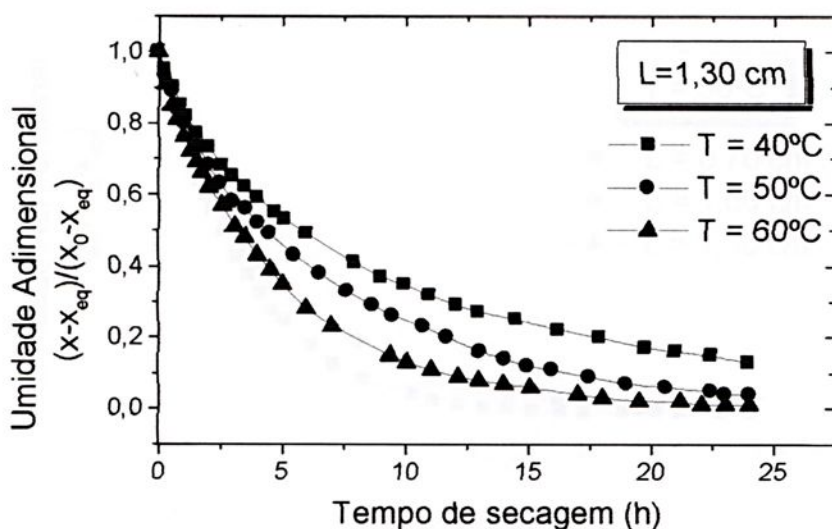
As figuras, de 4.1 a 4.6, apresentam a umidade adimensional em função do tempo de secagem para cada ensaio realizado, que variou temperatura (40, 50 e 60°C) e espessura inicial das fatias (0,70, 1,00 e 1,30 cm). Os dados experimentais são apresentados no Apêndice A (Tabelas de A.1 a A.11).



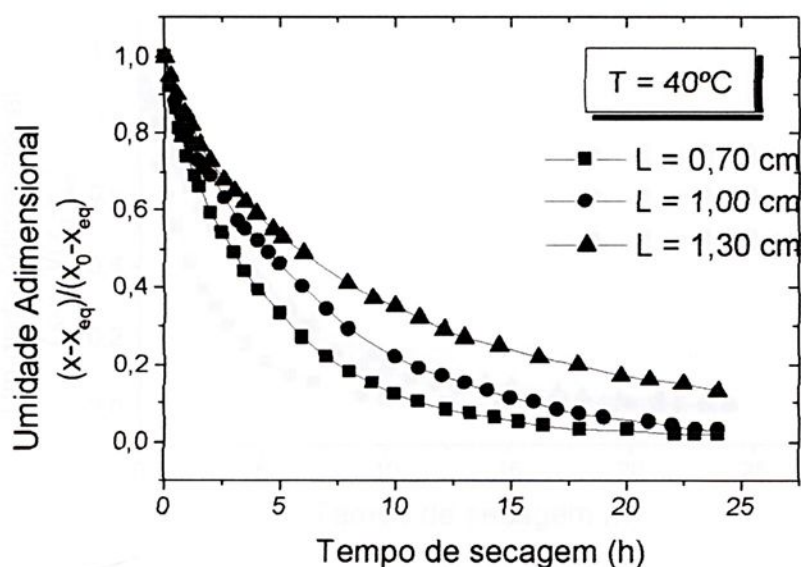
**Figura 4.1** – Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes temperaturas estudadas (40, 50 e 60°C), com mesma espessura inicial (0,70 cm).



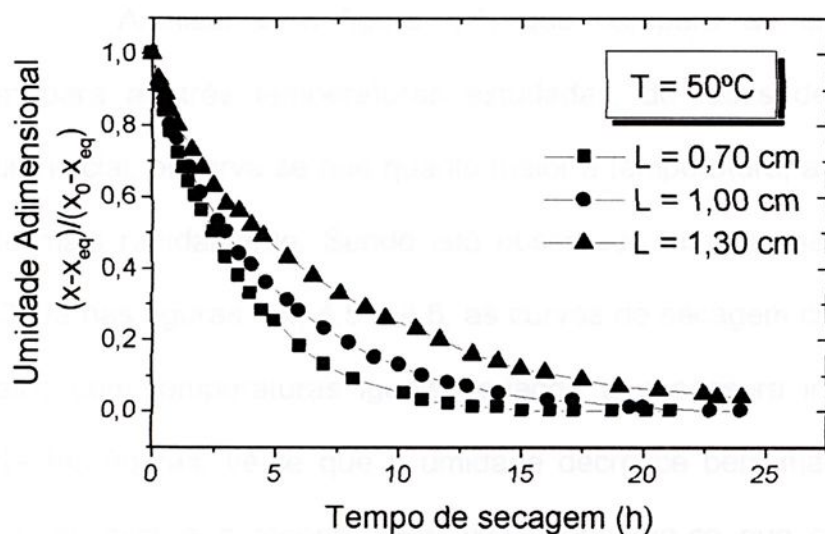
**Figura 4.2** – Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes temperaturas estudadas (40, 50 e 60°C), com mesma espessura inicial (1,00 cm).



**Figura 4.3** – Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes temperaturas estudadas (40, 50 e 60°C), com mesma espessura inicial (1,30 cm).

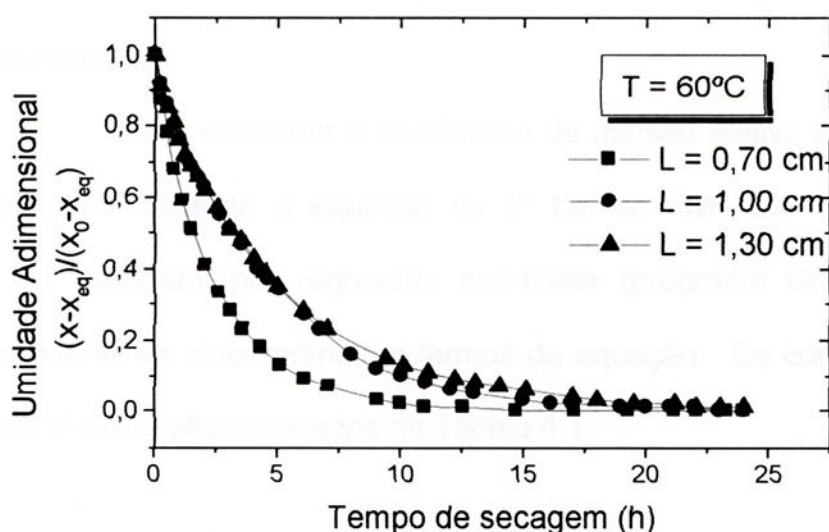


**Figura 4.4** – Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes espessuras estudadas (0,70, 1,00 e 1,30 cm), com mesma temperatura (40°C).



**Figura 4.5** – Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes espessuras estudadas (0,70, 1,00 e 1,30 cm), com mesma temperatura (50°C).





**Figura 4.6** – Umidade adimensional das fatias de abacaxi em função do tempo de secagem para as diferentes espessuras estudadas (0,70, 1,00 e 1,30 cm), com mesma temperatura ( $60^\circ\text{C}$ ).

Analizando a figura 4.1, que compara as curvas de secagem para as três temperaturas estudadas, de fatias de mesma espessura inicial, observa-se que quanto maior a temperatura, a umidade decresce mais rapidamente. Sendo isto observado também nas figuras 4.2 e 4.3. Já nas figuras 4.4, 4.5 e 4.6, as curvas de secagem comparam os ensaios com temperaturas iguais variando a espessura inicial das fatias. Nestas figuras, vê-se que a umidade decresce bem mais rápido quando a espessura é menor. Além disso, observa-se que quando a espessura é maior, a temperatura causa uma influência maior na cinética de secagem (Figura 4.3). E que quando a temperatura é menor, a variação de espessura causa maior influência na cinética (Figura 4.4). Na Figura 4.6, como a temperatura era alta ( $60^\circ$ ), a cinética de secagem das

espessuras de 1,00 e 1,30 cm praticamente apresentou o mesmo comportamento.

Para encontrar o coeficiente de difusão efetivo das fatias de abacaxi, foi ajustada a equação da 2ª Lei de Fick aos dados de cinética de secagem, por regressão não-linear (programa Origin 4.1), considerando-se os cinco primeiros termos da equação. Os coeficientes de difusão efetivos são mostrados na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1** – Coeficientes de difusão efetivos calculados para os ensaios realizados, variando temperatura e espessura inicial da fatia.

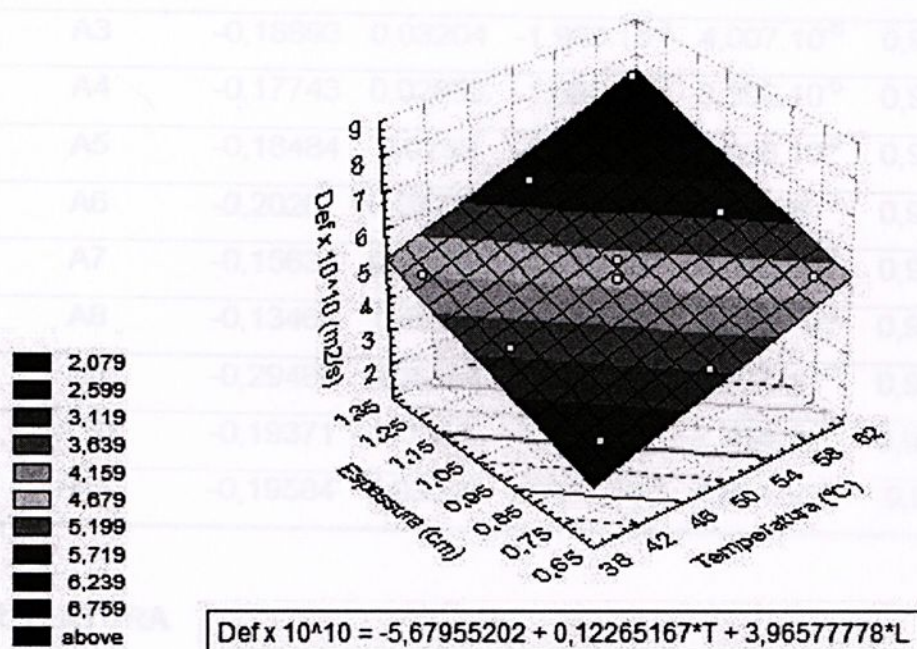
| Ensaio | Temperatura de secagem (°C) | Espessura inicial da fatia (cm) | $D_{ef} \cdot 10^{10}$ (m <sup>2</sup> /s) | R <sup>2</sup> |
|--------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|----------------|
| A6     | 40                          | 0,70                            | 2,3869                                     | 0,992          |
| A2     |                             | 1,00                            | 3,3746                                     | 0,990          |
| A8     |                             | 1,30                            | 3,8517                                     | 0,993          |
| A1     | 50                          | 0,70                            | 3,0088                                     | 0,984          |
| A4     |                             | 1,00                            | 4,0511                                     | 0,982          |
| A10    |                             | 1,00                            | 4,6963                                     | 0,977          |
| A11    |                             | 1,00                            | 4,7431                                     | 0,991          |
| A7     |                             | 1,30                            | 5,5221                                     | 0,993          |
| A9     | 60                          | 0,70                            | 4,4883                                     | 0,992          |
| A5     |                             | 1,00                            | 4,8354                                     | 0,985          |
| A3     |                             | 1,30                            | 7,6486                                     | 0,991          |



As curvas mostraram que foram bem ajustadas, visto que os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) de todos os ensaios foram maiores que 0,98.

Pela Tabela 4.1 observa-se que quanto maior a espessura inicial da fatia e maior a temperatura de secagem, maior o coeficiente de difusão.

A Figura 4.7 ilustra os valores dos coeficientes de difusão, onde pode-se notar melhor a influência da espessura e da temperatura no coeficiente de difusão.



**Figura 4.7** - Superfície de resposta e equação de ajuste do coeficiente de difusão efetivo em função da temperatura de secagem e da espessura inicial do abacaxi.

Para encontrar um modelo para a taxa de secagem, foi ajustado um polinômio do 4º grau para o gráfico da cinética de secagem



de cada ensaio. A partir da derivada deste polinômio, obtendo-se portanto um polinômio de 3º grau, pôde-se ajustar um modelo para a taxa de secagem, conforme pode ser visto na Tabela 4.2.

**Tabela 4.2** – Constantes do polinômio de 3º grau que descreve o comportamento da taxa de secagem.

|     | $\frac{dx}{dt} = A + B \cdot t + C \cdot t^2 + D \cdot t^3$ (t em horas) |         |                         |                        |                |
|-----|--------------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------|------------------------|----------------|
|     | A                                                                        | B       | C                       | D                      | r <sup>2</sup> |
| A1  | -0,23866                                                                 | 0,0477  | -3,300.10 <sup>-3</sup> | 7,648.10 <sup>-5</sup> | 0,99882        |
| A2  | -0,15119                                                                 | 0,0236  | -1,433.10 <sup>-3</sup> | 3,029.10 <sup>-5</sup> | 0,99821        |
| A3  | -0,18693                                                                 | 0,03204 | -1,953.10 <sup>-3</sup> | 4,007.10 <sup>-5</sup> | 0,99853        |
| A4  | -0,17743                                                                 | 0,02862 | -1,685.10 <sup>-3</sup> | 3,399.10 <sup>-5</sup> | 0,99924        |
| A5  | -0,18484                                                                 | 0,0292  | -1,612.10 <sup>-3</sup> | 3,028.10 <sup>-5</sup> | 0,99842        |
| A6  | -0,20267                                                                 | 0,03782 | -2,474.10 <sup>-3</sup> | 5,370.10 <sup>-5</sup> | 0,99737        |
| A7  | -0,15632                                                                 | 0,02672 | -1,775.10 <sup>-3</sup> | 4,010.10 <sup>-5</sup> | 0,99814        |
| A8  | -0,13462                                                                 | 0,0226  | -1,477.10 <sup>-3</sup> | 3,245.10 <sup>-5</sup> | 0,99838        |
| A9  | -0,29486                                                                 | 0,06854 | -4,980.10 <sup>-3</sup> | 1,134.10 <sup>-4</sup> | 0,99154        |
| A10 | -0,19371                                                                 | 0,0314  | -1,788.10 <sup>-3</sup> | 3,454.10 <sup>-5</sup> | 0,99955        |
| A11 | -0,19584                                                                 | 0,03526 | -2,262.10 <sup>-3</sup> | 4,854.10 <sup>-5</sup> | 0,9981         |

### 4.2 TEXTURA

A partir dos dados experimentais apresentados no Apêndice B (Tabelas de B.1 a B.4), foi feita uma análise estatística, utilizando o programa Statistica 5.0, para análise de duas variáveis (temperatura de secagem e espessura inicial da fatia) em 3 níveis (Experimental Design, 3\*\*(K-p) and Box-Behnken designs).



A um nível de 5% de probabilidade de significância, o quadro abaixo resume os resultados obtidos. As figuras 4.8 a 4.15, mostram as superfícies de respostas dos atributos que apresentaram significância, quanto ao fator temperatura ou ao fator espessura.

Todos os casos, com exceção de um (mostrado na Tabela 4.3), apresentaram maior significância quando foram desprezados os quadráticos da função. Além disso, através da superfície linear pode-se observar claramente a tendência dos atributos conforme a variação de espessura e temperatura.

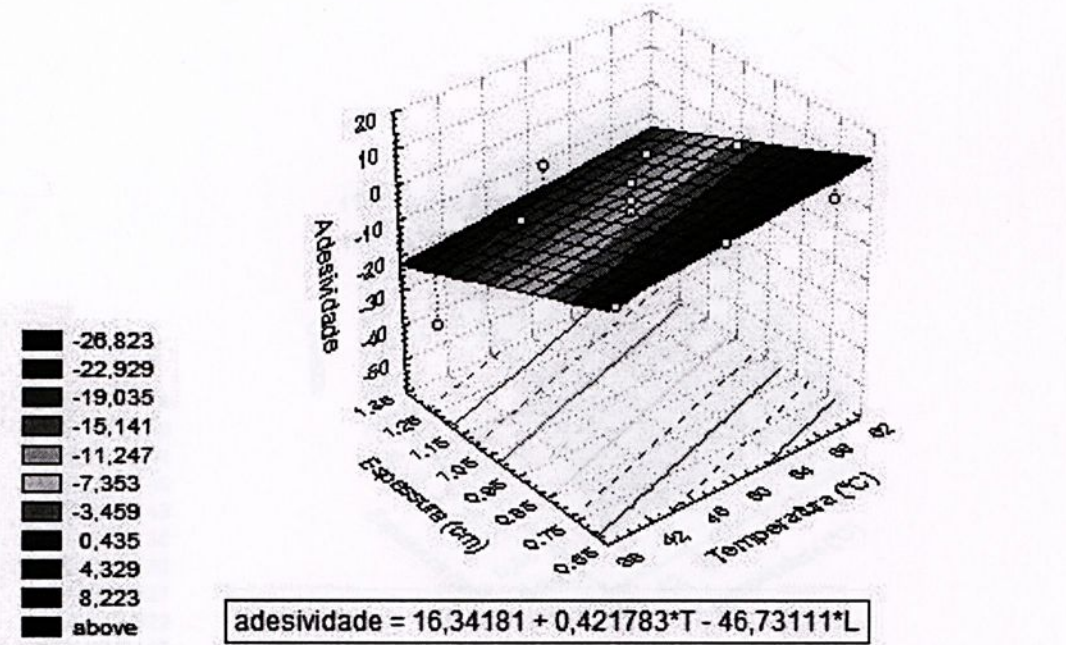


**Tabela 4.3** – Análise de significância das variáveis temperatura e espessura em relação aos atributos de textura da amostra.

|                 | Aw = 0,576  |           | Aw = 0,751  |           |
|-----------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| Atributo        | Temperatura | Espessura | Temperatura | Espessura |
| Dureza          | -           | -         | -           | p < 0,05  |
| Fraturabilidade | -           | -         | -           | -         |
| Adesividade     | -           | p < 0,05  | -           | p < 0,05  |
| Elasticidade    | -           | -         | p < 0,05    | p < 0,05  |
| Aderência       | -           | -         | -           | -         |
| Pastosidade     | -           | -         | -           | p < 0,05  |
| Mastigabilidade | -           | -         | -           | p < 0,05  |
| Resiliência     | -           | p < 0,05  | -           | p < 0,05* |

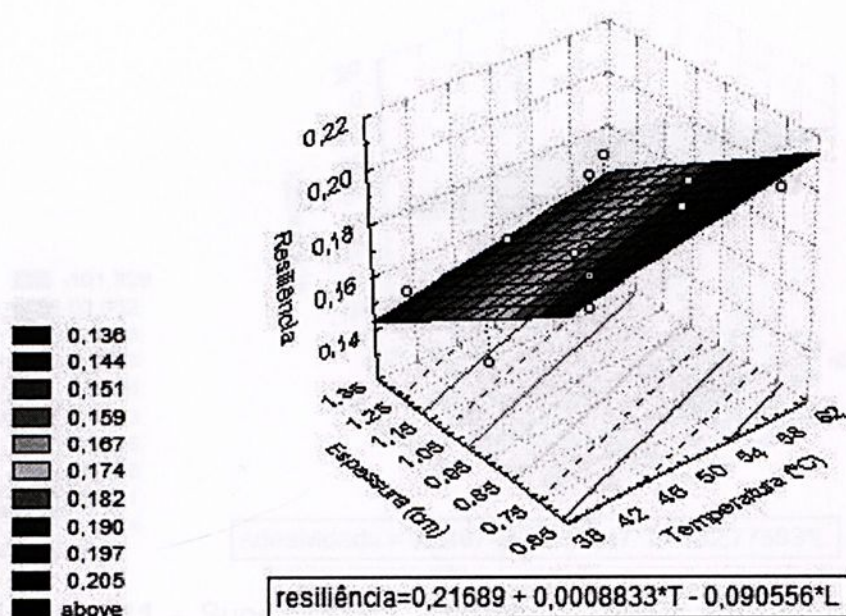
\*Os dados são significativos considerando-se os quadráticos da função  
 Obs: Nas atividades de água de 0,432 e 0,625 nenhum dos atributos apresentou significância quanto aos fatores Temperatura e Espessura

Figura 4.8 - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo adesividade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em a<sub>w</sub>=0,576.

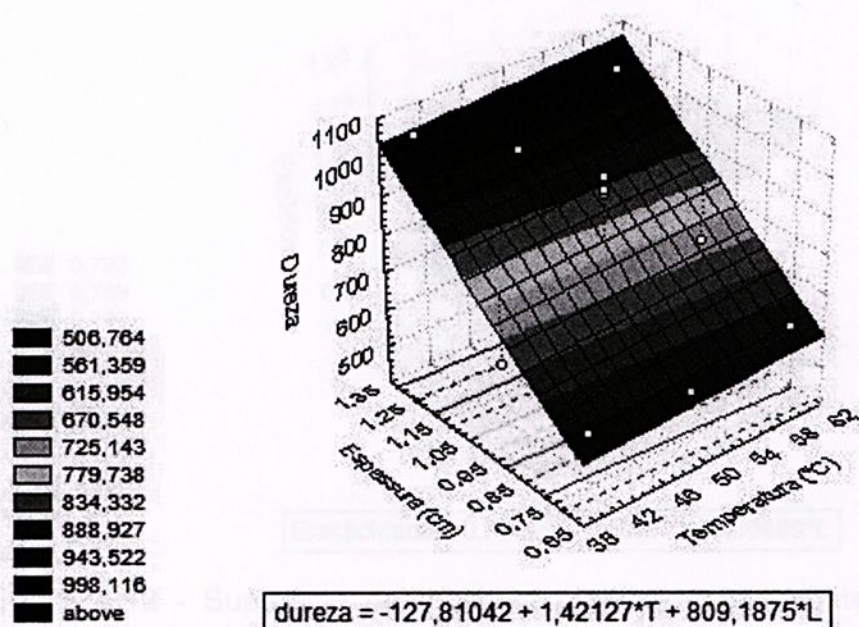


**Figura 4.8** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo adesividade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em a<sub>w</sub>=0,576.

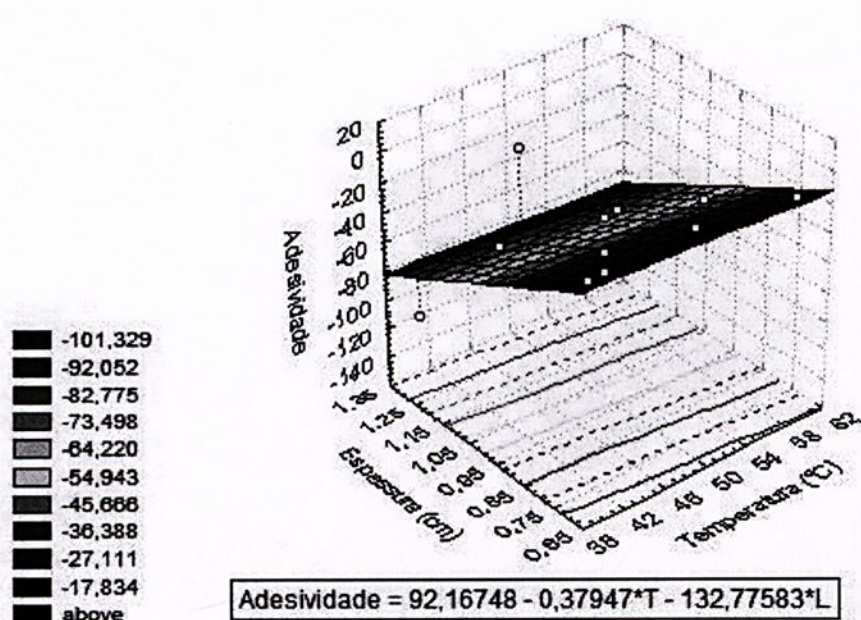




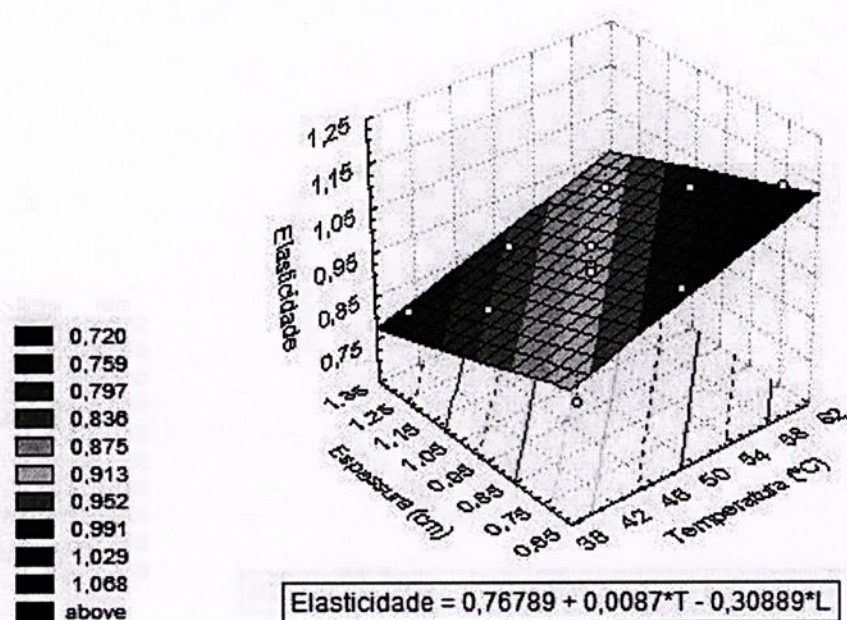
**Figura 4.9** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo resiliência em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,576$ .



**Figura 4.10** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo dureza em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,751$ .

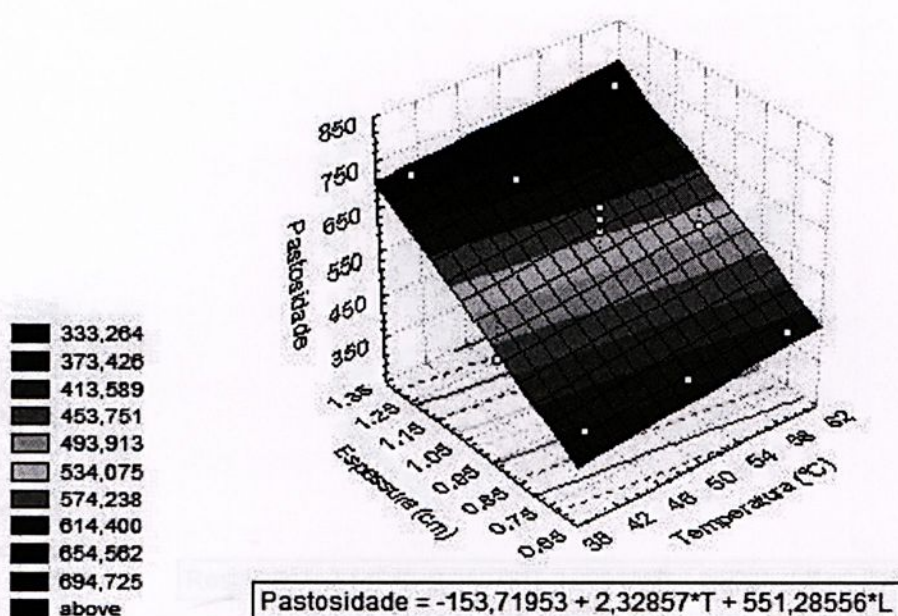


**Figura 4.11** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo adesividade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,751$ .

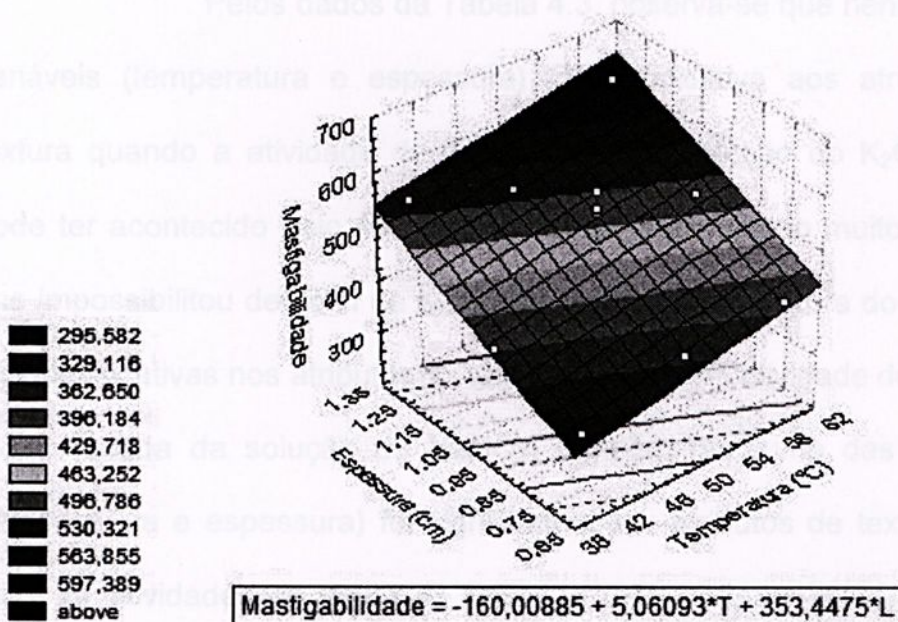


**Figura 4.12** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo elasticidade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,751$ .



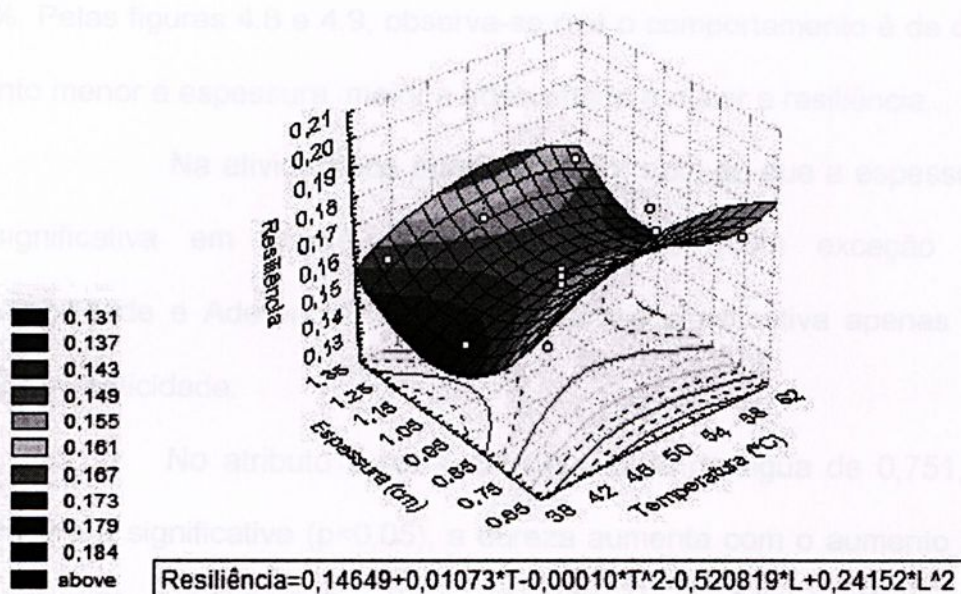


**Figura 4.13** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo pastosidade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,751$ .



**Figura 4.14** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo mastigabilidade em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,751$ .





**Figura 4.15** - Superfície de resposta e equação de ajuste do atributo resiliência em função da temperatura de secagem (°C) e da espessura inicial do abacaxi (cm), em  $a_w=0,751$ .

Pelos dados da Tabela 4.3, observa-se que nenhuma das variáveis (temperatura e espessura) foi significativa aos atributos de textura quando a atividade de água foi 0,432 (solução do  $K_2CO_3$ ). Isto pode ter acontecido pelo fato das amostras terem ficado muito secas, o que impossibilitou detectar se a espessura ou a temperatura do processo são significativas nos atributos de textura. Porém, na atividade de água de 0,625 (obtida da solução de  $NaNO_2$ ) também nenhuma das variáveis (temperatura e espessura) foi significativa aos atributos de textura, mas para as atividades de água de 0,576 e 0,751 alguns atributos foram influenciados significativamente pela temperatura ou espessura.

Na atividade de água de 0,576, observa-se pela Tabela 4.7 que a espessura é significativa nos atributos Adesividade e Resiliência

a 5%. Pelas figuras 4.8 e 4.9, observa-se que o comportamento é de que quanto menor a espessura, maior a adesividade e maior a resiliência.

Na atividade de água de 0,751, nota-se que a espessura é significativa em quase todos os atributos (com exceção da Fraturabilidade e Aderência) e a temperatura é significativa apenas no atributo Elasticidade.

No atributo dureza, com atividade de água de 0,751, a espessura é significativa ( $p < 0,05$ ), a dureza aumenta com o aumento da espessura (Figura 4.10).

No atributo adesividade, observa-se que a espessura é significativa ( $p < 0,05$ ) tanto na atividade de água de 0,576, quanto na de 0,751. Nos dois casos, a adesividade tem a tendência de aumentar com a diminuição da espessura (Figura 4.8 e 4.11).

No atributo elasticidade, a temperatura e a espessura são significativas ( $p < 0,05$ ) na atividade de água de 0,751. A tendência da elasticidade é aumentar com a diminuição da espessura e com o aumento da temperatura (Figura 4.12).

No atributo pastosidade, a espessura é significativa ( $p < 0,05$ ) na atividade de água de 0,751, a tendência é de que a pastosidade aumenta com o aumento da espessura (Figura 4.13).

No atributo mastigabilidade, a espessura é significativa ( $p < 0,05$ ) na atividade de água de 0,751. A mastigabilidade aumenta com o aumento da espessura (Figura 4.14).

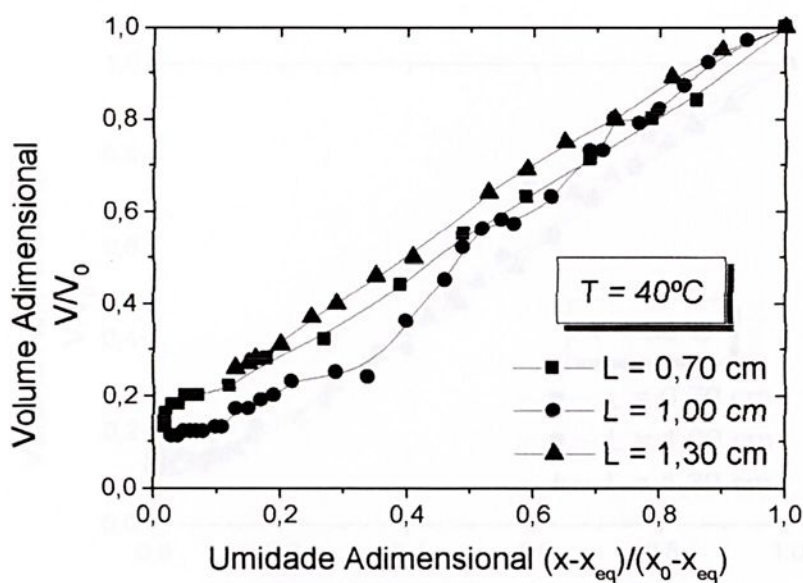




No atributo resiliência, a espessura é significativa nas atividades de água de 0,576 e 0,751. A tendência é a de que a resiliência aumenta com a diminuição da espessura (Figuras 4.9 e 4.15).

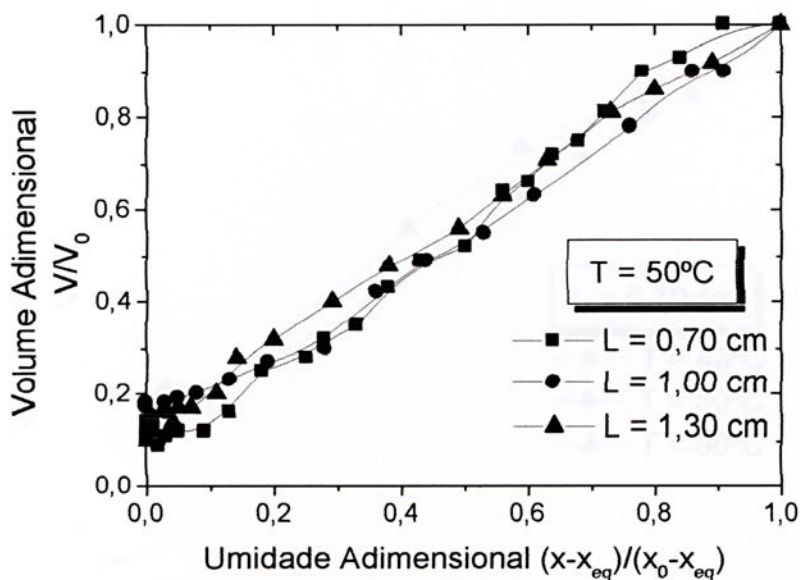
### 4.3 VOLUME

Com os dados de volume, foi encontrado o volume adimensional, ou seja, a razão do volume no instante  $t$  pelo volume da fatia no início da secagem ( $t=0$ ). Nas Figuras de 4.16 a 4.21, apresentam-se os gráficos de volume adimensional por umidade adimensional, com a finalidade de se verificar o encolhimento das fatias e o comportamento deste durante a secagem.

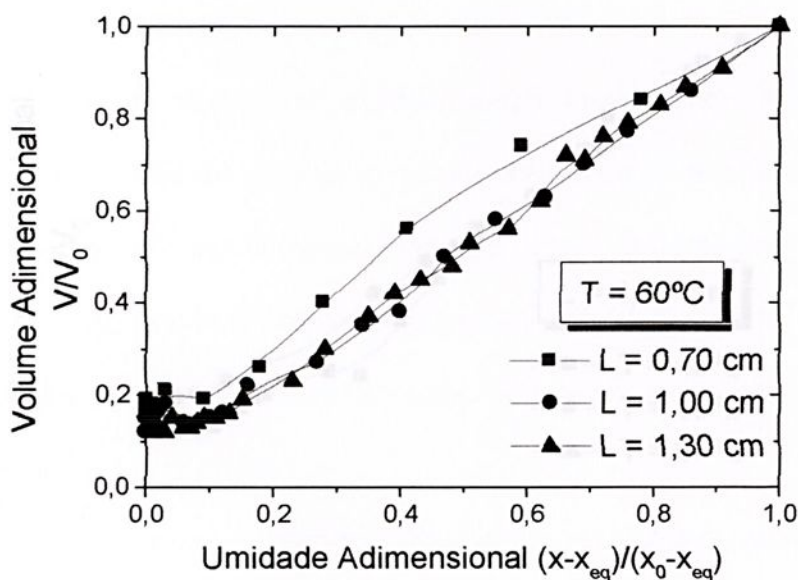


**Figura 4.16** – Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma temperatura ( $40^\circ\text{C}$ ) e espessuras iniciais diferentes (0,70, 1,00 e 1,30 cm).

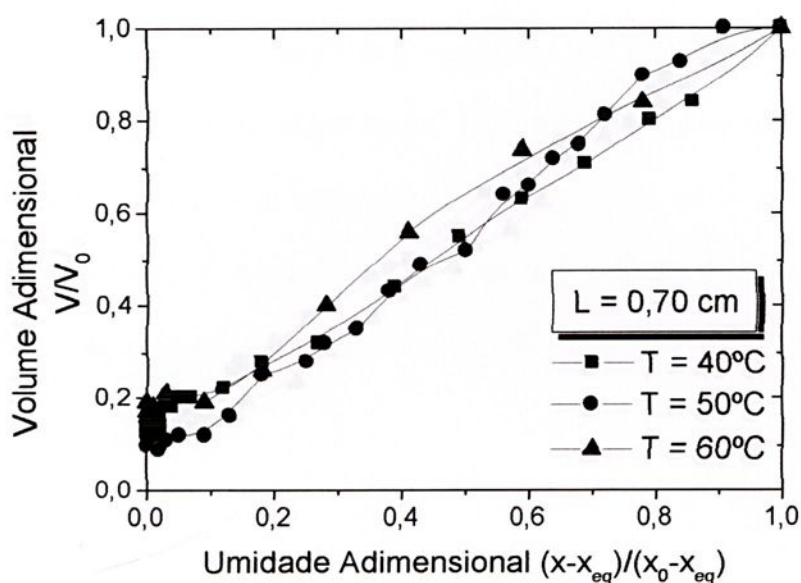




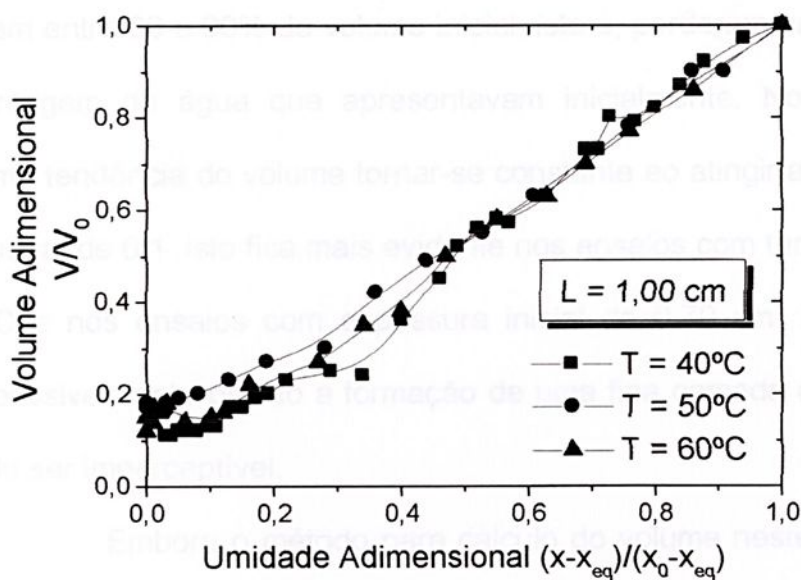
**Figura 4.17** – Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma temperatura ( $50^\circ\text{C}$ ) e espessuras iniciais diferentes (0,70, 1,00 e 1,30 cm).



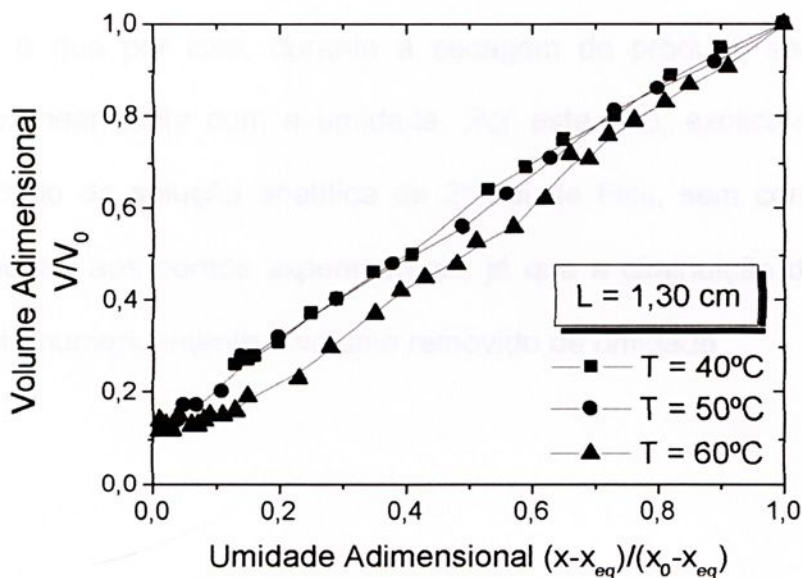
**Figura 4.18** – Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma temperatura ( $60^\circ\text{C}$ ) e espessuras iniciais diferentes (0,70, 1,00 e 1,30 cm).



**Figura 4.19** – Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma espessura inicial (0,70 cm) e temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C).



**Figura 4.20** – Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma espessura inicial (1,00 cm) e temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C).



**Figura 4.21** – Volume adimensional em função da umidade adimensional, com mesma espessura inicial (1,30 cm) e temperaturas diferentes (40, 50 e 60°C).

Analisando os gráficos, observa-se que as fatias diminuíram entre 80 e 90% do volume inicial, isto é, perderam em volume a porcentagem de água que apresentavam inicialmente. No entanto, houve uma tendência do volume tornar-se constante ao atingir a umidade adimensional de 0,1, isto fica mais evidente nos ensaios com temperatura de 60° C e nos ensaios com espessura inicial de 0,70 cm. Isto deve ocorrer possivelmente devido a formação de uma fina camada de crosta, apesar de ser imperceptível.

Embora o método para cálculo do volume neste trabalho não tenha sido de muita precisão (por isso a flutuação de alguns pontos), os resultados foram coerentes ao citado no estudo de Lozano et al. (1983) sobre a admissão de alguns pesquisadores de que o decréscimo do



volume durante a secagem seja equivalente ao volume removido de umidade e que por isso, durante a secagem do produto, seu volume decresce linearmente com a umidade. Por este fato, explica-se o bom ajuste obtido da solução analítica da 2ª Lei de Fick, sem considerar o encolhimento, aos pontos experimentais, já que a diminuição de volume representa numericamente o volume removido de umidade.



## 5 CONCLUSÕES

Pelos dados obtidos e analisados, pode-se concluir que:

1. O coeficiente de difusão do abacaxi orgânico aumenta com o aumento da temperatura e com o aumento da espessura inicial da fatia, com tendência linear.

2. Quando a espessura da fatia é mais grossa, a temperatura causa uma influência maior na cinética de secagem. Quando a temperatura é menor, a variação de espessura causa maior influência na cinética.

3. A Equação da 2ª Lei de Fick se ajustou bem aos dados experimentais, mesmo sem considerar o encolhimento volumétrico, pois verificou-se que a diminuição de volume representa numericamente o volume removido de umidade.

4. Os atributos de textura influenciados significativamente ( $p < 0,05$ ) pela espessura inicial da fatia são: dureza, adesividade, elasticidade, pastosidade, mastigabilidade e resiliência. Apenas um atributo (elasticidade), sofreu influência significativa ( $p < 0,05$ ) pela temperatura utilizada no processo de secagem.

5. Tendência do volume das fatias tornar-se constante ao atingir a umidade adimensional de 0,1, isto fica mais evidente nos ensaios com temperatura de 60° C e nos ensaios com espessura inicial de 0,70



cm. Isto ocorre possivelmente devido a formação de uma fina camada de crosta, imperceptível.

Sugestões para novos trabalhos de complementação a este

Analisar as propriedades nutricionais e sensoriais ao final do processo de secagem, para o abacaxi orgânico e o não-orgânico, tais como vitamina C e a enzima bromelina.

Estudo do coeficiente de difusão nas mesmas condições de secagem para abacaxi proveniente de cultivo não-orgânico.

- Otimização do processo, encontrando a melhor combinação de espessura inicial, temperatura de secagem, velocidade do ar e tempo de secagem, considerando a qualidade final do produto e custos de produção.

Problema de um abacaxi para obter abacaxi orgânico, nas temperaturas e umidades estudadas.

- Secagem sob vácuo das fatias de abacaxi.  
- Estudo do tempo de armazenamento das fatias após secagem.

- Utilização de pré-tratamentos químicos para melhorar a aparência final e propriedades organolépticas.





## 6 SUGESTÕES

Sugestões para novos trabalhos de complementação a este:

- Analisar as propriedades nutritivas e sensoriais ao final do processo de secagem, para o abacaxi orgânico e o não-orgânico, tais como vitamina C e a enzima bromelina.

- Cálculo do coeficiente de difusão nas mesmas condições de secagem para abacaxi procedente de cultivo não-orgânico.

- Otimização do processo, encontrando a melhor combinação de espessura inicial, temperatura de secagem, velocidade do ar e tempo de residência, considerando a qualidade final do produto e custos do processo.

- Projeto de um secador para secar abacaxi orgânico, nas temperaturas e espessuras estudadas.

- Secagem solar das fatias de abacaxi.

- Estudo do tempo de armazenamento das fatias após secas.

- Utilização de pré-tratamentos químicos para melhorar a aparência final e propriedades organolépticas.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHANTA, S. & OKOS, M.R. Predicting the quality of dehydrated foods and biopolymers - research needs and opportunities. Drying Technology 14(6): 1329-1368, 1996.
- AGUERRE, R.J., SUAREZ, C., VIOLLAZ, P.E. Drying kinetics of rough rice grain. Journal of Food Technology, 17, 679-686, 1982.
- CAMARGO, RODOLPHO DE et al. Tecnologia dos produtos agropecuários - alimentos. São Paulo, Nobel, 1984
- CARBONELL, J.V., PIÑAGA, F., YUSÁ, V., PEÑA, J.L. The dehydration of paprika with ambient and heated air and the kinetics of color degradation during storage. Journal of Food Science, 5, 179-193, 1986.
- CENTENO, G. Análisis de la Oferta Latinoamericana de Piña Orgánica, Agosto, 2003. Disponível em: <[http://www.cims-la.com/ES/publicaciones/ficha\\_publicaciones.phtml/931/](http://www.cims-la.com/ES/publicaciones/ficha_publicaciones.phtml/931/)>. Acesso em 30 de Julho de 2004.
- CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: Advances in Drying, ed. Arum S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corporation. Washington, 73-102, 1983.
- CHUA, K. J. & CHOU, S. K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. Trends in Food Science e Technology, 14, 519-528.



CHUNG, D.S., CHANG, D.I. Principles of food dehydration. Journal of Food Protection, Ames, v.45, n.5, p.475-479. 1982.

CRANK, J. The Mathematics of Diffusion, 2<sup>nd</sup> ed., 414 p., Clarendon Press, Oxford, 1975.

DAUDIN, J.D. Calcul des cinétiques de séchage par l'air chaud des produits biologiques solides. Sciences des Aliments, 3(1), 1-36, 1983.

DURÁN, L; FISZMAM, S.M.; BARBER, C.B. Propriedades mecânicas empíricas. In: Métodos para medir propriedades físicas en industrias de alimentos. Ed. Alvarado, J.D.; Aguilera, J.M. Zaragoza, Ed. Acríbia. 410p.2001

ELUSTONDO, D.; ELUSTONDO, M.P.; URBICAIN, M.J. Mathematical modeling of moisture evaporation from foodstuffs exposed to subatmospheric pressure superheated steam. Journal of Food Engineering, Oxford: v.49, p.15-24. 2001.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. <<http://www.cnpmf.embrapa.br>>. Acesso em Dezembro de 2003.

ETM – Editora Terceiro Milênio – Revista do Mercosul. Disponível em: <[http://www.etm.com.br/pesquisa-public/mercosul/mercosul\\_76\\_4.htm](http://www.etm.com.br/pesquisa-public/mercosul/mercosul_76_4.htm)>. Acesso em 25 de Novembro de 2003.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Commodities and Trade, 2003. <[http://www.fao.org/es/ESC/en/20953/21038/highlight\\_26407en.html](http://www.fao.org/es/ESC/en/20953/21038/highlight_26407en.html)>. Atualizado em Julho de 2003 e acessado em Dezembro de 2003.





- GABAS, A.L. Influência das condições de secagem de ameixa (*Prunus domestica*) na qualidade do produto final. Tese de doutorado, FEA, UNICAMP, 133 p, 2002.
- GABAS, A.L. Secagem de Uva Itália em Leito Fixo, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, SP, 137p., 1998.
- HOLDSWORTH, S.D. dehydration on of food products. A Review. Journal of Food Tecnology, Oxford, v.6, n.4, p.331-70.1971.
- INFORME MEIO AMBIENTE – Belo Horizonte, 2002.  
<[http://www.informema.hpg.ig.com.br/texto/produto\\_organico.htm](http://www.informema.hpg.ig.com.br/texto/produto_organico.htm)>.  
Acesso em Junho de 2004.
- IRMÃOS BENASSI. <<http://www.irmaosbenassi.com.br/cat/Abacaxi.htm>>.  
Acesso em Novembro de 2003.
- JAIN, D & TIWARI, G. N. (2004). Effect of greenhouse on crop drying under natural and forced convection – I: Evaluation of convective mass transfer coefficient. Energy Conversion and Management, 45, 765-783.
- LAHSASNI, S., KOUHILA, M., MAHROUZ, M. & JAOUHARI, J. T. (2004). Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). Journal of Food Engineering, 61, 173-179.
- LAND, C. M. van't. Industrial Drying Equipament: Selection and Application. New York; Marcel Dekker, 1991, 362p.
- LOZANO, J.E., ROTSTEIN, E., URBICAIN, M.J. Shrinkage, porosity and bulk density of foodstuffs at changing moisture contents. Journal of Food Science, 48, 1497-1502, 1983.
- MAZZA, G., LEMAGUER, M. Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations. Journal of Food Technology, 15181-194, 1980.



- MC CORMICK, P.Y. Solids drying fundamentals. In: Perry, R.H. and Chilton, C.H. Chemical Engineer's Handbook. Mc Grow-Hill Co. 5ed., sec. 20-4, 1983.
- MISRA, M.K., BROOKER, D.B. Thin layer drying and rewetting equations for shelled yellow corn. Transactions of the ASAE, 23(5), 1254-1260, 1980.
- MORGADO, R.H., ABREU, J.A.D. Textura de sólidos y semisólidos. In: Métodos para medir propiedades físicas em industrias de alimentos. Ed. Alvarado, J.D.; Aguilera, J.M. Zaragoza, Ed. Acribia. 410p. 2001
- NICOLETI, J.F., TELIS-ROMERO, J., TELIS, V.R.N. Air-Drying of Fresh and Osmotically Pre-Treated Pineapple Slices: Fixed Air Temperature Versus Fixed Slice Temperature Drying Kinetics, Drying Technology, 19(9), 2175-2191, 2001.
- NICOLETI, J. F. Cinética de Secagem e Encolhimento de Fatias de Abacaxi. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos. São José do Rio Preto, Unesp, 102p, 2001.
- NIJHUIS, H.H., TORRINGA, E., LUYTEN, H., RENÉ, F., JONES, P., FUNEBO, T. & OHLSSON, T. Research needs and opportunities in the dry conservation of fruits and vegetables. Drying Technology 14(6): 1429-1457, 1996.
- PARRY, J.L. Mathematical modeling and computer simulation of heat and mass transfer in agricultural grain drying: A review, Journal of Agricultural Engineering Researches, 32, 1-29, 1985.
- PARTI, M., DUGMANICS, I. Diffusion coefficient for corn drying. Transactions of the ASAE, 33(5), 1652-1656, 1990.





PINHEIRO, Giuliano Santos. Propriedades Físicas, Termofísicas e Físico-Químicas de Purê de Banana Adicionado de Açúcar. Tese de Doutorado em Ciências dos Alimentos. Lavras, UFLA, 139p, 2004.

PLANETA ORGÂNICO – Portal de produtos orgânicos.  
<<http://www.planetaorganico.com.br/ciradpallet.htm>>  
<<http://www.planetaorganico.com.br/saibfruts.htm>>. Acesso em Outubro de 2003.

PRAKASH, S., JHA, S. K. & DATTA, N. (2004). Performance evaluation of blanched carrots dried by three different driers. Journal of Food Engineering, 62, 305-313.

RANGANA, S. Central Food Technological Research Institute Mysore. McGraw-Hill Publishing Company Limited – New Delhi, p.2-3,1977.

RIZVI, S.S.H. Thermodynamics of foods in dehydration. In: Engineering Properties of Foods, 2<sup>nd</sup> ed. Ed. M.A. Rao & S.S.H. Rizvi, p. 223-309. Marcel Dekker, New York, 1995.

ROSENTHAL, ANDREW J. (1999). Food Texture - Measurement and Perception. Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland.

SAGUY, I. & KAREL, M. Modeling of quality deterioration during food processing and storage. Food Technology. p. 78, 1980.

SARAVACOS, G.D., RAOZEIOUS, G.S. Diffusivity of moisture in air drying or raisins. In: Drying 86, ed. Arum S. Mujumdar, Hemisphere Publishing Corporation, 2, 486-491, 1986.

SEBRAE Paraná – Serviço de Apoio à Pequena Empresa no Paraná. Orgânicos - Desk Research, Curitiba, Março, 2002. Disponível em: <<http://www.sebraepr.com.br>>. Acesso em out/02

SILVA, S.A. Tópicos da engenharia de alimentos. São Paulo, Varela. 2000.227p.





- SINGH, R.P.; HELDMAN, D.R. Introducción a la Ingeniería de los alimentos. Zaragoza: Acribia, 1998. 544p.
- SINGH, S., SINGH, P. P. & DHALIWAL, S. S. (2004). Multi-shelf portable solar dryer. Renewable Energy, 29, 753-765.
- STRUMILLO, C. & ADAMIEC, J. Advanced drying of biosynthesis products. Anais do XIX Encontro sobre Escoamento em Meios Porosos, Campinas - S.P., vol. I, p. 17-61, 1991.
- SUAREZ, C., VIOLLAZ, P.A. Shrinkage on drying behavior of potato slabs. Journal of Food Engineering, 13, 103-104, 1991.
- TOBINAGA, S., PINTO, L.A.A. Secagem de materiais fibrosos: músculos de peixes. In: Tópicos Especiais em Secagem, editado por J.T. Freire e D.J.M. Sartori, UFScar, 1, 211-251, 1992.
- TRAVAGLINI, D.A.; AGUIRRE, J.M.; SILVEIRA E.T. Desidratação de frutas. In: Desidratação de frutas e hortaliças – Manual Técnico. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2001, p.3.1-3.40.
- VAGENAS, G.K., MARINOS-KOURIS, D., SARAVACOS, G.D. An analysis of mass transfer in air-drying of foods. Drying Technology, 8(2), 323-342, 1990.
- VAN ARSDEL, W.B., COPLEY, M.J., MORGAN, A.I. Food dehydration, second edition, v.2, The AVI Publishing Company, Inc., Westport, USA, 1973.
- VILLALOBOS, A. Análisis de la Oferta Latinoamericana de Fruta Tropical Orgánica Deshidratada, Agosto, 2003. <[http://www.cims-la.com/ES/publicaciones/ficha\\_publicaciones.phtml/1010/6/area](http://www.cims-la.com/ES/publicaciones/ficha_publicaciones.phtml/1010/6/area)>. Acesso em 30 de Julho de 2004.



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

YUSHENY, Z., POULSEN, K.P. Diffusion in potato drying. Journal of Food Engineering, 7, 249-262, 1988.

APÊNDICE A

Tabela A.1: Dados de secagem do ensaio A1, T = 50° e espessura inicial de 0,7 cm. Umidade inicial do abacaxi = 87,2 %b.u., Brix = 14,0°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%) | v <sub>ar</sub><br>(m/s) | T <sub>ar</sub><br>(°C) | L médio<br>(cm) | D médio<br>(cm) | V médio<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | Xmédio<br>(b.s.) | Xeq<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-----------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|------|
| 0,00         | 28,2      | 1,76                     | 49,3                    | 0,70            | 11,08           | 67,55                         | 306,39        | 140,09        | 6,73             | 0,03          | 1,00 |
| 0,25         | 28,0      | 1,65                     | 48,8                    | 0,70            | 11,06           | 67,40                         | 287,59        | 127,27        | 6,13             | 0,03          | 0,91 |
| 0,50         | 28,0      | 1,60                     | 49,5                    | 0,65            | 11,05           | 62,69                         | 271,58        | 117,53        | 5,66             | 0,03          | 0,84 |
| 0,75         | 28,0      | 1,55                     | 49,0                    | 0,66            | 10,85           | 60,88                         | 257,65        | 109,88        | 5,28             | 0,03          | 0,78 |
| 1,03         | 28,0      | 1,31                     | 49,5                    | 0,59            | 10,88           | 54,92                         | 242,99        | 101,93        | 4,87             | 0,03          | 0,72 |
| 1,27         | 27,6      | 1,65                     | 50,0                    | 0,55            | 10,85           | 50,85                         | 233,19        | 95,95         | 4,59             | 0,03          | 0,68 |
| 1,50         | 27,0      | 1,42                     | 50,0                    | 0,53            | 10,80           | 48,67                         | 223,56        | 90,36         | 4,31             | 0,03          | 0,64 |
| 1,77         | 27,3      | 1,60                     | 50,5                    | 0,51            | 10,63           | 44,89                         | 213,64        | 85,04         | 4,04             | 0,03          | 0,60 |
| 2,00         | 27,4      | 1,34                     | 47,3                    | 0,47            | 10,80           | 42,90                         | 205,52        | 80,47         | 3,81             | 0,03          | 0,56 |
| 2,50         | 26,1      | 1,57                     | 48,0                    | 0,40            | 10,53           | 34,85                         | 188,98        | 71,45         | 3,35             | 0,02          | 0,50 |
| 3,00         | 26,6      | 1,70                     | 48,8                    | 0,38            | 10,48           | 32,89                         | 173,59        | 62,92         | 2,92             | 0,02          | 0,43 |
| 3,50         | 26,8      | 1,44                     | 46,5                    | 0,35            | 10,26           | 29,16                         | 161,62        | 56,44         | 2,59             | 0,02          | 0,38 |
| 4,00         | 27,0      | 1,69                     | 46,8                    | 0,30            | 10,01           | 23,62                         | 149,40        | 50,18         | 2,27             | 0,03          | 0,33 |
| 4,50         | 27,1      | 1,62                     | 46,0                    | 0,29            | 9,83            | 21,89                         | 134,54        | 43,17         | 1,89             | 0,03          | 0,28 |
| 5,00         | 27,0      | 1,49                     | 45,5                    | 0,27            | 9,46            | 18,99                         | 128,06        | 40,27         | 1,72             | 0,03          | 0,25 |
| 6,00         | 24,7      | 1,65                     | 46,5                    | 0,24            | 9,41            | 16,60                         | 107,68        | 31,03         | 1,21             | 0,02          | 0,18 |
| 7,03         | 25,3      | 1,33                     | 46,0                    | 0,16            | 9,16            | 10,71                         | 93,05         | 25,98         | 0,89             | 0,02          | 0,13 |
| 8,22         | 25,1      | 1,55                     | 46,0                    | 0,13            | 8,74            | 7,87                          | 79,43         | 22,41         | 0,62             | 0,02          | 0,09 |
| 10,25        | 25,5      | 1,67                     | 45,5                    | 0,15            | 8,44            | 8,39                          | 62,74         | 19,36         | 0,32             | 0,02          | 0,05 |
| 11,00        | 25,5      | 1,58                     | 49,0                    | 0,14            | 8,39            | 7,53                          | 57,65         | 18,62         | 0,24             | 0,02          | 0,03 |
| 12,07        | 25,1      | 1,66                     | 49,3                    | 0,12            | 8,29            | 6,41                          | 51,67         | 18,20         | 0,15             | 0,02          | 0,02 |
| 13,07        | 25,1      | 1,53                     | 48,0                    | 0,15            | 8,19            | 8,03                          | 48,50         | 17,80         | 0,11             | 0,02          | 0,01 |
| 14,05        | 25,7      | 1,72                     | 47,5                    | 0,17            | 8,11            | 8,51                          | 46,03         | 17,67         | 0,08             | 0,02          | 0,01 |
| 15,07        | 26,6      | 1,60                     | 47,5                    | 0,14            | 7,91            | 7,06                          | 44,12         | 17,55         | 0,06             | 0,02          | 0,00 |
| 16,22        | 26,9      | 1,60                     | 48,0                    | 0,16            | 8,06            | 8,22                          | 42,67         | 17,45         | 0,04             | 0,02          | 0,00 |
| 17,20        | 26,8      | 1,50                     | 47,0                    | 0,17            | 8,05            | 8,84                          | 41,78         | 17,38         | 0,03             | 0,02          | 0,00 |
| 18,77        | 27,5      | 1,75                     | 47,0                    | 1,02            | 7,86            | 8,38                          | 41,07         | 17,30         | 0,03             | 0,03          | 0,00 |
| 20,18        | 29,0      | 1,61                     | 45,5                    | 0,19            | 8,04            | 9,45                          | 40,48         | 17,27         | 0,03             | 0,03          | 0,00 |
| 21,13 *      | 27,5      | 1,70                     | 50,0                    | 0,16            | 8,01            | 8,07                          | 40,17         | 17,15         | 0,03             | 0,03          | 0,00 |
| 26,5         |           | 1,58                     | 47,9                    |                 |                 |                               |               |               |                  |               |      |

\* Houve queda de energia, o ensaio teve que ser interrompido antes das 24 horas estabelecidas.





**Tabela A.2:** Dados de secagem do ensaio A2,  $T = 40^{\circ}$  e espessura inicial de 1,0 cm. Umidade inicial do abacaxi = 86,5 % b.u., Brix = 14,2°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 25,3        | 1,75              | 40,50            | 0,99                | 10,53               | 86,35                             | 466,57        | 188,94        | 6,41                  | 0,03               | 1,00 |
| 0,25         | 25,3        | 1,59              | 42,25            | 0,97                | 10,45               | 83,52                             | 446,54        | 177,01        | 6,02                  | 0,03               | 0,94 |
| 0,50         | 24,5        | 1,58              | 44,00            | 0,93                | 10,40               | 79,18                             | 427,18        | 166,09        | 5,65                  | 0,03               | 0,88 |
| 0,75         | 25,9        | 1,39              | 41,50            | 0,88                | 10,43               | 75,40                             | 411,73        | 158,11        | 5,37                  | 0,03               | 0,84 |
| 1,00         | 25,9        | 1,33              | 41,00            | 0,85                | 10,31               | 70,93                             | 398,60        | 151,47        | 5,14                  | 0,03               | 0,80 |
| 1,25         | 26,0        | 1,69              | 41,00            | 0,82                | 10,33               | 68,55                             | 385,69        | 145,65        | 4,92                  | 0,03               | 0,77 |
| 1,50         | 26,2        | 1,40              | 42,00            | 0,83                | 10,29               | 68,99                             | 372,31        | 139,59        | 4,70                  | 0,03               | 0,73 |
| 1,75         | 30,2        | 1,65              | 36,50            | 0,77                | 10,25               | 63,47                             | 364,50        | 136,15        | 4,57                  | 0,04               | 0,71 |
| 2,00         | 26,0        | 1,41              | 41,00            | 0,78                | 10,18               | 63,42                             | 355,10        | 131,75        | 4,41                  | 0,03               | 0,69 |
| 2,62         | 25,8        | 1,41              | 41,50            | 0,69                | 10,03               | 54,15                             | 333,28        | 121,08        | 4,02                  | 0,03               | 0,63 |
| 3,22         | 25,9        | 1,47              | 42,00            | 0,65                | 9,85                | 49,51                             | 315,17        | 111,74        | 3,70                  | 0,03               | 0,57 |
| 3,50         | 26,1        | 1,49              | 42,50            | 0,66                | 9,84                | 50,45                             | 307,26        | 107,88        | 3,56                  | 0,03               | 0,55 |
| 4,03         | 27,6        | 1,80              | 39,00            | 0,66                | 9,68                | 48,64                             | 294,40        | 101,67        | 3,33                  | 0,03               | 0,52 |
| 4,50         | 28,1        | 1,63              | 38,00            | 0,60                | 9,70                | 44,48                             | 284,41        | 97,14         | 3,17                  | 0,03               | 0,49 |
| 5,02         | 24,1        | 1,49              | 40,00            | 0,53                | 9,58                | 38,43                             | 272,53        | 91,17         | 2,95                  | 0,03               | 0,46 |
| 6,00         | 24,0        | 1,55              | 42,50            | 0,47                | 9,24                | 31,50                             | 251,51        | 80,97         | 2,59                  | 0,03               | 0,40 |
| 7,00         | 22,5        | 1,67              | 45,00            | 0,34                | 8,97                | 21,15                             | 228,82        | 69,80         | 2,19                  | 0,02               | 0,34 |
| 8,00         | 25,4        | 1,58              | 39,50            | 0,35                | 8,77                | 21,34                             | 210,06        | 62,48         | 1,89                  | 0,03               | 0,29 |
| 10,00        | 26,7        | 1,68              | 38,50            | 0,35                | 8,50                | 20,00                             | 180,22        | 51,45         | 1,44                  | 0,03               | 0,22 |
| 11,00        | 25,3        | 1,70              | 40,25            | 0,32                | 8,35                | 17,33                             | 167,78        | 47,07         | 1,26                  | 0,03               | 0,19 |
| 12,02        | 25,4        | 1,71              | 40,25            | 0,30                | 8,24                | 16,12                             | 156,59        | 43,39         | 1,10                  | 0,03               | 0,17 |
| 13,03        | 25,6        | 1,48              | 40,00            | 0,28                | 8,19                | 14,68                             | 146,82        | 40,25         | 0,96                  | 0,03               | 0,15 |
| 14,03        | 26,0        | 1,35              | 39,50            | 0,28                | 8,13                | 14,28                             | 138,45        | 37,68         | 0,84                  | 0,03               | 0,13 |
| 15,03        | 25,7        | 1,39              | 39,00            | 0,22                | 8,02                | 11,31                             | 130,80        | 35,50         | 0,74                  | 0,03               | 0,11 |
| 16,05        | 24,8        | 1,59              | 38,75            | 0,22                | 7,90                | 10,91                             | 123,58        | 33,62         | 0,64                  | 0,03               | 0,10 |
| 17,05        | 25,7        | 1,60              | 38,75            | 0,22                | 7,88                | 10,47                             | 117,64        | 32,13         | 0,56                  | 0,03               | 0,08 |
| 18,00        | 25,9        | 1,87              | 41,25            | 0,22                | 7,89                | 10,50                             | 111,58        | 30,68         | 0,49                  | 0,03               | 0,07 |
| 19,05        | 26,2        | 1,50              | 41,00            | 0,21                | 7,87                | 10,08                             | 105,66        | 29,41         | 0,42                  | 0,03               | 0,06 |
| 21,00        | 25,4        | 1,57              | 39,50            | 0,21                | 7,74                | 9,93                              | 96,84         | 27,93         | 0,32                  | 0,03               | 0,05 |
| 22,02        | 25,0        | 1,64              | 41,00            | 0,20                | 7,72                | 9,41                              | 93,14         | 27,40         | 0,28                  | 0,03               | 0,04 |
| 23,03        | 25,1        | 1,59              | 41,00            | 0,20                | 7,66                | 9,17                              | 89,70         | 26,97         | 0,24                  | 0,03               | 0,03 |
| 24,00        | 25,3        | 1,59              | 41,50            | 0,21                | 7,64                | 9,39                              | 86,50         | 26,68         | 0,21                  | 0,03               | 0,03 |
| <b>25,7</b>  | <b>1,57</b> | <b>40,63</b>      |                  |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |





**Tabela A.3:** Dados de secagem do ensaio A3,  $T = 60^{\circ}$  e espessura inicial de 1,3 cm. Umidade inicial do abacaxi = 87,2% b.u., Brix = 14,0°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 26,0        | 1,51              | 60,00            | 1,28                | 11,04               | 122,66                            | 540,03        | 220,29        | 6,81                  | 0,02               | 1,00 |
| 0,25         | 21,7        | 1,42              | 63,50            | 1,20                | 10,89               | 111,71                            | 506,67        | 199,54        | 6,20                  | 0,02               | 0,91 |
| 0,50         | 21,7        | 1,31              | 61,00            | 1,15                | 10,85               | 106,49                            | 484,13        | 186,31        | 5,81                  | 0,02               | 0,85 |
| 0,75         | 21,8        | 1,41              | 59,00            | 1,12                | 10,74               | 101,69                            | 466,96        | 176,84        | 5,51                  | 0,02               | 0,81 |
| 1,00         | 21,7        | 1,30              | 60,50            | 1,07                | 10,73               | 96,89                             | 449,38        | 166,94        | 5,21                  | 0,02               | 0,76 |
| 1,25         | 21,5        | 1,39              | 60,75            | 1,08                | 10,51               | 93,31                             | 434,19        | 158,03        | 4,94                  | 0,02               | 0,72 |
| 1,50         | 21,5        | 1,19              | 61,00            | 1,01                | 10,48               | 87,30                             | 420,74        | 150,45        | 4,71                  | 0,02               | 0,69 |
| 1,75         | 21,4        | 1,33              | 61,00            | 1,04                | 10,37               | 87,94                             | 409,24        | 143,87        | 4,51                  | 0,02               | 0,66 |
| 2,05         | 21,4        | 1,31              | 59,50            | 0,91                | 10,28               | 75,56                             | 394,92        | 134,83        | 4,25                  | 0,02               | 0,62 |
| 2,55         | 21,3        | 1,47              | 58,50            | 0,85                | 10,17               | 68,98                             | 372,79        | 122,08        | 3,86                  | 0,02               | 0,57 |
| 3,05         | 21,3        | 1,35              | 60,50            | 0,81                | 10,13               | 65,28                             | 352,32        | 110,68        | 3,51                  | 0,02               | 0,51 |
| 3,50         | 20,7        | 1,36              | 58,75            | 0,75                | 9,96                | 58,46                             | 340,00        | 102,91        | 3,28                  | 0,02               | 0,48 |
| 4,00         | 20,5        | 1,31              | 60,50            | 0,71                | 10,01               | 55,68                             | 320,67        | 90,37         | 2,92                  | 0,02               | 0,43 |
| 4,50         | 20,4        | 1,27              | 61,00            | 0,69                | 9,79                | 51,63                             | 305,94        | 81,19         | 2,65                  | 0,02               | 0,39 |
| 5,00         | 20,3        | 1,37              | 60,50            | 0,63                | 9,59                | 45,57                             | 292,51        | 72,94         | 2,41                  | 0,02               | 0,35 |
| 6,00         | 20,0        | 1,43              | 60,50            | 0,54                | 9,34                | 36,79                             | 263,94        | 57,51         | 1,93                  | 0,02               | 0,28 |
| 7,00         | 19,9        | 1,29              | 60,50            | 0,42                | 9,16                | 27,83                             | 238,36        | 46,55         | 1,55                  | 0,02               | 0,23 |
| 9,38         | 19,9        | 1,34              | 60,25            | 0,38                | 8,84                | 23,54                             | 192,52        | 34,91         | 1,01                  | 0,02               | 0,15 |
| 10,08        | 19,8        | 1,34              | 59,00            | 0,34                | 8,71                | 20,10                             | 181,17        | 33,39         | 0,90                  | 0,02               | 0,13 |
| 11,08        | 19,8        | 1,43              | 57,50            | 0,33                | 8,56                | 18,79                             | 166,24        | 31,75         | 0,77                  | 0,02               | 0,11 |
| 12,17        | 19,7        | 1,57              | 59,00            | 0,33                | 8,37                | 18,36                             | 150,99        | 30,56         | 0,63                  | 0,02               | 0,09 |
| 13,00        | 19,6        | 1,54              | 59,00            | 0,33                | 8,26                | 17,54                             | 141,54        | 29,82         | 0,55                  | 0,02               | 0,08 |
| 14,00        | 19,7        | 1,42              | 59,00            | 0,30                | 8,23                | 16,07                             | 131,32        | 29,33         | 0,47                  | 0,02               | 0,07 |
| 15,08        | 19,7        | 1,46              | 58,50            | 0,30                | 8,10                | 15,52                             | 122,06        | 28,89         | 0,40                  | 0,02               | 0,06 |
| 17,00        | 19,7        | 1,40              | 59,00            | 0,37                | 8,05                | 18,84                             | 108,04        | 28,37         | 0,28                  | 0,02               | 0,04 |
| 18,00        | 19,7        | 1,48              | 58,50            | 0,29                | 7,98                | 14,61                             | 102,13        | 28,07         | 0,24                  | 0,02               | 0,03 |
| 19,50        | 19,8        | 1,28              | 60,50            | 0,33                | 7,90                | 16,03                             | 94,64         | 27,82         | 0,18                  | 0,02               | 0,02 |
| 21,18        | 20,0        | 1,49              | 62,00            | 0,34                | 7,81                | 16,33                             | 88,06         | 27,58         | 0,13                  | 0,02               | 0,02 |
| 22,05        | 19,6        | 1,45              | 59,25            | 0,34                | 7,91                | 16,83                             | 85,78         | 27,53         | 0,11                  | 0,02               | 0,01 |
| 23,03        | 19,8        | 1,78              | 61,00            | 0,32                | 7,79                | 15,06                             | 83,18         | 27,42         | 0,09                  | 0,02               | 0,01 |
| 24,00        | 19,8        | 1,55              | 61,50            | 0,32                | 7,82                | 15,13                             | 81,04         | 27,38         | 0,07                  | 0,02               | 0,01 |
| <b>20,6</b>  | <b>1,41</b> | <b>60,03</b>      |                  |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |





**Tabela A.4:** Dados de secagem do ensaio A4,  $T = 50^{\circ}$  e espessura inicial de 1,0 cm. Umidade inicial do abacaxi = 85,9% b.u., Brix = 13,3°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%) | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-----------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 25,3      | 1,57              | 49,00            | 1,06                | 11,03               | 101,55                            | 428,02        | 210,76        | 6,08                  | 0,02               | 1,00 |
| 0,28         | 25,3      | 1,38              | 50,00            | 1,06                | 11,03               | 101,55                            | 396,41        | 199,53        | 5,63                  | 0,02               | 0,93 |
| 0,50         | 25,6      | 1,45              | 50,00            |                     |                     |                                   | 398,94        | 190,10        | 5,49                  | 0,02               | 0,90 |
| 0,75         | 26,4      | 1,48              | 49,00            | 0,96                | 10,91               | 90,02                             | 383,63        | 179,98        | 5,19                  | 0,02               | 0,85 |
| 1,00         | 24,7      | 1,44              | 53,00            |                     |                     |                                   | 370,71        | 170,85        | 4,93                  | 0,02               | 0,81 |
| 1,25         | 25,3      | 0,89              | 50,00            | 0,89                | 10,81               | 81,49                             | 358,67        | 163,47        | 4,71                  | 0,02               | 0,77 |
| 1,50         | 26,0      | 1,42              | 50,00            | 0,86                | 10,70               | 77,56                             | 347,78        | 155,59        | 4,49                  | 0,02               | 0,74 |
| 1,75         | 26,4      | 1,47              | 49,00            |                     |                     |                                   | 335,99        | 148,40        | 4,27                  | 0,02               | 0,70 |
| 2,00         | 25,8      | 1,47              | 52,00            | 0,84                | 10,62               | 74,19                             | 326,42        | 142,68        | 4,09                  | 0,02               | 0,67 |
| 2,50         | 27,1      | 1,43              | 50,50            | 0,78                | 10,55               | 68,29                             | 303,41        | 128,97        | 3,67                  | 0,03               | 0,60 |
| 3,22         | 26,3      | 1,32              | 50,50            | 0,72                | 10,48               | 62,26                             | 279,29        | 115,10        | 3,24                  | 0,02               | 0,53 |
| 3,50         | 26,1      | 1,30              | 50,50            |                     |                     |                                   | 269,63        | 109,81        | 3,07                  | 0,02               | 0,50 |
| 4,00         | 27,0      | 1,50              | 48,00            | 0,65                | 10,38               | 54,63                             | 254,27        | 101,95        | 2,81                  | 0,03               | 0,46 |
| 4,50         | 26,4      | 1,62              | 50,25            | 0,60                | 10,31               | 50,43                             | 241,13        | 95,23         | 2,59                  | 0,02               | 0,42 |
| 5,08         | 25,9      | 1,68              | 50,00            | 0,58                | 10,16               | 46,94                             | 226,99        | 88,01         | 2,35                  | 0,02               | 0,38 |
| 5,50         | 25,4      | 1,64              | 50,00            | 0,56                | 10,09               | 45,06                             | 216,68        | 82,65         | 2,18                  | 0,02               | 0,36 |
| 6,00         | 25,1      | 1,58              | 50,00            | 0,51                | 9,98                | 39,52                             | 206,41        | 77,34         | 2,00                  | 0,02               | 0,33 |
| 7,00         | 25,0      | 1,56              | 50,50            | 0,45                | 9,71                | 33,03                             | 187,58        | 67,73         | 1,69                  | 0,02               | 0,28 |
| 8,05         | 24,8      | 1,56              | 50,50            | 0,45                | 9,71                | 33,03                             | 170,76        | 58,97         | 1,40                  | 0,02               | 0,23 |
| 9,12         | 25,6      | 1,64              | 51,50            | 0,40                | 9,55                | 28,71                             | 156,96        | 52,32         | 1,18                  | 0,02               | 0,19 |
| 10,00        | 24,9      | 1,72              | 49,50            | 0,33                | 9,31                | 22,48                             | 146,36        | 47,31         | 1,00                  | 0,02               | 0,16 |
| 11,00        | 24,8      | 1,24              | 50,50            | 0,28                | 8,95                | 17,69                             | 133,96        | 42,18         | 0,82                  | 0,02               | 0,13 |
| 12,00        | 24,8      | 1,19              | 51,50            | 0,27                | 8,80                | 16,65                             | 124,56        | 38,83         | 0,68                  | 0,02               | 0,11 |
| 13,10        | 25,0      | 1,26              | 50,50            | 0,26                | 8,70                | 15,46                             | 116,10        | 36,30         | 0,57                  | 0,02               | 0,09 |
| 14,00        | 25,1      | 1,77              | 50,00            | 0,25                | 8,73                | 14,65                             | 108,09        | 34,33         | 0,47                  | 0,02               | 0,07 |
| 16,00        | 24,8      | 1,93              | 50,00            | 0,21                | 8,59                | 12,02                             | 95,96         | 32,30         | 0,34                  | 0,02               | 0,05 |
| 17,10        | 24,6      | 1,77              | 50,50            | 0,21                | 8,51                | 11,67                             | 91,62         | 31,84         | 0,29                  | 0,02               | 0,04 |
| 18,00        | 24,4      | 1,77              | 50,50            | 0,21                | 8,51                | 11,67                             | 87,70         | 31,46         | 0,25                  | 0,02               | 0,04 |
| 19,13        | 24,4      | 1,63              | 49,50            | 0,21                | 8,44                | 11,96                             | 83,49         | 31,17         | 0,21                  | 0,02               | 0,03 |
| 20,50        | 24,4      | 1,68              | 51,00            | 0,21                | 8,41                | 11,60                             | 79,43         | 30,85         | 0,17                  | 0,02               | 0,03 |
| 22,05        | 24,7      | 1,62              | 49,50            | 0,21                | 8,37                | 11,55                             | 75,74         | 30,63         | 0,14                  | 0,02               | 0,02 |
| 23,63        | 25,2      | 1,81              | 48,50            | 0,21                | 8,34                | 11,40                             | 72,86         | 30,45         | 0,11                  | 0,02               | 0,01 |
| 24,08        | 25,4      | 1,54              | 51,00            | 0,20                | 8,28                | 10,84                             | 72,20         | 30,40         | 0,11                  | 0,02               | 0,01 |
| <b>25,4</b>  |           | <b>1,53</b>       | <b>50,20</b>     |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |





**Tabela A.5:** Dados de secagem do ensaio A5,  $T = 60^{\circ}$  e espessura inicial de 1,0 cm. Umidade inicial do abacaxi = 85,7% b.u., Brix = 13,3°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 21,0        | 1,48              | 56,50            | 1,03                | 10,58               | 90,22                             | 424,86        | 217,58        | 5,98                  | 0,02               | 1,00 |
| 0,25         | 20,8        | 1,51              | 61,00            |                     |                     |                                   | 398,07        | 199,93        | 5,47                  | 0,02               | 0,92 |
| 0,50         | 20,8        | 1,49              | 61,00            | 0,91                | 10,47               | 77,88                             | 379,94        | 188,14        | 5,14                  | 0,02               | 0,86 |
| 0,75         | 20,0        | 1,67              | 61,50            |                     |                     |                                   | 361,69        | 177,19        | 4,81                  | 0,02               | 0,80 |
| 1,00         | 20,0        | 1,45              | 57,00            | 0,82                | 10,41               | 69,37                             | 346,16        | 168,49        | 4,54                  | 0,02               | 0,76 |
| 1,32         | 19,7        | 1,45              | 61,50            |                     |                     |                                   | 330,64        | 158,98        | 4,26                  | 0,02               | 0,71 |
| 1,50         | 19,7        | 1,56              | 62,00            | 0,75                | 10,34               | 62,71                             | 321,66        | 153,61        | 4,10                  | 0,02               | 0,69 |
| 1,75         | 19,3        | 1,55              | 58,75            |                     |                     |                                   | 311,73        | 147,70        | 3,93                  | 0,02               | 0,66 |
| 2,00         | 19,2        | 1,41              | 58,75            | 0,70                | 10,20               | 57,14                             | 301,56        | 141,40        | 3,74                  | 0,02               | 0,63 |
| 2,68         | 19,2        | 1,54              | 57,50            | 0,66                | 10,02               | 51,95                             | 275,45        | 125,09        | 3,27                  | 0,02               | 0,55 |
| 3,07         | 19,2        | 1,63              | 62,50            |                     |                     |                                   | 262,62        | 117,17        | 3,04                  | 0,02               | 0,51 |
| 3,50         | 19,0        | 1,63              | 58,50            | 0,59                | 9,88                | 45,04                             | 249,08        | 109,21        | 2,80                  | 0,02               | 0,47 |
| 4,20         | 18,9        | 1,58              | 62,25            | 0,46                | 9,78                | 34,48                             | 228,64        | 96,79         | 2,43                  | 0,02               | 0,40 |
| 4,63         | 18,9        | 1,48              | 60,00            |                     |                     |                                   | 216,39        | 89,74         | 2,22                  | 0,02               | 0,37 |
| 5,05         | 18,8        | 1,50              | 58,25            | 0,44                | 9,60                | 32,00                             | 206,56        | 84,04         | 2,04                  | 0,02               | 0,34 |
| 6,08         | 18,8        | 1,39              | 61,50            | 0,37                | 9,21                | 24,72                             | 181,30        | 69,66         | 1,61                  | 0,02               | 0,27 |
| 6,72         | 18,7        | 1,44              | 60,50            |                     |                     |                                   | 168,52        | 62,82         | 1,39                  | 0,02               | 0,23 |
| 8,00         | 19,0        | 1,16              | 60,50            | 0,32                | 8,94                | 20,00                             | 143,63        | 51,03         | 1,00                  | 0,02               | 0,16 |
| 9,00         | 19,1        | 1,16              | 60,50            | 0,25                | 8,70                | 14,86                             | 127,06        | 43,97         | 0,75                  | 0,02               | 0,12 |
| 10,00        | 19,6        | 1,33              | 61,00            | 0,24                | 8,61                | 13,97                             | 117,66        | 40,17         | 0,61                  | 0,02               | 0,10 |
| 11,00        | 19,1        | 1,56              | 61,00            |                     |                     |                                   | 107,33        | 37,07         | 0,48                  | 0,02               | 0,08 |
| 12,05        | 18,9        | 1,56              | 58,50            | 0,23                | 8,39                | 12,63                             | 98,06         | 35,25         | 0,37                  | 0,02               | 0,06 |
| 13,00        | 19,1        | 1,45              | 57,00            |                     |                     |                                   | 90,86         | 34,17         | 0,29                  | 0,02               | 0,05 |
| 15,00        | 19,0        | 1,51              | 60,50            | 0,30                | 8,28                | 15,89                             | 80,22         | 33,03         | 0,19                  | 0,02               | 0,03 |
| 16,13        | 19,9        | 1,49              | 57,00            |                     |                     |                                   | 76,12         | 32,64         | 0,15                  | 0,02               | 0,02 |
| 17,00        | 19,7        | 1,49              | 57,00            | 0,27                | 8,14                | 14,24                             | 73,53         | 32,42         | 0,12                  | 0,02               | 0,02 |
| 18,97        | 19,5        | 1,55              | 59,50            | 0,30                | 8,12                | 15,27                             | 69,78         | 32,10         | 0,09                  | 0,02               | 0,01 |
| 20,00        | 19,2        | 1,55              | 59,50            |                     |                     |                                   | 68,35         | 31,95         | 0,07                  | 0,02               | 0,01 |
| 21,00        | 19,2        | 1,47              | 60,25            | 0,25                | 8,10                | 12,69                             | 67,31         | 31,85         | 0,06                  | 0,02               | 0,01 |
| 22,00        | 19,4        | 1,57              | 58,50            |                     |                     |                                   | 66,41         | 31,75         | 0,05                  | 0,02               | 0,01 |
| 23,00        | 19,7        | 1,47              | 58,00            | 0,27                | 8,06                | 13,82                             | 65,63         | 31,67         | 0,05                  | 0,02               | 0,00 |
| 24,00        | 19,6        | 1,57              | 58,00            | 0,22                | 8,01                | 11,16                             | 64,93         | 31,58         | 0,04                  | 0,02               | 0,00 |
|              | <b>19,4</b> | <b>1,49</b>       | <b>59,6</b>      |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |



**Tabela A.6:** Dados de secagem do ensaio A6, T = 40° e espessura inicial de 0,7 cm. Umidade inicial do abacaxi = 84,3% b.u., Brix = 14,3°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | v <sub>ar</sub><br>(m/s) | T <sub>ar</sub><br>(°C) | L médio<br>(cm) | D médio<br>(cm) | V médio<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | x <sub>médio</sub><br>(b.s.) | x <sub>eq</sub><br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------------------|------|
| 0,00         | 35,9        | 1,52                     | 40,00                   | 0,72            | 9,72            | 53,15                         | 261,21        | 103,66        | 5,36                         | 0,05                      | 1,00 |
| 0,27         | 33,5        | 1,54                     | 42,00                   |                 |                 |                               | 246,10        | 96,10         | 4,95                         | 0,04                      | 0,92 |
| 0,50         | 35,1        | 1,58                     | 41,50                   | 0,61            | 9,65            | 44,55                         | 233,45        | 89,97         | 4,60                         | 0,05                      | 0,86 |
| 0,62         | 35,1        | 1,60                     | 41,50                   |                 |                 |                               | 225,04        | 85,48         | 4,36                         | 0,05                      | 0,81 |
| 0,75         | 34,0        | 1,57                     | 41,50                   | 0,59            | 9,62            | 42,66                         | 221,02        | 83,43         | 4,25                         | 0,04                      | 0,79 |
| 1,00         | 34,6        | 1,58                     | 41,50                   |                 |                 |                               | 211,35        | 78,53         | 3,98                         | 0,04                      | 0,74 |
| 1,32         | 32,7        | 1,66                     | 39,50                   | 0,53            | 9,47            | 37,49                         | 200,93        | 73,47         | 3,70                         | 0,04                      | 0,69 |
| 1,50         | 33,9        | 1,61                     | 39,50                   |                 |                 |                               | 196,33        | 71,12         | 3,57                         | 0,04                      | 0,66 |
| 2,03         | 33,9        | 1,49                     | 40,50                   | 0,49            | 9,35            | 33,61                         | 182,55        | 64,45         | 3,20                         | 0,04                      | 0,59 |
| 2,50         | 33,1        | 1,45                     | 41,50                   |                 |                 |                               | 171,60        | 59,32         | 2,91                         | 0,04                      | 0,54 |
| 3,00         | 35,0        | 1,54                     | 39,00                   | 0,44            | 9,26            | 29,48                         | 161,05        | 54,73         | 2,64                         | 0,05                      | 0,49 |
| 3,50         | 32,0        | 1,67                     | 42,00                   |                 |                 |                               | 151,69        | 50,62         | 2,40                         | 0,04                      | 0,44 |
| 4,07         | 36,6        | 1,59                     | 39,50                   | 0,36            | 9,07            | 23,23                         | 140,92        | 46,46         | 2,14                         | 0,05                      | 0,39 |
| 5,00         | 35,7        | 1,15                     | 39,50                   |                 |                 |                               | 125,88        | 40,69         | 1,78                         | 0,05                      | 0,33 |
| 6,00         | 36,9        | 1,36                     | 39,50                   | 0,30            | 8,49            | 17,14                         | 112,86        | 36,19         | 1,49                         | 0,05                      | 0,27 |
| 7,00         | 36,5        | 1,60                     | 38,25                   |                 |                 |                               | 101,58        | 32,12         | 1,22                         | 0,05                      | 0,22 |
| 8,00         | 36,9        | 1,63                     | 38,25                   | 0,28            | 8,23            | 14,62                         | 92,71         | 28,79         | 1,01                         | 0,05                      | 0,18 |
| 9,02         | 34,0        | 1,72                     | 39,75                   |                 |                 |                               | 85,02         | 25,76         | 0,83                         | 0,04                      | 0,15 |
| 10,00        | 33,6        | 1,58                     | 41,00                   | 0,23            | 7,96            | 11,56                         | 78,92         | 23,64         | 0,69                         | 0,04                      | 0,12 |
| 11,03        | 34,2        | 1,65                     | 41,00                   |                 |                 |                               | 73,21         | 21,96         | 0,57                         | 0,04                      | 0,10 |
| 12,23        | 35,5        | 1,62                     | 40,00                   |                 |                 |                               | 68,19         | 20,74         | 0,47                         | 0,05                      | 0,08 |
| 13,26        | 35,8        | 1,64                     | 39,50                   | 0,23            | 7,68            | 10,42                         | 64,50         | 19,99         | 0,40                         | 0,05                      | 0,07 |
| 14,33        | 35,4        | 1,66                     | 40,50                   |                 |                 |                               | 61,36         | 19,36         | 0,34                         | 0,05                      | 0,06 |
| 15,35        | 35,8        | 1,68                     | 40,00                   | 0,24            | 7,56            | 10,66                         | 58,77         | 18,98         | 0,30                         | 0,05                      | 0,05 |
| 16,42        | 35,7        | 1,61                     | 39,50                   | 0,21            | 7,51            | 9,41                          | 56,56         | 19,02         | 0,27                         | 0,05                      | 0,04 |
| 18,00        | 35,0        | 1,59                     | 39,50                   | 0,22            | 7,52            | 9,82                          | 54,01         | 18,26         | 0,22                         | 0,05                      | 0,03 |
| 20,08        | 35,6        | 1,63                     | 38,25                   | 0,21            | 7,48            | 9,33                          | 51,66         | 17,97         | 0,18                         | 0,05                      | 0,03 |
| 22,13        | 33,4        | 1,51                     | 41,50                   | 0,17            | 7,48            | 7,46                          | 49,92         | 17,74         | 0,15                         | 0,04                      | 0,02 |
| 23,00        | 34,6        | 1,48                     | 40,00                   | 0,19            | 7,47            | 8,27                          | 49,37         | 17,68         | 0,14                         | 0,04                      | 0,02 |
| 24,00        | 32,9        | 1,50                     | 41,00                   | 0,16            | 7,42            | 7,03                          | 48,74         | 17,60         | 0,13                         | 0,04                      | 0,02 |
|              | <b>34,8</b> | <b>1,57</b>              | <b>40,2</b>             |                 |                 |                               |               |               |                              |                           |      |





**Tabela A.7:** Dados de secagem do ensaio A7,  $T = 50^{\circ}$  e espessura inicial de 1,3 cm. Umidade inicial do abacaxi = 86,7% b.u., Brix = 12,7°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 24,7        | 1,49              | 54,50            | 1,25                | 10,90               | 116,17                            | 462,39        | 242,50        | 6,49                  | 0,02               | 1,00 |
| 0,25         | 27,5        | 1,48              | 48,50            |                     |                     |                                   | 439,68        | 225,95        | 6,05                  | 0,03               | 0,93 |
| 0,50         | 26,2        | 1,64              | 50,00            | 1,19                | 10,74               | 107,42                            | 424,17        | 215,74        | 5,77                  | 0,02               | 0,89 |
| 0,75         | 26,0        | 1,61              | 50,75            |                     |                     |                                   | 407,49        | 205,62        | 5,48                  | 0,02               | 0,84 |
| 1,05         | 26,6        | 1,60              | 50,00            | 1,10                | 10,73               | 99,51                             | 391,92        | 195,87        | 5,20                  | 0,02               | 0,80 |
| 1,57         | 26,6        | 1,47              | 50,00            | 1,06                | 10,60               | 93,54                             | 367,39        | 180,92        | 4,77                  | 0,02               | 0,73 |
| 2,00         | 26,6        | 1,56              | 49,00            |                     |                     |                                   | 348,53        | 169,75        | 4,44                  | 0,02               | 0,68 |
| 2,50         | 26,6        | 1,43              | 49,50            | 0,95                | 10,50               | 82,26                             | 329,88        | 158,64        | 4,12                  | 0,02               | 0,63 |
| 3,00         | 28,4        | 1,52              | 49,75            |                     |                     |                                   | 309,64        | 147,07        | 3,78                  | 0,03               | 0,58 |
| 3,50         | 28,1        | 1,57              | 49,50            | 0,86                | 10,40               | 72,74                             | 300,60        | 142,35        | 3,63                  | 0,03               | 0,56 |
| 4,00         | 29,0        | 1,49              | 47,50            |                     |                     |                                   | 287,25        | 134,54        | 3,40                  | 0,03               | 0,52 |
| 4,50         | 29,1        | 1,61              | 49,50            | 0,79                | 10,25               | 65,50                             | 274,64        | 127,04        | 3,19                  | 0,03               | 0,49 |
| 5,50         | 29,5        | 1,52              | 47,50            |                     |                     |                                   | 253,00        | 115,15        | 2,83                  | 0,03               | 0,43 |
| 6,50         | 30,0        | 1,56              | 48,50            | 0,70                | 10,02               | 55,30                             | 234,05        | 104,47        | 2,51                  | 0,03               | 0,38 |
| 7,63         | 29,0        | 1,52              | 47,00            |                     |                     |                                   | 215,38        | 93,37         | 2,19                  | 0,03               | 0,33 |
| 8,70         | 30,0        | 1,35              | 48,00            | 0,62                | 9,76                | 46,24                             | 199,16        | 84,03         | 1,91                  | 0,03               | 0,29 |
| 9,50         | 27,4        | 1,68              | 48,50            |                     |                     |                                   | 188,54        | 77,66         | 1,73                  | 0,03               | 0,26 |
| 10,72        | 25,7        | 1,68              | 51,00            |                     |                     |                                   | 174,82        | 69,86         | 1,50                  | 0,02               | 0,23 |
| 11,67        | 25,8        | 1,46              | 50,00            | 0,53                | 9,40                | 36,78                             | 164,07        | 63,76         | 1,31                  | 0,02               | 0,20 |
| 13,02        | 26,2        | 1,42              | 49,50            |                     |                     |                                   | 150,02        | 55,83         | 1,08                  | 0,02               | 0,16 |
| 14,07        | 26,5        | 1,52              | 50,00            | 0,48                | 9,28                | 32,09                             | 141,39        | 51,39         | 0,94                  | 0,02               | 0,14 |
| 15,00        | 26,0        | 1,56              | 49,50            |                     |                     |                                   | 133,50        | 47,86         | 0,82                  | 0,02               | 0,12 |
| 16,00        | 25,5        | 1,56              | 49,50            | 0,36                | 8,95                | 22,81                             | 125,89        | 45,10         | 0,72                  | 0,02               | 0,11 |
| 17,50        | 26,2        | 1,56              | 49,50            |                     |                     |                                   | 116,35        | 41,92         | 0,59                  | 0,02               | 0,09 |
| 19,00        | 26,5        | 1,72              | 51,50            | 0,33                | 8,68                | 19,21                             | 108,04        | 39,66         | 0,49                  | 0,02               | 0,07 |
| 20,60        | 27,3        | 1,57              | 49,50            |                     |                     |                                   | 100,69        | 38,35         | 0,41                  | 0,03               | 0,06 |
| 22,43        | 27,3        | 1,57              | 51,00            | 0,35                | 8,48                | 19,74                             | 93,57         | 37,28         | 0,33                  | 0,03               | 0,05 |
| 23,00        | 27,7        | 1,49              | 49,50            |                     |                     |                                   | 91,49         | 37,09         | 0,31                  | 0,03               | 0,04 |
| 24,00        | 26,9        | 1,54              | 51,50            | 0,31                | 8,35                | 16,77                             | 88,31         | 36,71         | 0,28                  | 0,02               | 0,04 |
| <b>27,2</b>  | <b>1,54</b> | <b>49,7</b>       |                  |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |





**Tabela A.8:** Dados de secagem do ensaio A8,  $T = 40^{\circ}$  e espessura inicial de 1,3 cm. Umidade inicial do abacaxi = 86,7% b.u., Brix = 12,7°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 32,0        | 1,63              | 41,50            | 1,30                | 9,88                | 99,76                             | 422,22        | 207,02        | 5,44                  | 0,03               | 1,00 |
| 0,25         | 32,7        | 1,71              | 39,50            |                     |                     |                                   | 404,07        | 197,76        | 5,16                  | 0,03               | 0,95 |
| 0,55         | 32,3        | 1,82              | 42,00            | 1,26                | 9,78                | 94,42                             | 387,92        | 188,58        | 4,89                  | 0,03               | 0,90 |
| 0,87         | 31,9        | 1,63              | 41,50            |                     |                     |                                   | 372,48        | 180,09        | 4,64                  | 0,03               | 0,85 |
| 1,13         | 32,4        | 1,58              | 41,50            | 1,19                | 9,78                | 89,25                             | 361,08        | 173,44        | 4,45                  | 0,03               | 0,82 |
| 1,53         | 31,8        | 1,58              | 41,50            |                     |                     |                                   | 345,73        | 165,07        | 4,21                  | 0,03               | 0,77 |
| 2,00         | 30,9        | 1,69              | 42,50            | 1,09                | 9,65                | 79,72                             | 331,19        | 157,00        | 3,97                  | 0,03               | 0,73 |
| 2,55         | 30,5        | 1,59              | 40,75            |                     |                     |                                   | 316,59        | 149,19        | 3,74                  | 0,03               | 0,68 |
| 3,00         | 29,2        | 1,27              | 42,00            | 1,06                | 9,53                | 75,26                             | 304,80        | 142,73        | 3,55                  | 0,03               | 0,65 |
| 3,50         | 29,5        | 1,38              | 40,50            |                     |                     |                                   | 294,97        | 137,53        | 3,39                  | 0,03               | 0,62 |
| 4,00         | 29,2        | 1,35              | 42,00            | 0,98                | 9,45                | 68,38                             | 284,20        | 131,67        | 3,22                  | 0,03               | 0,59 |
| 4,70         | 28,8        | 1,26              | 41,50            |                     |                     |                                   | 271,17        | 124,95        | 3,01                  | 0,03               | 0,55 |
| 5,08         | 29,4        | 1,42              | 41,00            | 0,94                | 9,34                | 64,20                             | 264,99        | 121,81        | 2,92                  | 0,03               | 0,53 |
| 6,00         | 28,8        | 1,46              | 40,50            |                     |                     |                                   | 249,05        | 113,49        | 2,67                  | 0,03               | 0,49 |
| 7,93         | 28,7        | 1,46              | 40,50            | 0,78                | 9,09                | 50,35                             | 221,91        | 99,82         | 2,25                  | 0,03               | 0,41 |
| 9,00         | 28,1        | 1,47              | 40,50            |                     |                     |                                   | 209,77        | 93,50         | 2,06                  | 0,03               | 0,37 |
| 9,95         | 30,4        | 1,36              | 39,50            | 0,71                | 9,03                | 45,58                             | 200,76        | 88,81         | 1,91                  | 0,03               | 0,35 |
| 11,00        | 30,2        | 1,25              | 40,50            |                     |                     |                                   | 191,33        | 84,05         | 1,77                  | 0,03               | 0,32 |
| 12,10        | 30,0        | 1,53              | 40,00            | 0,64                | 8,86                | 39,71                             | 178,16        | 79,62         | 1,60                  | 0,03               | 0,29 |
| 13,00        | 30,4        | 1,52              | 40,50            |                     |                     |                                   | 173,90        | 76,18         | 1,51                  | 0,03               | 0,27 |
| 14,50        | 30,4        | 1,53              | 40,00            | 0,62                | 8,68                | 36,57                             | 165,98        | 70,82         | 1,37                  | 0,03               | 0,25 |
| 16,20        | 32,5        | 1,44              | 40,50            |                     |                     |                                   | 155,83        | 66,13         | 1,22                  | 0,03               | 0,22 |
| 17,88        | 32,6        | 1,60              | 40,50            | 0,56                | 8,38                | 30,99                             | 147,12        | 62,41         | 1,09                  | 0,03               | 0,20 |
| 19,75        | 34,4        | 1,46              | 41,00            |                     |                     |                                   | 138,79        | 58,83         | 0,97                  | 0,04               | 0,17 |
| 21,00        | 34,5        | 1,53              | 40,75            | 0,51                | 8,30                | 27,73                             | 131,57        | 56,66         | 0,89                  | 0,04               | 0,16 |
| 22,47        | 36,5        | 1,64              | 40,75            | 0,51                | 8,23                | 27,23                             | 128,25        | 54,35         | 0,82                  | 0,04               | 0,15 |
| 24,00        | 36,0        | 1,41              | 39,00            | 0,50                | 8,18                | 26,24                             | 123,22        | 52,30         | 0,75                  | 0,04               | 0,13 |
| <b>31,3</b>  | <b>31,3</b> | <b>1,50</b>       | <b>40,8</b>      |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |



**Tabela A.9:** Dados de secagem do ensaio A9, T = 60° e espessura inicial de 0,7 cm. Umidade inicial do abacaxi = 84,3% b.u., Brix = 14,0°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | v <sub>ar</sub><br>(m/s) | T <sub>ar</sub><br>(°C) | L médio<br>(cm) | D médio<br>(cm) | V médio<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | x <sub>médio</sub><br>(b.s.) | x <sub>eq</sub><br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------------------|------|
| 0,00         | 24,0        | 1,43                     | 61,50                   | 0,71            | 10,25           | 58,90                         | 297,40        | 119,87        | 5,36                         | 0,02                      | 1,00 |
| 0,25         | 24,5        | 1,36                     | 58,00                   |                 |                 |                               | 271,19        | 103,68        | 4,65                         | 0,02                      | 0,87 |
| 0,50         | 24,2        | 1,27                     | 59,50                   | 0,62            | 10,08           | 49,63                         | 253,29        | 93,32         | 4,19                         | 0,02                      | 0,78 |
| 0,80         | 24,0        | 1,35                     | 62,50                   |                 |                 |                               | 235,55        | 80,75         | 3,66                         | 0,02                      | 0,68 |
| 1,12         | 24,3        | 1,45                     | 59,50                   | 0,55            | 10,01           | 43,30                         | 214,99        | 71,27         | 3,19                         | 0,02                      | 0,59 |
| 1,50         | 24,2        | 1,45                     | 60,50                   |                 |                 |                               | 195,61        | 61,41         | 2,72                         | 0,02                      | 0,51 |
| 2,07         | 24,1        | 1,43                     | 59,50                   | 0,45            | 9,68            | 33,08                         | 173,53        | 50,70         | 2,20                         | 0,02                      | 0,41 |
| 2,62         | 24,1        | 1,44                     | 63,50                   |                 |                 |                               | 154,72        | 42,03         | 1,77                         | 0,02                      | 0,33 |
| 3,07         | 24,7        | 1,42                     | 57,00                   | 0,35            | 9,28            | 23,65                         | 142,23        | 36,59         | 1,49                         | 0,02                      | 0,28 |
| 3,58         | 24,5        | 1,36                     | 58,50                   |                 |                 |                               | 129,59        | 32,11         | 1,24                         | 0,02                      | 0,23 |
| 4,33         | 24,6        | 1,41                     | 58,50                   | 0,24            | 8,94            | 15,29                         | 117,92        | 26,87         | 0,97                         | 0,02                      | 0,18 |
| 5,07         | 24,4        | 1,39                     | 57,50                   |                 |                 |                               | 101,96        | 23,87         | 0,72                         | 0,02                      | 0,13 |
| 6,07         | 24,5        | 1,65                     | 58,00                   | 0,21            | 8,24            | 11,13                         | 86,98         | 21,29         | 0,50                         | 0,02                      | 0,09 |
| 7,07         | 23,9        | 1,30                     | 58,00                   |                 |                 |                               | 77,31         | 20,51         | 0,37                         | 0,02                      | 0,07 |
| 9,07         | 24,2        | 1,50                     | 57,50                   | 0,26            | 7,83            | 12,26                         | 62,70         | 19,19         | 0,18                         | 0,02                      | 0,03 |
| 10,00        | 24,0        | 1,56                     | 57,50                   |                 |                 |                               | 59,21         | 18,93         | 0,14                         | 0,02                      | 0,02 |
| 10,97        | 24,1        | 1,51                     | 58,00                   | 0,22            | 7,78            | 10,33                         | 56,45         | 18,74         | 0,10                         | 0,02                      | 0,01 |
| 12,55        | 24,7        | 1,54                     | 58,00                   |                 |                 |                               | 53,46         | 18,50         | 0,06                         | 0,02                      | 0,01 |
| 14,70        | 24,2        | 1,52                     | 58,50                   | 0,24            | 7,66            | 11,24                         | 50,87         | 18,29         | 0,03                         | 0,02                      | 0,00 |
| 17,07        | 24,5        | 1,51                     | 60,00                   | 0,22            | 7,66            | 10,20                         | 49,32         | 18,11         | 0,01                         | 0,02                      | 0,00 |
| 19,28        | 24,7        | 1,39                     | 62,50                   |                 |                 |                               | 48,42         | 18,07         | 0,00                         | 0,02                      | 0,00 |
| 21,15        | 24,4        | 1,51                     | 59,50                   | 0,21            | 7,60            | 9,58                          | 47,95         | 17,99         | 0,00                         | 0,02                      | 0,00 |
| 22,07        | 24,2        | 1,46                     | 62,00                   |                 |                 |                               | 47,47         | 17,96         | 0,00                         | 0,02                      | 0,00 |
| 23,28        | 24,3        | 1,39                     | 61,50                   | 0,21            | 7,61            | 9,73                          | 47,62         | 17,94         | 0,00                         | 0,02                      | 0,00 |
| 24,00        | 24,6        | 1,61                     | 61,00                   | 0,22            | 7,56            | 9,71                          | 47,43         | 17,93         | 0,00                         | 0,02                      | 0,00 |
|              | <b>24,3</b> | <b>1,4</b>               | <b>59,5</b>             |                 |                 |                               |               |               |                              |                           |      |





**Tabela A.10:** Dados de secagem do ensaio A10, T = 50° e espessura inicial de 1,0 cm. Umidade inicial do abacaxi = 83,6% b.u., Brix = 13,0°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | V <sub>ar</sub><br>(m/s) | T <sub>ar</sub><br>(°C) | L médio<br>(cm) | D médio<br>(cm) | V médio<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | X <sub>médio</sub><br>(b.s.) | X <sub>eq</sub><br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|---------------|---------------|------------------------------|---------------------------|------|
| 0,00         | 26,0        | 1,32                     | 48,50                   | 1,06            | 9,74            | 78,75                         | 362,00        | 150,72        | 5,11                         | 0,02                      | 1,00 |
| 0,25         | 27,4        | 1,30                     | 52,50                   | 1,01            | 9,66            | 73,79                         | 345,78        | 143,01        | 4,82                         | 0,03                      | 0,94 |
| 0,50         | 27,1        | 1,29                     | 49,00                   |                 |                 |                               | 332,71        | 137,35        | 4,60                         | 0,03                      | 0,90 |
| 0,75         | 26,6        | 1,49                     | 48,00                   | 0,93            | 9,45            | 64,98                         | 317,67        | 129,54        | 4,31                         | 0,02                      | 0,84 |
| 1,00         | 26,4        | 1,48                     | 48,00                   |                 |                 |                               | 305,98        | 123,29        | 4,08                         | 0,02                      | 0,80 |
| 1,25         | 26,3        | 1,48                     | 48,50                   | 0,77            | 9,49            | 54,75                         | 293,76        | 117,60        | 3,87                         | 0,02                      | 0,75 |
| 1,50         | 25,8        | 1,42                     | 50,00                   |                 |                 |                               | 282,65        | 111,47        | 3,65                         | 0,02                      | 0,71 |
| 1,75         | 25,6        | 1,35                     | 50,00                   | 0,88            | 9,38            | 60,83                         | 272,93        | 109,60        | 3,53                         | 0,02                      | 0,69 |
| 2,12         | 25,4        | 1,40                     | 51,00                   |                 |                 |                               | 259,30        | 99,74         | 3,21                         | 0,02                      | 0,63 |
| 3,03         | 25,2        | 1,43                     | 50,50                   | 0,80            | 9,21            | 53,24                         | 229,06        | 84,90         | 2,66                         | 0,02                      | 0,52 |
| 3,50         | 24,7        | 1,50                     | 51,50                   |                 |                 |                               | 216,77        | 78,89         | 2,43                         | 0,02                      | 0,47 |
| 4,10         | 24,5        | 1,55                     | 50,50                   | 0,63            | 8,95            | 39,65                         | 200,98        | 71,21         | 2,14                         | 0,02                      | 0,42 |
| 4,53         | 24,8        | 1,48                     | 51,00                   |                 |                 |                               | 191,15        | 66,52         | 1,96                         | 0,02                      | 0,38 |
| 5,33         | 24,5        | 1,35                     | 50,00                   | 0,57            | 8,73            | 33,78                         | 174,64        | 58,76         | 1,67                         | 0,02                      | 0,32 |
| 5,93         | 25,1        | 1,52                     | 50,00                   |                 |                 |                               | 164,21        | 53,95         | 1,48                         | 0,02                      | 0,29 |
| 6,43         | 25,2        | 1,53                     | 50,00                   | 0,56            | 8,35            | 30,80                         | 150,62        | 48,10         | 1,25                         | 0,02                      | 0,24 |
| 7,00         | 26,4        | 1,56                     | 49,50                   | 0,48            | 8,28            | 25,55                         | 142,32        | 44,21         | 1,10                         | 0,02                      | 0,21 |
| 8,00         | 26,5        | 1,56                     | 48,50                   | 0,46            | 8,05            | 23,54                         | 130,04        | 38,70         | 0,88                         | 0,02                      | 0,17 |
| 9,27         | 26,4        | 1,62                     | 49,50                   | 0,34            | 7,91            | 16,84                         | 117,52        | 33,46         | 0,67                         | 0,02                      | 0,13 |
| 11,27        | 26,9        | 1,38                     | 49,00                   | 0,36            | 7,66            | 16,37                         | 101,53        | 28,22         | 0,43                         | 0,02                      | 0,08 |
| 12,10        | 25,1        | 1,63                     | 50,00                   |                 |                 |                               | 95,88         | 26,79         | 0,35                         | 0,02                      | 0,06 |
| 13,25        | 24,8        | 1,51                     | 46,50                   | 0,35            | 7,51            | 15,40                         | 89,07         | 25,51         | 0,27                         | 0,02                      | 0,05 |
| 14,35        | 23,7        | 1,53                     | 50,50                   |                 |                 |                               | 83,27         | 24,81         | 0,21                         | 0,02                      | 0,04 |
| 15,37        | 23,5        | 1,58                     | 51,50                   | 0,29            | 7,35            | 12,30                         | 79,02         | 24,39         | 0,16                         | 0,02                      | 0,03 |
| 16,72        | 23,4        | 1,48                     | 52,00                   | 0,31            | 7,31            | 13,12                         | 74,08         | 24,05         | 0,11                         | 0,02                      | 0,02 |
| 17,23        | 23,8        | 1,47                     | 48,00                   |                 |                 |                               | 73,17         | 23,96         | 0,10                         | 0,02                      | 0,02 |
| 18,92        | 23,2        | 1,58                     | 52,50                   | 0,34            | 7,18            | 13,75                         | 69,74         | 23,83         | 0,07                         | 0,02                      | 0,01 |
| 20,37        | 23,6        | 1,71                     | 52,00                   | 0,36            | 7,10            | 14,21                         | 67,69         | 23,64         | 0,05                         | 0,02                      | 0,01 |
| 21,00        | 23,6        | 1,64                     | 48,00                   |                 |                 |                               | 66,98         | 23,63         | 0,04                         | 0,02                      | 0,00 |
| 22,00        | 23,8        | 1,66                     | 49,00                   | 0,33            | 7,03            | 12,61                         | 65,72         | 23,55         | 0,03                         | 0,02                      | 0,00 |
| 23,00        | 24,4        | 1,60                     | 49,50                   |                 |                 |                               | 64,22         | 23,46         | 0,02                         | 0,02                      | 0,00 |
| 24,00        | 24,5        | 1,61                     | 52,00                   | 0,35            | 7,07            | 13,83                         | 63,03         | 23,43         | 0,01                         | 0,02                      | 0,00 |
|              | <b>25,1</b> | <b>1,5</b>               | <b>49,9</b>             |                 |                 |                               |               |               |                              |                           |      |





**Tabela A.11:** Dados de secagem do ensaio A11,  $T = 50^{\circ}$  e espessura inicial de 1,0 cm. Umidade inicial do abacaxi = 84,1% b.u., Brix = 13,0°B

| Tempo<br>(h) | UR<br>(%)   | $v_{ar}$<br>(m/s) | $T_{ar}$<br>(°C) | $L_{médio}$<br>(cm) | $D_{médio}$<br>(cm) | $V_{médio}$<br>(cm <sup>3</sup> ) | Band 1<br>(g) | Band 2<br>(g) | $x_{médio}$<br>(b.s.) | $x_{eq}$<br>(b.s.) | M    |
|--------------|-------------|-------------------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------|------|
| 0,00         | 27,5        | 1,56              | 50,00            | 0,97                | 9,65                | 70,85                             | 368,23        | 138,52        | 4,91                  | 0,03               | 1,00 |
| 0,25         | 24,4        | 1,17              | 53,50            | 0,90                | 9,52                | 64,12                             | 343,56        | 127,97        | 4,49                  | 0,02               | 0,91 |
| 0,50         | 25,1        | 1,45              | 50,25            | 0,89                | 9,56                | 64,01                             | 332,94        | 119,75        | 4,23                  | 0,02               | 0,86 |
| 0,75         | 25,7        | 1,25              | 49,75            |                     |                     |                                   | 318,20        | 112,36        | 3,95                  | 0,02               | 0,80 |
| 1,00         | 24,9        | 1,31              | 49,75            | 0,80                | 9,39                | 55,05                             | 304,44        | 106,39        | 3,71                  | 0,02               | 0,76 |
| 1,50         | 24,6        | 1,31              | 50,50            |                     |                     |                                   | 281,58        | 96,93         | 3,33                  | 0,02               | 0,68 |
| 2,00         | 24,4        | 1,45              | 50,50            | 0,67                | 9,21                | 44,36                             | 259,83        | 88,80         | 2,98                  | 0,02               | 0,61 |
| 2,67         | 24,3        | 1,51              | 50,50            | 0,59                | 9,15                | 38,84                             | 239,64        | 80,16         | 2,63                  | 0,02               | 0,53 |
| 3,02         | 23,9        | 1,47              | 51,00            |                     |                     |                                   | 228,35        | 75,54         | 2,44                  | 0,02               | 0,50 |
| 3,57         | 24,2        | 1,69              | 50,50            | 0,56                | 8,88                | 34,93                             | 212,85        | 69,09         | 2,18                  | 0,02               | 0,44 |
| 4,05         | 24,8        | 1,51              | 50,00            |                     |                     |                                   | 202,21        | 64,75         | 2,00                  | 0,02               | 0,41 |
| 4,63         | 25,0        | 1,44              | 49,00            | 0,51                | 8,58                | 29,63                             | 190,58        | 59,70         | 1,80                  | 0,02               | 0,36 |
| 5,55         | 24,5        | 1,53              | 50,00            |                     |                     |                                   | 173,86        | 52,92         | 1,52                  | 0,02               | 0,31 |
| 6,00         | 25,2        | 1,70              | 51,00            | 0,41                | 8,11                | 21,13                             | 166,33        | 49,90         | 1,40                  | 0,02               | 0,28 |
| 7,00         | 26,6        | 1,49              | 50,50            |                     |                     |                                   | 150,80        | 44,38         | 1,16                  | 0,02               | 0,23 |
| 8,00         | 25,5        | 1,51              | 49,75            | 0,40                | 7,80                | 18,92                             | 138,40        | 39,83         | 0,96                  | 0,02               | 0,19 |
| 9,08         | 26,0        | 1,60              | 49,25            |                     |                     |                                   | 126,34        | 35,86         | 0,78                  | 0,02               | 0,15 |
| 10,08        | 27,3        | 1,47              | 48,50            | 0,36                | 7,47                | 15,95                             | 116,90        | 33,07         | 0,64                  | 0,03               | 0,13 |
| 11,02        | 27,1        | 1,60              | 47,50            |                     |                     |                                   | 109,07        | 30,91         | 0,53                  | 0,03               | 0,10 |
| 12,07        | 25,3        | 1,54              | 51,00            | 0,33                | 7,43                | 14,29                             | 99,90         | 28,83         | 0,42                  | 0,02               | 0,08 |
| 12,83        | 25,2        | 1,67              | 50,50            |                     |                     |                                   | 96,11         | 27,80         | 0,36                  | 0,02               | 0,07 |
| 14,10        | 26,3        | 1,62              | 49,50            | 0,34                | 7,12                | 13,53                             | 88,92         | 26,46         | 0,28                  | 0,02               | 0,05 |
| 16,10        | 26,7        | 1,62              | 48,00            | 0,31                | 7,14                | 12,57                             | 81,16         | 25,47         | 0,19                  | 0,02               | 0,03 |
| 17,12        | 26,2        | 1,61              | 49,50            | 0,28                | 7,16                | 11,18                             | 77,76         | 24,87         | 0,15                  | 0,02               | 0,03 |
| 19,47        | 25,7        | 1,59              | 49,50            | 0,27                | 7,07                | 10,59                             | 72,02         | 24,27         | 0,10                  | 0,02               | 0,01 |
| 20,00        | 25,7        | 1,56              | 51,00            |                     |                     |                                   | 70,87         | 24,15         | 0,08                  | 0,02               | 0,01 |
| 22,75        | 26,1        | 1,61              | 53,00            | 0,31                | 7,00                | 11,98                             | 66,86         | 23,83         | 0,04                  | 0,02               | 0,00 |
| 24,00        | 26,7        | 1,62              | 49,00            | 0,33                | 6,93                | 12,40                             | 65,73         | 23,77         | 0,03                  | 0,02               | 0,00 |
|              | <b>25,5</b> | <b>1,5</b>        | <b>50,1</b>      |                     |                     |                                   |               |               |                       |                    |      |



**APÊNDICE B**

As Tabelas de B.1 a B.4 apresentam a média dos atributos de textura encontrados pelo teste TPA (Texture Profile Analysis) para as amostras de abacaxi seco.

**Tabela B.1:** Valores dos atributos de textura (TPA) das fatias de abacaxi após processos de secagem na atividade de água de 0,432 (obtida da solução supersaturada de Carbonato de Potássio,  $K_2CO_3$ ).

| Ensaio | T    | L    | Dureza   | Fraturab. | Adesiv. | Elastic. | Ader. | Pastos.  | Mastigab. | Resil. |
|--------|------|------|----------|-----------|---------|----------|-------|----------|-----------|--------|
|        | (°C) | (cm) |          |           |         |          |       |          |           |        |
| A6     | 40   | 0,7  | 1144,783 | 7,728     | 0,593   | 0,966    | 0,681 | 781,644  | 766,076   | 0,226  |
| A2     | 40   | 1,0  | 1066,989 | 8,261     | (0,844) | 0,929    | 0,778 | 830,184  | 770,885   | 0,230  |
| A8     | 40   | 1,3  | 1223,58  | 7,772     | (5,684) | 0,980    | 0,701 | 863,996  | 845,652   | 0,164  |
| A1     | 50   | 0,7  | 262,932  | 8,147     | 1,387   | 1,08     | 0,764 | 192,819  | 189,888   | 0,258  |
| A4     | 50   | 1,0  | 1989,311 | 7,843     | 2,173   | 0,924    | 0,685 | 1345,026 | 1286,088  | 0,208  |
| A10    | 50   | 1,0  | 2550,476 | 8,762     | (4,007) | 0,939    | 0,686 | 1748,604 | 1642,719  | 0,215  |
| A11    | 50   | 1,0  | 2441,724 | 7,894     | 0,593   | 0,802    | 0,543 | 1304,735 | 1045,512  | 0,164  |
| A7     | 50   | 1,3  | 934,450  | 8,874     | 0,317   | 0,829    | 0,740 | 679,948  | 555,233   | 0,214  |
| A9     | 60   | 0,7  | 876,821  | 8,494     | 1,717   | 0,937    | 0,659 | 579,849  | 546,847   | 0,187  |
| A5     | 60   | 1,0  | 760,484  | 7,180     | (0,556) | 0,947    | 0,718 | 545,025  | 516,998   | 0,206  |
| A3     | 60   | 1,3  | 885,23   | 7,814     | 2,739   | 0,904    | 0,718 | 632,044  | 573,814   | 0,215  |

Obs: Os dados entre parêntesis são negativos.





**Tabela B.2:** Valores dos atributos de textura (TPA) das fatias de abacaxi após processos de secagem na atividade de água de 0,576 (obtida da solução supersaturada de Brometo de Sódio, NaBr).

| Ensaio | T<br>(°C) | L<br>(cm) | Dureza   | Fraturab. | Adesiv.  | Elastic. | Ader.  | Pastos.  | Mastigab. | Resil. |
|--------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|--------|----------|-----------|--------|
| A6     | 40        | 0,7       | 743,115  | 8,344     | (3,430)  | 0,874    | 0,647  | 469,856  | 415,978   | 0,210  |
| A2     | 40        | 1,0       | 575,514  | 8,131     | 3,658    | 1,132    | 0,622  | 354,718  | 415,735   | 0,136  |
| A8     | 40        | 1,3       | 1341,827 | 9,080     | (51,795) | 0,957    | 0,622  | 831,317  | 816,520   | 0,142  |
| A1     | 50        | 0,7       | 439,235  | 7,8405    | 0,866    | 0,9625   | 0,6795 | 295,8495 | 284,533   | 0,209  |
| A4     | 50        | 1,0       | 2284,914 | 9,233     | 0,6245   | 0,8685   | 0,5845 | 1324,436 | 1149,665  | 0,1985 |
| A10    | 50        | 1,0       | 1506,547 | 9,722     | (8,927)  | 0,837    | 0,553  | 831,385  | 697,769   | 0,154  |
| A11    | 50        | 1,0       | 1462,260 | 14,081    | (5,090)  | 0,705    | 0,488  | 713,092  | 502,967   | 0,139  |
| A7     | 50        | 1,3       | 939,003  | 8,529     | (11,948) | 0,845    | 0,635  | 596,971  | 506,609   | 0,146  |
| A9     | 60        | 0,7       | 1543,966 | 8,088     | (0,711)  | 0,917    | 0,549  | 851,811  | 757,312   | 0,198  |
| A5     | 60        | 1,0       | 652,492  | 8,280     | (1,901)  | 0,880    | 0,634  | 406,285  | 357,373   | 0,177  |
| A3     | 60        | 1,3       | 1555,237 | 8,013     | (23,648) | 0,857    | 0,623  | 954,889  | 788,546   | 0,166  |

**Tabela B.3:** Valores dos atributos de textura (TPA) das fatias de abacaxi após processos de secagem na atividade de água de 0,625 (obtida da solução supersaturada de Nitrito de Sódio, NaNO<sub>2</sub>).

| Ensaio | T<br>(°C) | L<br>(cm) | Dureza  | Fraturab. | Adesiv.  | Elastic. | Ader. | Pastos. | Mastigab. | Resil. |
|--------|-----------|-----------|---------|-----------|----------|----------|-------|---------|-----------|--------|
| A6     | 40        | 0,7       | 656,560 | 8,745     | 2,001    | 0,908    | 0,588 | 384,921 | 351,293   | 0,156  |
| A2     | 40        | 1,0       | 499,813 | 6,862     | (0,816)  | 0,821    | 0,613 | 300,978 | 246,110   | 0,171  |
| A8     | 40        | 1,3       | 552,186 | 8,447     | (17,853) | 0,898    | 0,639 | 352,823 | 314,222   | 0,119  |
| A1     | 50        | 0,7       | 331,411 | 8,293     | 0,902    | 0,843    | 0,656 | 214,095 | 176,867   | 0,209  |
| A4     | 50        | 1,0       | 857,258 | 9,496     | 2,269    | 0,928    | 0,638 | 545,814 | 508,061   | 0,190  |
| A10    | 50        | 1,0       | 808,302 | 8,824     | (6,016)  | 0,826    | 0,574 | 462,063 | 383,937   | 0,138  |
| A11    | 50        | 1,0       | 865,522 | 9,083     | (17,992) | 0,743    | 0,558 | 455,554 | 297,122   | 0,133  |
| A7     | 50        | 1,3       | 554,240 | 9,110     | (0,729)  | 0,823    | 0,647 | 358,403 | 292,511   | 0,154  |
| A9     | 60        | 0,7       | 769,104 | 9,358     | (0,679)  | 0,855    | 0,515 | 388,860 | 333,298   | 0,157  |
| A5     | 60        | 1,0       | 927,957 | 7,969     | (2,898)  | 0,783    | 0,551 | 504,917 | 392,094   | 0,156  |
| A3     | 60        | 1,3       | 791,269 | 6,743     | (1,364)  | 0,833    | 0,63  | 498,335 | 414,923   | 0,161  |





**Tabela B.4:** Valores dos atributos de textura (TPA) das fatias de abacaxi após processos de secagem na atividade de água de 0,751 (obtida da solução supersaturada de Cloreto de Sódio, NaCl).

| Ensaio | T<br>(°C) | L<br>(cm) | Dureza   | Fraturab. | Adesiv.   | Elastic. | Ader. | Pastos. | Mastigab. | Resil. |
|--------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-------|---------|-----------|--------|
| A6     | 40        | 0,7       | 484,91   | 7,649     | (15,392)  | 0,805    | 0,678 | 332,319 | 268,562   | 0,158  |
| A2     | 40        | 1,0       | 509,767  | 7,852     | (35,030)  | 0,892    | 0,699 | 356,000 | 317,713   | 0,134  |
| A8     | 40        | 1,3       | 1051,082 | 8,160     | (135,620) | 0,730    | 0,671 | 697,406 | 524,195   | 0,148  |
| A1     | 50        | 0,7       | 459,001  | 9,525     | (12,015)  | 0,979    | 0,733 | 335,963 | 329,002   | 0,196  |
| A4     | 50        | 1,0       | 955,303  | 7,984     | (91,350)  | 0,885    | 0,679 | 641,130 | 564,204   | 0,148  |
| A10    | 50        | 1,0       | 901,806  | 8,891     | (47,440)  | 0,937    | 0,651 | 578,188 | 517,498   | 0,142  |
| A11    | 50        | 1,0       | 910,919  | 9,290     | (75,934)  | 0,870    | 0,676 | 612,658 | 525,686   | 0,145  |
| A7     | 50        | 1,3       | 873,022  | 8,231     | (33,808)  | 0,787    | 0,659 | 574,835 | 450,3525  | 0,148  |
| A9     | 60        | 0,7       | 519,129  | 8,851     | (22,407)  | 1,128    | 0,661 | 332,164 | 345,084   | 0,166  |
| A5     | 60        | 1,0       | 616,432  | 8,045     | (67,020)  | 0,982    | 0,765 | 472,756 | 464,736   | 0,146  |
| A3     | 60        | 1,3       | 995,474  | 9,567     | (119,383) | 0,839    | 0,724 | 720,519 | 604,306   | 0,156  |



