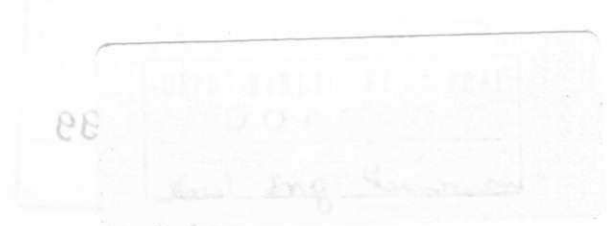


UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

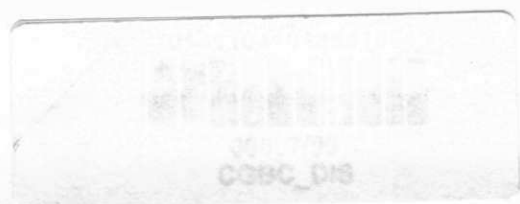


**EFEITO DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS NA TAXA DE
SECAGEM DE ACEROLA EM MONOCAMADA**

VERUSCKA ARAÚJO SILVA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

1998



**EFEITO DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS NA TAXA DE
SECAGEM DE ACEROLA EM MONOCAMADA**

VERUSCKA ARAÚJO SILVA

*Dissertação apresentada ao curso de Pós-
Graduação em Engenharia Química da
Universidade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para obtenção
do título de Mestre em Engenharia Química*

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: OPERAÇÕES E PROCESSOS

ORIENTADORA: Prof^a D. Sc. ODELSIA LEONOR SÁNCHEZ DE ALSINA

CAMPINA GRANDE

1998



S586e Silva, Veruscka Araújo.
Efeito de pré-tratamentos químicos na taxa de secagem de acerola em monocamada / Veruscka Araújo Silva. - Campina Grande, 1998.
92 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1998.
"Orientação: Profa. Dra. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina".
Referências.

1. Processos Químicos. 2. Tratamentos Químicos. 3. Secagem de Acerola - Monocamada - Taxa. 4. Dissertação - Engenharia Química. I. Alsina, Odelsia Leonor Sánchez de. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

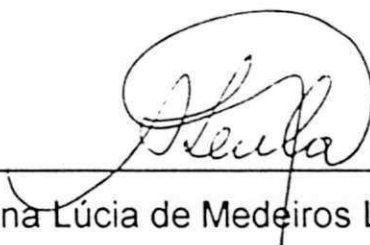
CDU 66.0(043)

EFEITO DE PRÉ-TRATAMENTOS QUÍMICOS NA TAXA DE
SECAGEM DE ACEROLA EM MONOCAMADA


DISSERTAÇÃO APROVADA EM 15 / 12 / 1998



Profª Drª. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina
Orientadora



Profª Drª. Ana Lúcia de Medeiros Lula da Mata
Examinadora



Prof. Dr. Luis Gonzaga Sales Vasconcelos
Examinador

Campina Grande, Dezembro de 1998

DEDICATÓRIA

A meus pais, irmãos, pelo amor e
apoio a realização deste trabalho

AGRADECIMENTOS

- A Prof^a. Dr^a. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina, pela orientação, apoio e ajuda durante todo o desenvolvimento deste trabalho.
- A Coordenação de Pós-Graduação de Engenharia Química, pelos serviços prestados ao curso e, por conseguinte, aos alunos do mestrado.
- Ao CNPq pelo incentivo à pesquisa científica.
- As secretárias do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química Maria José e Maricé por todos os serviços prestados durante esta jornada.
- A Clayton, pela ajuda indispensável na realização da parte experimental deste trabalho.
- As amigas Gianna, Normanda, Micheline, Tânia e Josylene pelo companheirismo durante toda a jornada do mestrado.
- A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.
- A Deus por esta realização.

RESUMO

A Acerola (*Malpighia emarginata*, DC) é uma fruta largamente cultivada na região nordestina do Brasil, possui um teor de umidade em base úmida em torno de 90%, e é facilmente perecível, necessitando de um processo que possibilite sua armazenagem por maior período de tempo em condições ideais, de modo que não se deteriore sob a ação de fungos e outros microorganismos que agem nos materiais armazenados com teores de umidade elevados. A secagem de frutas com película como acerola "in natura" leva muito tempo para desidratar, pois a parte mais externa da película é constituída por uma camada de cera, que representa para o fruto uma barreira para perda de água. Com a finalidade de diminuir o tempo de secagem tem-se usado pré-tratamentos químicos com soluções ou emulsões diluídas que agem modificando a estrutura física da película externa das frutas, facilitando a desidratação. Foram levantadas as curvas de secagem da acerola "in natura" submetida ao efeito de vários pré-tratamentos químicos em monocamada, à 70°C e 80°C e velocidade do ar de 1,5 e 1,84 m/s em leito fixo. Foi verificada a influência dos tratamentos químicos na redução do tempo de secagem. Os pré-tratamentos com Sacarose (67%) + NaCl (1%), com tempo de imersão de 4 horas e soluções de NaOH entre (1% e 3%), variando o tempo de imersão entre 1 e 10 minutos, com temperatura de pré-tratamentos de 25°C, não foram eficazes na redução do tempo de secagem. A redução do tempo de secagem foi notória com o aumento da temperatura de imersão, nos pré-tratamentos com 94,78% água + 4,74% K₂CO₃ + 0,48 % azeite de oliva, durante 3 minutos à 35°C; NaOH (0,3%), durante 5 segundos à 93°C e 94,78% água + 4,74% K₂CO₃ + 0,48 % azeite de oliva, durante 2 segundos à 90°C, obtendo redução do tempo de secagem de aproximadamente 81 minutos, nos pré-tratamentos a temperatura alta. Avaliou-se também o efeito do encolhimento sob vários pré-tratamentos, onde não observou-se diferenças significativas nem entre os diversos pré-tratamentos entre si nem com o observado sem pré-tratamento. A rápida evolução da temperatura interna da

acerola, coincide aproximadamente com o tempo de aumento da taxa de secagem até ponto de máximo.

ABSTRACT

The West Indian cherry (*Malpighia Emarginata DC*) also called "acerola" is a fruit widely cultivated in the Northeast region of Brazil. It has a moisture content in turn of 90% (wet basis). It is easily perishable, making necessary a process to diminish the water activity in order to avoid the damage by the action of fungi and other microorganisms allowing the storage for a longer time. The drying of fruits with skin, such us West Indian cherry, grapes, cherries, takes a long time due to the wax layer at the external part of the membrane, that works as a barrier, impeding the water loss. Chemical pre-treatments with dilute solutions or emulsions have been used in order to diminish the drying time, by modifying the physical structure of the external membrane of the fruits. In this work, thin layer drying curves of pre-treated West Indian cherries were obtained in a fixed bed dryer at 70°C and 80°C with air flow rate of 1.5m/s and 1.84m/s. Several pre-treatments were used varying the temperature and immersion time to verify their effect on the reduction of the drying time. It was observed that the pre-treatment with saccharose (67%) and NaCl (1%) using an immersion time of 4 hours, as well as NaOH solutions with concentrations varying between 1% to 3% and immersion time from 1 to 10 minutes weren't effective in reducing the drying time. All the above pre-treatments were done at 25°C. However, for the West Indian cherries pre-treated at higher temperatures, the drying time reduction was evident. This fact was observed in the pre-treatments with 94.78% water + 4.74% K₂CO₃ + 0.48% olive oil, during 3min at 35°C or 2s at 90°C, as well as NaOH (0.3%) during 5s at 90°C, obtaining a reduction of time even more than 80min at the higher immersion temperatures. The shrinkage of the fruits during the drying was measured in function of the moisture content. In spite of the different reduction in drying time with the several pre-treatments used in this work, no significant difference on the shrinkage behavior of the West Indian cherries was observed, neither with the untreated fruits. In terms of the drying kinetics, it was observed that the time to get the maximum drying rate, in about of 20min in all the drying

curves coincides approximately with the rapid evolution of the inner temperature of the fruit, getting after this period almost isothermal conditions.

SIMBOLOGIA

$\frac{d}{d_i}$, D/D_i	Relação entre o diâmetro e o diâmetro inicial, adimensional
$\frac{du}{dt}$	Derivada da umidade em função do tempo
m	Constante definida na equação 2.6
p	Constante definida na equação 2.8
q	Constante definida na equação 2.8
r	Constante definida na equação 2.11
s_b	Coefficiente de encolhimento volumétrico do material, adimensional
T	Temperatura da entrada do secador em ($^{\circ}\text{C}$), figura 4.18
T	Temperatura do banho ($^{\circ}\text{C}$)
TBS	Temperatura do bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$)
TBU	Temperatura do bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$)
T	Temperatura de banho ($^{\circ}\text{C}$)
u	Constante definida na equação 2.11
U	Umidade (base úmida ou base seca)
U'	Relação de umidade (b.s.)
U_R	Umidade relativa do secador
U_i, u_i	Umidade inicial (base seca)
X_o	Teor de umidade inicial do produto (b.s) (gr. de água/ gr. de sólido úmido ou seco)
X_e	Teor de umidade de equilíbrio do produto (b.s) (gr. de água/ gr. de sólido úmido ou seco)
\bar{X}	Teor de umidade médio do produto (b.s) (gr. de água/ gr. de sólido úmido ou seco), equação 2.5
ΔX	Varição do Conteúdo de umidade, equação 2.4
$V_{b(x)}$	Volume total da amostra (L^3)
$V_{b,o}$	Volume inicial (L^3)

ΔV_b	Varição de Volume (L^3)
w_i	Massa inicial da amostra (g)
$w_{a(t)}$	Massa para cada intervalo de tempo (g)
w_s	Massa final da amostra, após a secagem em estufa (g)

SÍMBOLOS GREGOS

α	Coefficiente de encolhimento linear, adimensional
ρ	Densidade (g/cm^3)
ϕ	Relação definida pela equação 2.12

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
------------	---

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 O Processo de Secagem	3
2.2 A acerola	5
2.3 Secagem de Acerola	8
2.4 Pré-tratamentos Termo-químicos	9
2.5 Encolhimento	18

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Materiais	23
3.1.1 - Acerola	23
3.1.2 Soluções para o pré-tratamento químico utilizado	23
3.2 - Equipamentos	24
3.2.1 Câmara de Secagem	24
3.2.2 Descrição dos Equipamentos	25
3.2.3 Equipamentos Básicos	25
3.2.4 Equipamentos Auxiliares	26
3.3 Determinação da Umidade inicial	27
3.3.1 Determinação da umidade inicial em base úmida e base seca	27
3.4 Metodologia	28
3.4.1 Pré-tratamento	28
3.4.2 Secagem	30
3.4.3 Determinação das propriedades de misturas de gás e vapor	31

3.5 Caracterização da Acerola	31
3.5.1 Determinação da Densidade	31
3.5.2 Determinação do Encolhimento	31
CAPÍTULO 4	
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Introdução	32
4.2 Influência de vários Pré-tratamentos Químicos sobre a Cinética de Secagem	32
4.3 Influência da Temperatura e Concentração do Pré-tratamento Químico	34
4.4 Influência do tempo de imersão da Acerola no Tratamento Químico	39
4.5 Influência do Pré-tratamento Químico com Concentração de Sacarose	42
4.6 Influência do Enxague após o Pré-tratamento Químico	44
4.7 Densidade da Acerola em Função da Umidade	44
4.8 Encolhimento da Acerola	45
4.9 Evolução da Temperatura interna da Acerola	48
CAPÍTULO 5	
CONCLUSÕES	50
CAPÍTULO 6	
PERSPECTIVAS	52
CAPÍTULO 7	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
APÊNDICE A - Tabelas de dados obtidos na câmara de secagem	60
APÊNDICE B - Gráficos da Temperatura interna da acerola para vários experimentos	76

APÊNDICE C - Fotografias da acerola obtidas na secagem convectiva	84
APÊNDICE D - Programa para Cálculo dos dados psicrométricos	87

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 - Composição de acerola em 100g de porção comestível	7
TABELA 2.2 - Conteúdo de ácido ascórbico em acerolas maduras	8
TABELA 2.3 - Modelos para previsão do coeficiente de encolhimento volumétrico	21
TABELA 3.1 - Condições dos pré-tratamentos químicos	29
TABELA 4.1 - Tempo necessário para reduzir a umidade inicial em 50%, 60%, 70% e 80% na temperatura do ar de secagem 70°C e velocidade de 1,5 m/s	33
TABELA 4.2 - Tempo necessário para reduzir a umidade inicial em 50%, 60%, 70% e 80%, no pré-tratamento com NaOH (2%)	34
TABELA 4.3 - Tempo necessário para reduzir a umidade inicial em 50%, 60%, 70% e 80%, no pré-tratamento com emulsão de 0,48% de azeite de oliva + 4,74% K ₂ CO ₃	35
TABELA A - Sem Tratamento	61
TABELA A1 - Pré-tratamento 1	62
TABELA A2 - Pré-tratamento 2	63
TABELA A3 - Pré-tratamento 3	64
TABELA A4 - Pré-tratamento 4	65
TABELA A5 - Pré-tratamento 5	66
TABELA A6 - Pré-tratamento 6	67
TABELA A7 - Pré-tratamento 7	68
TABELA A8 - Pré-tratamento 8	69
TABELA A9 - Pré-tratamento 9	70
TABELA A10 - Pré-tratamento 10	71
TABELA A11 - Pré-tratamento 11	72
TABELA A12 - Pré-tratamento 12	73
TABELA A13 - Pré-tratamento 13	74
TABELA A14 - Pré-tratamento 14	75

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Esquema do processo de secagem de material sólido	3
FIGURA 2.2 - Teor de Umidade contra o tempo	4
FIGURA 2.3 - Velocidade de secagem contra o tempo	4
FIGURA 3.1 - Diagrama Esquemático do Equipamento de Secagem	25
FIGURA 4.1 - Curvas de secagem de acerolas submetidas a diversos pré-tratamentos	36
FIGURA 4.2 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo	37
FIGURA 4.3 - Curvas de secagem de acerolas submetidas ao pré-tratamento com água destilada à 93°C e sem tratamento	38
FIGURA 4.4 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com água destilada à 93°C e sem tratamento	38
FIGURA 4.5 - Curvas de secagem de acerolas submetidas a diversos pré-tratamentos com NaOH (1%)	39
FIGURA 4.6 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com NaOH (1%)	40
FIGURA 4.7 - Curvas de secagem de acerolas submetidas a diversos pré-tratamentos com NaOH (2%)	40
FIGURA 4.8 - Derivadas das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com NaOH (2%)	41
FIGURA 4.9 - Curvas de secagem de acerolas submetidas ao pré-tratamento com NaOH (3%) e sem tratamento	41
FIGURA 4.10 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com NaOH (3%) e sem tratamento	42
FIGURA 4.11 - Curvas de secagem de acerolas submetidas aos pré-tratamentos com 67% de sacarose + 1% de NaCl	43
FIGURA 4.12 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com 67% de sacarose + 1% de NaCl	43
FIGURA 4.13 - Gráfico da variação da Densidade em Função da Umidade para os lotes 01, 02, 03 e 04	45

FIGURA 4.14 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos	46
FIGURA 4.15 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos	46
FIGURA 4.16 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos	47
FIGURA 4.17 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos	47
FIGURA 4.18 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento com NaOH (0.3%)	48
FIGURA 4.19 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem sem tratamento químico	77
FIGURA 4.20 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento Sacarose (67%) + NaCl (1%)	77
FIGURA 4.21 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento Sacarose (67%) + NaCl (1%)	78
FIGURA 4.22 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (1%), t= 1,0 min.	78
FIGURA 4.23 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (1%), t=5,0 min.	79
FIGURA 4.24 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (1%), t=10,0 min.	79
FIGURA 4.25 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (2%), t=1,0 min.	80
FIGURA 4.26 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (2%), t=5,0 min.	80
FIGURA 4.27 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (2%), t=10,0 min.	81
FIGURA 4.28 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (3%), t=5,0 min.	81

FIGURA 4.29 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento 94,78% água + 4,74% K ₂ CO ₃ + 0,48% azeitede oliva, tempo de imersão 3,0 min. e Temperatura de imersão 35°C	82
FIGURA 4.30 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento 94,78% água + 4,74% K ₂ CO ₃ + 0,48% azeite de oliva, tempo de imersão 2,0 min. e Temperatura de imersão 90°C	82
FIGURA 4.31 -Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com água destilada, tempo de imersão 2,0 min. e temperatura de imersão 93°C	83
FIGURA C1 - Foto 1, no tempo inicial	85
FIGURA C2 - Foto 2, no tempo de secagem de 55 min.	85
FIGURA C3 - Foto 3, no tempo de secagem de 260 min.	86
FIGURA C4 - Foto 4, no tempo de secagem de 350 min.	86
FIGURA C5 - Foto 5, no tempo final de secagem, após 24 horas	86

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

A desidratação ou secagem é provavelmente a técnica mais antiga de preservação de alimentos por redução de sua atividade de água (aw). A operação unitária de secagem é importante, pois, visa preparar o produto para a armazenagem. Entretanto, se mal conduzida, poderá baixar a qualidade comercial do produto antes mesmo da armazenagem ou, por outro lado, acelerar o processo de deteriorização durante a armazenagem (MARTINS & MATA, 1984). Os processos de desidratação hoje existentes já apresentam algumas limitações de utilização, deixando uma lacuna para o estudo de novas técnicas de secagem.

No Brasil a secagem natural, na qual os produtos ficam espalhados em uma camada fina, expostos ao calor do sol, é amplamente difundida e predominante em relação à secagem artificial, realizada por meio de secadores. Esta última é uma operação relativamente cara, pois demanda uma quantidade de energia para aquecimento e transporte do ar, porém apresenta vantagens, principalmente no que concerne ao planejamento da colheita e à qualidade final do produto segundo a variedade de materiais existentes.

O secador de Leito Fixo, tem encontrado uma larga utilização, apresentado resultados favoráveis em pesquisas desenvolvidas no laboratório de sistemas Particulados da UFPB, Campus II.

Através destes resultados, planejou-se a desidratação da acerola, cujo nome científico é *Malpighia Emarginata* DC. A acerola nos últimos anos, tem sido uma fruta largamente cultivada na região nordestina do Brasil, pois revela uma nova fonte natural de vitamina C (ácido ascórbico). A descoberta do ácido ascórbico foi realizada no Instituto de Bioquímica da Universidade de Porto Rico, encontrando, em 100 gramas do suco, 4000 miligramas de vitamina C (a laranja possui em média 50 miligramas e o limão 45 miligramas) (MARINHO NETO, 1986). Além de ser usada como vitamina C natural, tem outras utilidades como suco, licor, sorvete, doce e também como cosméticos.

Como todas as frutas, grande parte da colheita de acerola é desperdiçada porque é comercializada "in natura". A acerola é uma fruta altamente perecível havendo portanto a necessidade de um processo que possibilite sua armazenagem e comercialização por um maior período de tempo (MORAIS, 1996).

Um dos problemas básicos da desidratação de alimentos tem sido a taxa lenta de remoção de umidade durante a maior parte do tempo do processo de secagem. Tempos de secagem extensos e temperaturas elevadas são frequentemente requeridos nos secadores tipo túnel para desidratar materiais vegetais a um baixo teor de umidade, resultando em uma danificação significativa da qualidade do produto final.

A película da fruta e especialmente a fina camada de cera que a cobre, constitui uma barreira efetiva contra a dessecação e deterioração de sua textura dificultando por sua vez o ataque microbiano. Por outro lado, esta constituição da parte externa das frutas é um problema de grande importância para obtenção do produto desidratado.

Na prática a eliminação mecânica das películas das uvas e acerolas não é fácil, necessitando de outros tipos de estudos de tratamentos. Para desidratação de frutas "in natura" tem-se usado um tratamento químico que consiste na sua imersão em soluções químicas e emulsões antes da secagem, removendo desta forma a resistência da película. Estes pré-tratamentos tem por objetivo aumentar o coeficiente de difusão de umidade reduzindo o tempo de secagem, sem que ocorram perdas na qualidade do produto final.

Quanto ao mecanismo de ação destes pré-tratamentos, GRNCAREVIC et alii (1968), GRNCAREVIC (1963) E DUDMAN & GRNCAREVIC (1962) afirmaram que a película cerosa não é eliminada, o que levou CHAMBERS & POSSINGHAM (1963) a afirmarem que, só ocorre uma modificação na estrutura física da película de cera.

O presente trabalho, tem como objetivo estudar a secagem da acerola "in natura" submetida ao efeito de vários pré-tratamentos químicos em monocamada, num leito fixo em uma determinada faixa operacional; o efeito do encolhimento e a evolução da temperatura interna da acerola. Estas informações são importantes para uma futura modelagem do processo necessária para um projeto de secadores industriais.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Processo de secagem

A secagem é normalmente considerada um processo de remoção de umidade de um sólido por evaporação. Quando o calor necessário para evaporar a água é fornecido ao material, ocorrem dois processos fundamentais e simultâneos: (1) transferência de calor para evaporar o líquido; (2) Transferência de massa na forma de líquido ou de vapor dentro do sólido e na de vapor a partir da superfície. A investigação de como ocorrem estes processos pode basear-se no mecanismo interno do escoamento do líquido ou na influência das condições externas, conforme esquematizado na Figura 2.1

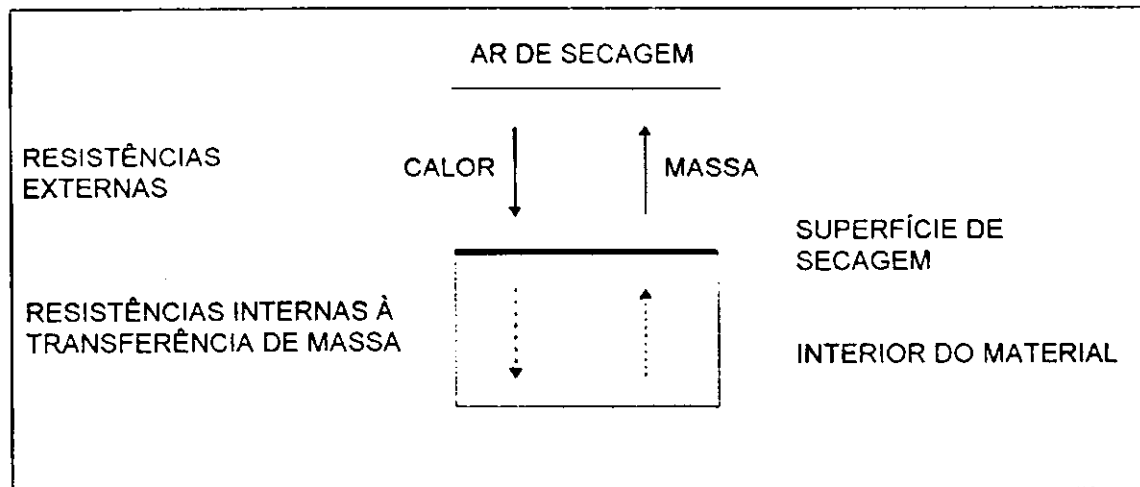


FIGURA 2.1 - Esquema do processo de secagem de material sólido

Alguns dos mecanismos internos possíveis são: (1) difusão em sólidos homogêneos contínuos; (2) escoamento capilar em sólidos granulares e porosos; (3) escoamento provocado por contração ou por gradientes de pressão; (4) escoamento provocado por gravidade; e (5) escoamento provocado por sequências de vaporização - condensação. As principais condições externas envolvidas são a temperatura, a umidade, o escoamento de ar, o estado de

subdivisão do sólido, a agitação do sólido, o método de suportar o sólido e o contato entre as superfícies calefadoras e o sólido úmido. Num dado problema não é obrigatória a presença de todas estas variáveis. (PERRY & CHILTON, 1980).

Na secagem experimental de um sólido, os dados obtidos relacionam usualmente o teor de umidade ao tempo. Estes dados são então plotados com o teor de umidade (em base seca) contra o tempo, conforme mostra a Figura 2.2. Esta curva representa o caso geral, quando o sólido inicialmente perde umidade por evaporação de uma superfície saturada cuja área diminui gradualmente e, finalmente, pela evaporação da água no seu interior. (PERRY & CHILTON, 1980).

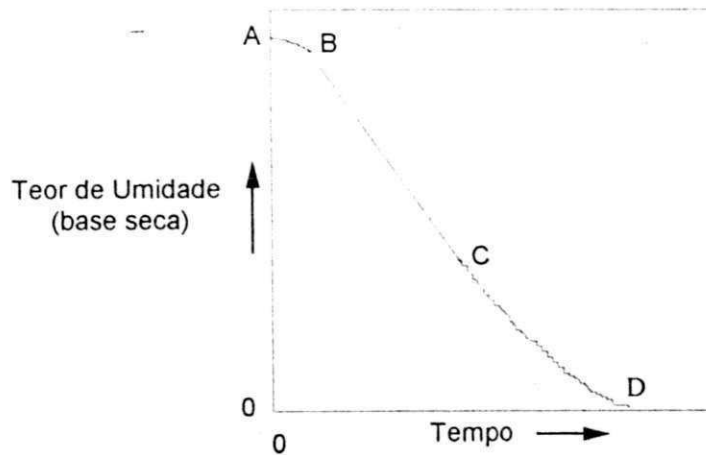


FIGURA 2.2 - Teor de Umidade contra o tempo

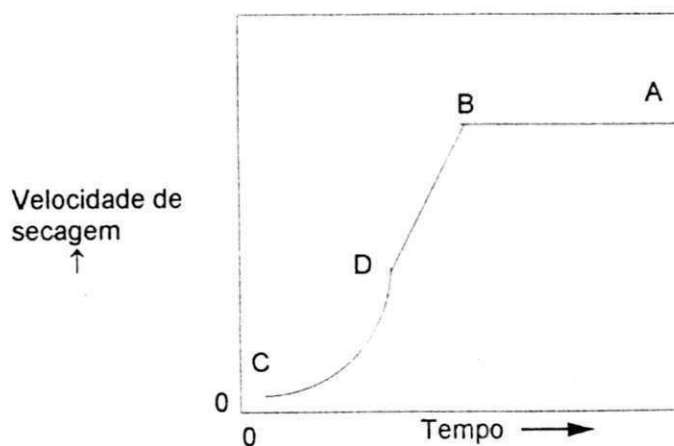


FIGURA 2.3 - Velocidade de secagem contra o tempo

AB - PERÍODO DE VELOCIDADE CONSTANTE

BC - PERÍODO DE VELOCIDADE DECRESCENTE

B - TEOR CRÍTICO DE UMIDADE

Apesar de a Figura 2.2 indicar que a velocidade de secagem modifica-se com o tempo e com o teor de umidade, esta variação pode ser melhor ilustrada pela derivada Figura 2.3. Esta curva de velocidade mostra que o processo de secagem não é um processo uniforme e contínuo, com um único mecanismo de controle ao longo do seu desenvolver, tem a vantagem de mostrar a duração de cada período da secagem: período a velocidade constante e período a velocidade decrescente. (PERRY & CHILTON, 1980).

Segundo COULSON & RICHARDSON (1974), no período a velocidade constante, a umidade vaporiza para a corrente de ar e o fator que controla é o coeficiente de transferência por convecção através do filme gasoso. Para explicar a remoção de umidade no período a velocidade decrescente, duas idéias polarizam a discussão: uma é a teoria da difusão e a outra é a teoria da capilaridade. Na primeira supõe-se que a velocidade do movimento da água para a interface com o ar é governada por equações semelhantes às de transferência de calor, enquanto que na teoria capilar se supõe que as forças que controlam o movimento tem origem na capilaridade e resultam da existência de poros diminutos entre as diversas partículas.

2.2 - A Acerola

A Acerola (*Malpighia emarginata* DC) – da família das malpighiáceas – é uma planta frutífera, originária das Antilhas, Norte da América do Sul e América Central. As variedades classificam-se em doces e ácidas. As ácidas possuem maior riqueza em ácido ascórbico que as doces. O seu alto teor de ácido ascórbico (vitamina C), despertou o interesse de vários pesquisadores em todo o mundo, incentivando o cultivo industrial desde os anos 40 em países como Estados Unidos e Porto Rico. No Brasil, já era conhecida há mais de cinquenta

anos, porém, o cultivo só transformou-se em escala comercial no início dos anos 80.

Em qualquer região do Brasil, pode ser plantada em todos os meses do ano. A estação chuvosa é a ideal quando se trata de grandes plantios. Atualmente existem plantios de pequeno e médios portes instalados, e outros em fase de instalação nos estados da Bahia, Pará, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio grande do Norte e São Paulo, visando principalmente a extração na forma de polpa, suco ou frutas congeladas e cápsulas de vitamina C, para a Europa, Japão e Estados Unidos. Apesar disso, a demanda interna tem aumentado nos últimos anos (MORAIS, 1996).

De acordo com RUEHLE (1953), a planta de acerola é um arbusto de tamanho médio, com 2 a 3 metros de altura, com ramos densos, espalhados. As folhas são opostas, de pecíolo curto, ovaladas a elípticas, lanceoladas, com 2,5 a 7,5 centímetros de comprimento. As flores são dispostas em pequenos cimeiras axilares pedunculados de 3 a 5 flores, perfeitas, com 1 a 2 centímetros de diâmetros. Os frutos variam em tamanho, forma e peso. A forma, pode ser oval e subglobosa e o tamanho varia de 1 a 2,5 centímetros e o peso varia de 2 a 10 gramas, apresentando a cor vermelho-escuro quando maduro. O fruto apresenta normalmente três sementes e um suco avermelhado. O suco representa 80% do peso do fruto.

Cada planta de acerola pode produzir de 20 a 30 kg de frutos por ano. Em uma plantação de Porto Rico, segundo MOSCOSO (1956), foram colhidos de 3000 a 4500 kg de frutos frescos por ano. Considerando-se que o conteúdo de ácido ascórbico e de deidroascórbico varia em torno de 1 a 45, o rendimento total de uma plantação com duzentas árvores, ou seja, ocupando uma área de 3000 m² com a idade de quatro anos estaria em torno de 45 a 180 kg de vitamina C, expressa em deidroascórbico e ácido ascórbico. (MARINHO NETO, 1986).

A Tabela 2.1, mostra a composição e valor nutritivo da acerola.

TABELA 2.1 - Composição da acerola em 100g de porção comestível

Composição	Peso/gramas
Umidade	91,10
Proteína	0,68
Extrato etérico	0,19
Fibras cruas	0,60
Total de Cinzas	0,45
Carboidratos (por diferença)	6,98
Minerais	
Cálcio	8,7
Fósforo	16,2
Ferro	0,17
Vitaminas	
	miligramas
Caroteno	0,408
Tiamina	0,028
Riboflavina	0,079
Niacina	0,34
Ácido Ascórbico (vitamina C)	2.329,0

FONTE: MARINO NETO (1986)

Os teores de Vitamina C na acerola variam de 1000-2000 mg de ácido ascórbico em frutos maduros a 4.827mg de ácido ascórbico por 100g em frutos verdes. A tabela abaixo mostra o conteúdo de ácido ascórbico (MORAIS, 1996).

TABELA 2.2 - Conteúdo de ácido ascórbico em acerolas maduras.

Ácido Ascórbico		Local (país)	Autor(es)
mg/100g	mg/100ml		
2.520		México	CHARLEY(1969)
2.233		USA	CHARLEY(1969)
2.130		Porto Rico	JACKSON & PENNOCK(1958)
1.996		USA	CHARLEY(1969)
1.930		Brasil(PB)	BATISTA et al (1991)
1.900		México	CHARLEY(1969)
1.827		USA	NAKASONE et al(1966)
1.759		Porto Rico	CAMPILLO & ASENJO(1957)
1.707		Porto Rico	CHARLEY(1969)
1.550		Porto Rico	LOPEZ(1963)
1.283	1.061	Porto Rico	MEDEIROS(1969)
1.130		Venezuela	CHARLEY(1969)
1.124		Brasil(RS)	CARVALHO(1992)
1.100		Colômbia	CHARLEY(1969)
994	1.200	Porto Rico	ASENJO & MOSCOSO(1950)
	1.331	Porto Rico	NIEVA(1955)
	1.267	Porto Rico	SANTINI JUNIOR & HUYKE

FONTE: CARVALHO & MANICA (1993), segundo MORAIS (1996)

2.3 - Secagem de acerola

ALSINA et al. (1997) estudaram a cinética de secagem de acerola "in natura" em momocamada no laboratório em um equipamento escala piloto, analisando o efeito da velocidade do ar entre 0,7 - 1,5 m/s e temperatura do ar entre 60 - 90°C. Nos experimentos, observou-se uma pequena influência da velocidade do ar, mas um aumento considerável da velocidade de secagem foi obtido com o aumento da temperatura do ar, levando aproximadamente de 8 - 10 horas, para diminuir o conteúdo de umidade de 90% para 20% ou menos dependendo das condições operacionais. Foram propostos equações empíricas

para descrever a cinética de secagem de acerola, incluindo o efeito do encolhimento. Para dar continuidade, ou de certa forma completar as informações, passamos a estudar o efeito de vários pré-tratamentos químicos na secagem de acerola.

2.4 - Pré-tratamentos Termo-químicos

Segundo RIVA & PERI (1983) a película da uva representa para a fruta uma barreira para a perda de água e a penetração de parasitas, constitui a resistência mais importante para saída de água durante a secagem. Do ponto de vista estrutural, a superfície da uva representa uma estrutura complexa, constituída por uma camada coerente de células onde se intercalam compostos peptídicos fortemente hidrófilos. A parte mais externa da película é constituída por uma camada de cera que aparece em microscópio eletrônico com o formato de pequenos discos situados uns sobre os outros (POSSINGHAM & CHAMBERS, 1963).

Há uns vinte anos, na Austrália, vem sendo usado um pré-tratamento que consiste na imersão da fruta em emulsões diluídas de azeite em soluções alcalinas (O/W: óleo em água), denominadas "dipping oils". A fase oleosa é formada principalmente por ésteres etílicos de ácidos graxos saturados, ésteres de ácido oléico e ácido oleico livre, sendo o éster etílico de ácido oleico (EO: ethyl - oleat), um dos componentes mais ativos (GRNCAREVIC, 1963; PONTING & MC BEAN, 1970; RADLER, 1964). Este procedimento já era muito usado na Grécia, onde uma suspensão de cinzas e azeite de oliva em água foi adaptado ao desenvolvimento tecnológico atual sem ser submetido a uma investigação científica sistemática, recomendando-se concentrações de 2% de EO e 2,5% de K_2CO_3 .

No estudo do efeito da concentração de azeite sobre a velocidade de desidratação seria necessário o emprego de emulsificantes e utilização de máquinas homogeneizadoras na preparação da emulsão. BORNHARDT et alii

(1984) comprovaram o efeito da adição de emulsificantes, da preparação da emulsão, do uso de diversos tipos de azeites e diversas formas de aplicação da emulsão, para diferentes condições de secagem. Com base nestes resultados, foi recomendado o emulsificante Tween 60 na proporção azeite: emulsificante = 10:1, lembrando-se que a aplicação de emulsificantes sem outros aditivos não possui efeito algum sobre a desidratação de uvas, uma vez que este cumpre somente a função de estabilizar a emulsão.

Tradicionalmente tem-se usado para desidratação de uvas um breve tratamento com soluções de soda cáustica quente, com a desvantagem das fissuras que este pré-tratamento causa na casca, por onde poderá ocorrer perda de suco açucarado, resultando em um aspecto pegajoso não desejável ao produto (RADLER, 1964). GRNCAREVIC et alli (1968) determinaram que a eliminação química da película cerosa diminui em quatro vezes o tempo de secagem de uvas durante a produção de passas.

Quanto ao mecanismo da ação deste pré-tratamento, GRNCAREVIC et alli (1968), GRNCAREVIC (1963) E DUDMAN & GRNCAREVIC (1962) afirmaram que a película cerosa não é eliminada, o que levou CHAMBERS & POSSINGHAM (1963) a afirmarem que só ocorre uma modificação na estrutura física da película de cera. Esta hipótese é bastante questionável, pois se baseia em um aumento hidrofílico das partículas microscópicas de cera, efeito que não é observado se aplicarmos substâncias de alta tensoatividade.

O aumento da velocidade de secagem deve estar baseado na redução das resistências internas da difusão, mais que sobre otimização dos parâmetros de transferência entre o fruto e o ar. Entre os tratamentos para reduzir esta resistência são utilizados mais frequente a lavagem alcalina ou tratamento da superfície por agentes tensoativos em solução alcalina (BREKKE & NURY, 1964 e DARIS, 1977).

Todos os autores confirmam que os produtos obtidos a partir de frutas tratadas tem as características qualitativas superiores àquelas dos frutos não tratados. Em particular, se obtêm produtos de cor mais brilhante e dourada, assim

como uma redução dos efeitos de "browning" devido a ação térmica e a oxidação (RADLER, 1964).

Uma interpretação da ação físico-química devido ao éster, foi proposto por CHAMBERS & POSSINGHAN (1963) depois da observação da cutícula ao microscópio. A emulsão alcalina dos ésteres penetram dentro dos discos da camada cerosa aumentando a afinidade pela água. Nesse caso, a presença da solução alcalina é necessária para a saponificação do ácido oleanólico que é o constituinte principal. Como consequência desta ação, a migração de água dentro dos capilares no interior do bago e através da cutícula é favorecida conservando a integridade dos tecidos epidérmicos. Esta observação foi confirmada por GRNCAREVIC et al (1968) que tem trabalhado com sistema modelo, obtendo cera de uva sobre um suporte de membrana semipermeável sintética, estes autores encontraram que após o tratamento de imersão a permeabilidade foi aumentada em torno de três vezes.

TELIS-ROMERO et al (1995) estudaram a cinética de secagem em leito estático de uvas Itália e Rubi submetidos a diferentes pré-tratamentos com soluções químicas, com o objetivo de aumentar o coeficiente de difusão de umidade, reduzindo o tempo de secagem sem que ocorram perdas na qualidade do produto final. Os pré-tratamentos utilizados foram soluções aquosas de NAOH, resultando em uma diminuição do tempo de secagem, devido à solubilização do material ceroso e da parcial destruição da casca determinando um aumento da taxa de secagem durante o primeiro estágio. O pré-tratamento com solução alcalina de ácido oleico mostrou uma diminuição da resistência à transferência de massa através da pele da uva, assim como através da difusão interna, resultando em $1/2$ - $1/5$ do tempo requerido para uvas sem tratamento químico. Concluíram que, entre as substâncias testadas, o pré-tratamento com ácido oleico aumenta consideravelmente a taxa de secagem e é a mais eficiente. Os coeficientes de difusão das amostras tratadas com ácido oleico são significativamente mais elevados do que as amostras sem tratamento, ou tratadas com NAOH, nas mesmas temperaturas do ar de secagem.

GRNCAREVIC (1963) estudou o efeito de vários tratamentos químicos, incluindo o tratamento com clorofórmio sobre a velocidade de secagem de uvas passa. As uvas foram desidratadas em um forno com as condições operacionais para a secagem de 50°C a temperatura do ar e a velocidade do ar de 50 ft/min, reduzindo 50% do peso original. Observaram que as uvas sem tratamento químico levam 45 horas para secar, por outro lado mergulhando na emulsão comercial ou tratamento, ambos levam 17 horas para desidratar. O tratamento com clorofórmio remove a cera até eliminar esta camada, que torna um obstáculo durante a perda de água. DUDMAN & GRNCAREVIC (1962) afirmaram que a cera da superfície foi removida aproximadamente 13%, após submeter ao tratamento químico com emulsão alcalina, deixando a pele mais permeável a umidade.

SRZEDNICKI et al (1996) estudaram a secagem de cerejas doce Australiana em um secador a uma velocidade do ar de secagem de 0.9 m/s e temperaturas de secagem entre 50°C e 90°C, bem como as propriedades termo-físicas, incluindo o calor específico, controle da cor, isoterms de sorção de umidade e curvas de secagem em camada fina. O controle da cor foi feito com os pré-tratamentos: I) 67% de sacarose + 0,5% de cloreto de sódio e II) 67% de sacarose + 1% ácido ascórbico, mergulhando as cerejas durante 4 horas, estes pré-tratamentos resultam na prevenção da cor vermelha. Observaram que, há também o efeito da secagem osmótica, devido a alta concentração de açúcar da solução de sacarose. O calor específico foi determinado usando o método de misturas, foi encontrado linearmente relacionado com o conteúdo de umidade. Modelos matemático para a secagem de cerejas foram desenvolvidos e testados. O modelo de GAB com cinco parâmetros, ajusta-se muito bem aos dados experimentais. Na secagem em camada fina o melhor modelo foi descrito pela relação de Arrhenius, com dois termos e temperatura dependendo das constantes de secagem.

KOSTAROPOULOS & SARAVACOS (1995) estudaram a secagem de uvas submetidas a um pré-tratamento em solução alcalina de 2,5% de K_2CO_3 + 0,5% de azeite de oliva por um minuto de imersão. A solução alcalina é usada comercialmente para "conter" a película das uvas e aumentar a velocidade de

secagem (RAOUZEOS & SARAVACOS, 1986). Após o pré-tratamento as uvas foram submetidas ao processo de secagem em um forno microondas doméstico e por radiação solar direta, obtendo como resultado uma redução do conteúdo de umidade em torno de 10 - 20% durante um curto tempo de secagem, observando no final da secagem uma redução do tempo total em torno de 45%. A cor e aparência das uvas tratadas foram similares a aparência do produto comercial.

RAHMAN & PERERA (1996) estudaram o efeito de vários pré-tratamentos sobre a velocidade de secagem e a cinética de secagem de cerejas frescas em camada fina em um secador escala piloto nas condições operacionais, temperatura do ar de secagem variando entre 40°C e 90°C e velocidade do ar de 1 m/s. Os pré-tratamentos foram: metabissulfeto de sódio, hidróxido de sódio, ácido cítrico, ácido tartárico, oleato de etila e solução de carbonato de potássio, cada pré-tratamento com concentração de 2%. Após o tratamento as cerejas foram submetidas ao processo de secagem. Os autores concluíram que, o melhor tratamento utilizado foi o oleato de etila apresentando uma redução do tempo de secagem, em relação aos demais, pois apresentou uma velocidade relativa de secagem alta. Um modelo de dois componentes foi usado para representar a curva de secagem. Os parâmetros do modelo foram correlacionados com a temperatura usando a equação de Arrhenius.

Recentemente, novas soluções foram empregadas para diminuir o tempo de secagem e obter melhor qualidade do produto final. DINCER (1996) fez uma série de experimentos sobre a secagem solar de uvas passas, sendo o primeiro lote sem tratamento, o segundo lote utilizando como pré-tratamento a solução potassa que é uma mistura muito comum na Turquia, que consiste em 94,78% de água + 4,74% de K_2CO_3 + 0,48% de azeite de oliva, preparada entre 30 - 35°C, mergulhando o lote em seis tempos e o terceiro lote foi o pré-tratamento com a solução presente com 94% de água + 4% K_2CO_3 + 2% da mistura A. A mistura A consiste de 70% de azeite de oliva + 20% de etanol + 10% de 50ml KOH e 50 ml água pura, preparada à 35°C, mergulhando o lote em seis tempos. Concluíram que, os tempos de secagem para uvas foram de 436 horas para o primeiro lote, 176 horas para o segundo lote e 128 horas para o terceiro lote, portanto, os experimentos foram completados com sucesso, obtendo uma significativa melhora

com a solução presente, que remove a camada de cera da superfície da uva aumentando a permeabilidade da película, acelerando a secagem, comparando com as uvas sem tratamento e pré-tratamento com a solução potasa. Portanto o terceiro lote, foi uma boa alternativa na aplicação da secagem de uvas, prevenindo o desperdício do produto final e dinheiro.

VÁZQUEZ et al (1997) determinaram a influência de alguns parâmetros sobre a cinética de secagem de uvas na câmara convectiva ar-quente, nas condições operacionais de temperatura de bulbo seco entre 50°C à 60°C, temperatura de bulbo úmido entre 30°C à 36°C e velocidade do ar de 3 m/s. Estes parâmetros foram: variedade de uva (Muscatel, Italia e Aledo), tipo do pré-tratamento, duração e temperatura. Os experimentos realizados foram: I) Sem tratamento ou lavado com água, II) solução aquosa de 0.5 % de hidróxido de sódio e III) o pré-tratamento com a solução de 7% de carbonato de potássio (com ou sem 0.4% de azeite de oliva). Para cada tratamento, obtiveram as seguintes conclusões:

I) Sem tratamento a uva Italia apresentou o menor tempo de secagem, isto é atribuído a diferenças na propriedades da pele da uva, tal como resistência mecânica e espessura. As uvas lavadas com água, só afetam ligeiramente a cinética de secagem das uvas Italia e Muscatel, mas diminui o tempo de secagem da uva Aledo.

II) Com o aumento da temperatura de imersão e duração do pré-tratamento com hidróxido de sódio, aumenta a velocidade de secagem, este aumento foi atribuído à formação de fissuras na pele da uva, visivelmente a olho nu.

III) Portanto, o menor tempo de secagem foi obtido para uvas pré-tratadas com a solução de carbonato de potássio com azeite de oliva, que acelera a secagem das três variedades de uvas. Esta aceleração foi atribuída principalmente às mudanças físicas na pele da uva, havendo formação de micro-fissuras, removendo desta forma a camada de cera e consequentemente reduzindo a resistência para a difusão da água, através da pele da uva.

Ambos pré-tratamentos, também inibem o escurecimento, dispendo de passas com aparência final, cor e textura qualitativamente satisfatório.

RIVA & PERI (1983) verificaram o mecanismo de secagem de uvas natural e tratada, aplicando um procedimento experimental mais rigoroso, nas condições operacionais de 0,25 m/s a velocidade do ar e 50°C a 70°C a temperatura do ar de secagem. Os pré-tratamentos utilizados foram: I) Sem pré-tratamento II) imersão de uma solução alcalina (0,3% de NaOH) à 90°C durante 10 s, seguida de um enxágue de água a 20°C e III) imersão de uma solução alcalina de (2% de oleato de etila e 2,5% de K_2CO_3) à 40°C durante 3 minutos. Concluíram que, o tratamento alcalino das uvas tem o efeito completamente superficial em parte químico solubilizando a camada de cera e parte mecânico produzindo microfaturas da película. Por causa destes efeitos, este tratamento determina uma sensível aceleração da primeira fase de secagem, que por outro lado é fortemente diminuída pela resistência devido a difusão interna de água, durante as fases seguintes. Ao contrário a imersão numa solução alcalina de oleato de etila, determinou uma **aceleração durante toda a duração do processo**, o que tem por resultado uma sensível redução do tempo total. O mecanismo de ação destes tratamentos consiste por um lado no aumento da permeabilidade da película por eliminação parcial da camada de cera e aumento da afinidade pela água dos compostos hidrófobos e por outro lado o éster difunde no interior do bago reduzindo a afinidade pela água dos constituintes polares da uva e aumentando assim a sua difusividade. Em resumo, este pré-tratamento com oleato de etila opera em tempos relativamente curtos mesmo a temperaturas baixas, isto tem por resultado uma melhor qualidade do produto.

Segundo RIVA e PERI (1983) a lavagem alcalina quente tem como resultado retirar a camada cerosa e produz a desagregação mecânica da película. O tratamento com tensoativos tem uma ação completamente eficaz, sem danificar a integridade da película. No caso da aplicação de tensoativos na secagem de frutas tendo uma estrutura porosa relativamente homogênea como tomates, pedaços de maçãs, os resultados e sua interpretação são com frequência contraditórios.

POITING & MCBEAN (1970), GRNCAREVIC (1963) e RADLER (1964) compararam a eficácia de diferentes derivados de ácidos graxos, substâncias emulsificantes e tensoativos, técnicas de desagregação da estrutura celular.

POINTING & MCBEAN (1970), com seu pré-tratamento e operando com ar à 75°C, encontraram uma redução da duração total de secagem de 30 - 40% devido particularmente a uma aceleração da primeira fase do processo. O tempo necessário para reduzir 25% a percentagem inicial de água, era quatro vezes menor com tratamento que para amostra não tratadas.

SARAVACOS & CHARMS (1962) demonstraram que o tratamento com tensoativos determinam um aumento da velocidade de secagem durante o período de taxa constante, eles atribuíram esse resultado a ação molhante desses produtos. Assim mesmo SALAS & LABOUZA (1968). LABOUZA & SIMON (1970) confirmaram estas observações utilizando substancias tensoativas iônicas na secagem de maçãs ao contrario eles encontraram que os tensoativos não-iônicos determinam um aumento da velocidade durante o período de taxa decrescente. LABOUZA & SIMON (1970) atribuíram esse resultado ao aumento da difusividade da água devida a redução dos fenômenos de contração e a manutenção da estruturas porosas no interior do fruto, em efeito a redução da tensão superficial devido aos tensoativos determinam uma redução do potencial de migração capilar o que justifica a diminuição da velocidade de secagem durante o período de taxa constante, e pelo contrario do aumento durante o período da taxa decrescente devida a redução e ao retardo dos fenômenos de contração.

GRNCAREVIC (1963) confirmando estes dados, observou que uma lavagem de uva, após a imersão anulava a ação favorável do tratamento. Por outro lado, estes tratamentos permitem obter bons resultados na secagem com ar quente e também durante a secagem solar (BOLIN & STAFFORD, 1980).

O pré-tratamento de uvas em emulsões alcalinas de oleato de etila tem provocado um aumento considerável na taxa de secagem (PONTING & MCBEAN, 1970; RAOUZEOS & SARAVACOS, 1986a). A imersão de uvas em uma solução de 0,5% de NaOH ou 2.5% de K₂CO₃ quebra a pele dos bagos, facilitando a transferência de umidade durante a secagem. Concentrações mais alta de álcalis e tempos de imersão mais longos causaram mudanças adversas na qualidade das uvas secas. As soluções de NaOH mostraram ser mais efetivas

do que as soluções de K_2CO_3 , aumentando a difusividade da umidade durante o processo de secagem (RAOUZEOS & SARAVACOS, 1986b). A adição de 2% de oleato de etila às soluções de imersão de álcalis aumentou muito significativamente a taxa de secagem das uvas.

POINTING & MCBEAN (1970) estudaram os efeitos da temperatura e tratamento de imersão nas taxas de secagem e tempos de secagem de uvas, ameixas secas e outras frutas com cera, submetido a desidratação em um equipamento tipo túnel, operando a uma temperatura de bulbo seco do ar de 100 a 300°F e velocidade do ar de 585 ft/min., com umidade baixo de 27%. Concluíram que o tratamento altera drasticamente a superfície da fruta e os materiais mais efetivos de imersão para o aumento da taxa de secagem foram os ésteres etílicos de ácidos graxos no alcance de C_{10} - C_{18} . O oleato de etila foi o mais conveniente para o manuseio e foi tão efetivo quanto qualquer outro composto. A imersão de frutas com cera por poucos segundos em uma emulsão aguosa fria de oleato de etila ou outro composto apropriado reduziu o tempo de secagem na maioria dos casos para a metade ou menos que o requerido para um controle da água de imersão, na faixa de 100 -150°F. Nas temperaturas de secagem mais altas, o tempo de secagem para ameixas foi influenciada mais pela temperatura do que pela imersão. A razão dos tempos de secagem para uvas foi essencialmente independente da temperatura.

SARAVACOS & CHARM (1962) estudaram o efeito da secagem de frutas (maçãs, pêssegos, pêras e uvas) e vegetais (batatas, cenouras, cebola e alho) em um secador tipo túnel, operando nas condições de temperatura de bulbo seco 150°F, temperatura de bulbo úmido de 90°F e velocidade do ar de 400 ft/min. Os pedaços de frutas ou vegetais foram imersos nas soluções surfactantes por 90 minutos, sabendo que tempos de imersão mais curtos produziram penetração insuficiente dos surfactantes, a penetração dos surfactantes foi mais profunda em ambos as classes de alimentos durante o processo de desidratação, devido ao encolhimento das frutas e vegetais. Como resultados, eles concluíram que os surfactantes são adsorvidos na interface água - ar, reduzindo a tensão na superfície da água, e a água tende a espalhar-se nos poros e superfícies

Segundo os autores, o primeiro modelo resulta em duas equações alternativas: uma necessita dos dados de equilíbrio de umidade e massa específica, enquanto que a outra requer a umidade inicial e a massa específica inicial. O segundo e o terceiro modelos necessitam dos valores iniciais e de equilíbrio para a umidade e a massa específica. As equações do primeiro e do segundo modelos de SUZUKI são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 2.3 - Modelos para previsão do coeficiente de encolhimento volumétrico (SUZUKI et al, 1976)

Modelo	Equação
secagem uniforme:	$s_b = (\bar{X} + m) / X_o + m$ (2.6)
tipo(1)	$m = X_e ((1 / \rho_{be}) - 1) + (1 / \rho_{be})$ (2.7)
tipo(2)	$s_b = p (\bar{X} / X_o) + q$ (2.8)
	$p = \rho_{bo} X_o / (X_o + 1)$ (2.9)
	$q = 1 + p + \rho_{bo}$ (2.10)
secagem central:	$s_b = r (\bar{X} / X_o) + u$ (2.11)
	$r = (1 - \phi) X_o / (X_o - X_e)$ (2.12)
	$u = (\phi X_o - X_e) / (X_o - X_e)$ (2.13)
	$\phi = (X_e + 1) \rho_{b,o} / (X_o + 1) \rho_{be}$ (2.14)

LOZANO et al (1983) mostraram ser possível estabelecer um modelo para o coeficiente de encolhimento volumétrico em função da composição dos produtos alimentícios. Eles propuseram uma correlação generalizada capaz de determinar o coeficiente de encolhimento conhecendo somente a umidade inicial do alimento.

SARAVACOS & RAOUZEOS (1986) estudaram a secagem de passa de uvas, observaram que o encolhimento do volume era linear com a umidade, até

PARK (1987) estudou a influência do encolhimento na difusividade de umidade de filés de tubarão salgado utilizou a equação de Fick de fluxo difusivo. Na determinação da difusividade, sem considerar o encolhimento o autor definiu \bar{X} como (g de água da amostra) / (g de amostra seca). Quando considerou o encolhimento, definiu a umidade como massa de água por unidade de volume de amostra por massa seca. A variação do volume com a umidade foi obtida experimentalmente através das três dimensões em função da umidade. Na análise de seus resultados concluiu que os valores mais corretos de difusividade efetiva, quando se considerava o fenômeno de encolhimento, eram aqueles calculados para a espessura média, uma vez que a variação da espessura durante a secagem resultava de uma função linear com a umidade.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Materiais

3.1.1 - Acerola

O material utilizado foi a acerola "in natura" adquirida na região nordeste com as seguintes características:

- Boa aparência, com grau de maturidade semelhante, identificada pela cor e consistência.
- Diâmetro médio variando entre 2,10 e 2,36 cm.
- Densidade inicial média de $0,9224 \text{ g/cm}^3$
- Umidade inicial em torno de 90 %.

3.1.2 - Soluções para o pré-tratamento químico utilizado

Para o pré-tratamento foram utilizados as seguintes soluções aquosas: Sacarose 67% + NaCl 1%; NaOH, com concentrações entre 0,3% e 3% e K_2CO_3 4,74% + azeite de oliva 0,48%. Os produtos químicos foram marca VETEC, GRUPO QUÍMICO, MERCK, REAGER grau P.A., o azeite de oliva comercial, puro, conforme informação do fabricante e as soluções preparadas com água destilada.

3.2 - Equipamentos

Para obtenção das curvas de secagem foi utilizado um secador de leito fixo. A instalação completa do conjunto de equipamentos é mostrada na Figura 3.1 constituído basicamente por: (A) um compressor radial, para impulsionar o ar no interior da linha de alimentação do leito; (B) um rotâmetro, para medir a vazão do ar de secagem; (C) resistências elétricas, para aquecer o ar de secagem; (D, E) válvulas para especificar a vazão na linha de alimentação; (F) câmara de secagem, cônico-cilíndrica; (G) dois termopares do tipo Chromel-Alumel; (H) um recipiente em forma de cesta para secar o material. (I) controlador de temperatura; (J) chaves seletoras que selecionam as temperaturas lidas num (K) milivoltímetro.

3.2.1- Câmara de Secagem

A câmara de secagem, mostrada na Figura 3.1, é formada por uma coluna cilíndrica de 17,80 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Possui uma seção inferior tronco-cônica que funciona como um distribuidor de ar onde são colocadas esferas de vidro uniformes, empilhadas aleatoriamente, que permitem a uniformidade do ar de secagem em todo o leito. A câmara é isolada térmicamente nas laterais com cordão de amianto. Nas suas laterais contêm furos onde são colocados termopares. Um termopar é inserido no fundo da seção cônica, para se obter a temperatura do ar de secagem na entrada do secador e o outro abaixo da cesta inserido no centro de uma acerola, medindo assim a evolução da temperatura interna da acerola. O conjunto de termopares foi aferido, junto com o respectivo instrumento de medida (milivoltímetro) e são distintas por meio de uma chave seletora.

LEGENDA:

- A) Compressor radial
- B) Rotâmetro
- C) Resistência
- D,E) Válvulas
- F) Coluna de Secagem
- G) Termopares
- H) Suporte de partículas (cesta)
- I) Controlador de Temperatura
- J) Chave Seletora
- K) Milivoltímetro

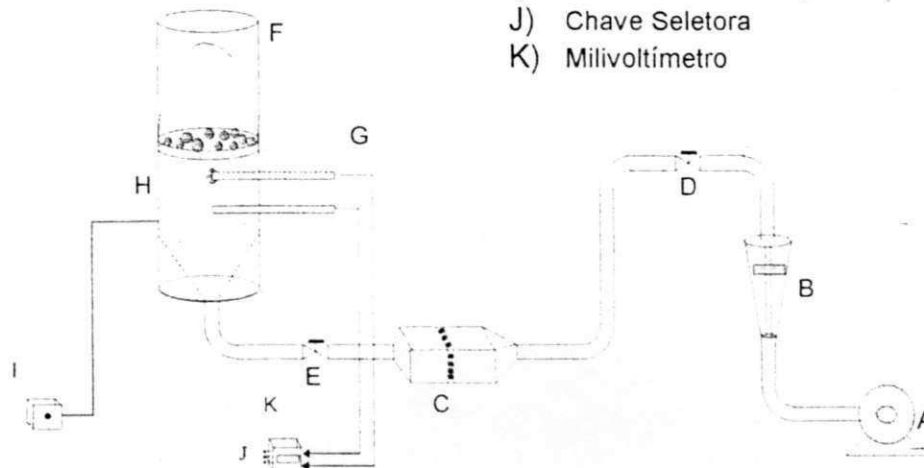


FIGURA 3.1 - Diagrama Esquemático do Equipamento de Secagem

3.2.2 - Descrição dos Equipamentos

Os equipamentos utilizados para o funcionamento da câmara de secagem, estão descritos nos itens abaixo.

3.2.3 - Equipamentos Básicos

- Aquecedor de ar tipo RM 2560.9 com 22,5 KW, fabricado pela PALLEY - Ind. Brasileira.
- Compressor Radial, tipo exportação, fabricado pela lavagem Americana Garantia, dotado de motor assíncrono trifásico, tipo S100 L2, com 4Cv e 2920 rpm, fabricado pela Metalúrgica Abramo Eberle S/A - Caxias do Sul - Ind. Brasileira.

- Controlador de Temperatura Proporcional, tipo P300, faixa de operação entre 20-200°C, fabricado pela Euro Control Aut. Ind. LTDA.
- Rotâmetro, tipo R2 - V.C HASTE, capacidade de 400 m³/h, fabricado pela OMEL/SA - Ind. Brasileira.
- Milivoltímetro, tipo MD - 045, fabricado pela EQUIPAMENTO CIENTÍFICO DO BRASIL - Ind. Brasileira.
- Válvulas, tipo globo.

3.2.4 - Equipamentos Auxiliares

- Anemômetro Digital, tipo AM - 4201, com medidas de velocidade do ar de 0.4 a 30 m/s, através de um sensor tipo hélice de baixo fricção, fabricado pela Homis Controle e Instrumentação LTDA - Indústria Brasileira.
- Balança Mettler PC 440, capacidade de 420 g, com precisão de leitura de 0,001 g, fabricado pela Mettler Instrument AG - SUIÇA.
- Cronômetro marca POCKET TIMER - Made in Switzerland.
- Estufa de secagem e esterilização, modelo 315 SE, escala 0-10, temperatura máxima 180°C, fabricado pela FANEM - São Paulo - Indústria Brasileira.
- Humidímetro Digital, tipo HT - 3003 com medidores de umidade relativa entre 10-95%, fabricado pela Homis Controle e Instrumentação LTDA - Indústria Brasileira.
- Paquímetro -fabricado pela MAUB - STAINLESS, Made in Poland.
- Termopares, tipo Chromel- Alumel.
- Termômetro Químico ARBA, faixa (-10°C a +100°C) divisão de 0,5°C enchimento mercúrio, fabricado pela ARBA - Termômetros Brasil LTDA.
- Becker de 500 ml.
- Bico de Bussen.

3.3 - Determinação da umidade inicial

Antes de submeter as acerolas ao processo de secagem, determina-se a umidade inicial.

Retirava-se quatro amostras de acerolas "in natura", sendo duas amostras submetidas aos pré-tratamentos químicos e as outras amostras sem o tratamento químico. Estas amostras eram sujeitas ao método da estufa aparelho normalmente utilizado em laboratórios para determinação de umidade, que consiste na secagem de pequenas amostras à temperatura de 70°C durante 24 horas. Depois deste tempo, as amostras eram pesadas numa balança METLLER PC 440, com precisão de leitura de 0.001g. Obtém-se assim a umidade inicial das acerolas.

3.3.1 - Determinação da umidade inicial em base úmida e base seca

A umidade inicial pode ser calculada em base seca ou base úmida mediante as equações abaixo:

$$U_i = \frac{W_i - W_s}{W_i} \quad (\text{base úmida}) \quad (4.1)$$

$$U_i = \frac{W_{a(t)} - W_s}{W_s} \quad (\text{base seca}) \quad (4.2)$$

A umidade inicial em base seca é obtida para que se possa calcular a umidade da amostra em função do tempo de secagem.

3.4 - Metodologia

Para obtenção das curvas de secagem de acerola sob o efeito de vários tratamentos químicos, planejou-se uma série de experiências, realizada no sistema mostrado na Figura 3.1. As condições operacionais com que se trabalhou na câmara de secagem foram pré-fixadas, em 70°C a temperatura do ar e 1,5 m/s a velocidade do ar, com exceção dos experimentos com os pré-tratamentos 2 e 3, que foram realizados com condições operacionais de temperatura do ar de 80°C e velocidade do ar de 1,5 e 1,84 m/s.

3.4.1 - Pré-tratamento

Inicialmente a acerola "in natura" é submetida a um tratamento químico, que consistiu em mergulhar a fruta por um tempo que varia entre 2 segundos e 4 horas com temperaturas prefixadas nas soluções previamente preparadas. Na Tabela 3.1, são apresentados as condições dos pré-tratamentos: Concentrações das soluções, tempo de imersão, temperatura de banho e com ou sem enxague. Após o pré-tratamento, a fruta era retirada, lavada e o excesso de água era removido suavemente com um papel absorvente, ficando pronta para a etapa de secagem.

TABELA 3.1 - Condições dos pré-tratamentos químicos

Pré-tratamento	Concentrações das soluções	Tempo de imersão	Temperatura de banho (°C)	Com / Sem Enxague
-	Sem Tratamento	-	-	-
1	Sacarose(67%)+ NaCl (1%)	4 horas	25	Com
2	Sacarose(67%)+ NaCl (1%)	4 horas	25	Com
3	Sacarose(67%)+ NaCl (1%)	4 horas	25	Com
4	NaOH (1%)	1,0 min	25	"
5	NaOH (1%)	5,0 min	25	"
6	NaOH (1%)	10,0 min	25	"
7	NaOH (2%)	1,0 min	25	"
8	NaOH (2%)	5,0 min	25	"
9	NaOH (2%)	10,0 min	25	"
10	NaOH (3%)	5,0 min	25	"
11	94,78% água + 4,74% K ₂ CO ₃ + 0,48% azeite de oliva	3,0 min	35	Sem
12	NaOH (0,3%)	5,0 s	93	Com
13	94,78% água + 4,74% K ₂ CO ₃ + 0,48% azeite de oliva	2,0 s	90	Sem
14	água	2,0 s	93	Sem

3.4.2 - Secagem

Após o pré-tratamento, o procedimento experimental consistia das seguintes etapas:

- A umidade inicial da acerola pré-tratada e sem o pré-tratamento era determinada conforme o procedimento descrito no item 3.3.
- Eram acionados o compressor e o sistema de aquecimento do ar (resistências), escolhendo a velocidade do ar mediante duas válvulas reguladora e a temperatura do ar com o uso do controlador de temperaturas.
- A velocidade do ar de secagem era medida, com um anemômetro colocado na parte superior da câmara de secagem.
- Atingindo a temperatura e a velocidade do ar desejadas, as acerolas pré-tratadas eram preparadas na cesta, em monocamada, a qual é pesada e em seguida colocada na câmara de secagem para iniciar o processo.
- Em intervalos regulares de tempo variados de 5, 10, 20 e 30 minutos a cesta contendo a amostra era retirada da câmara de secagem, pesada e recolocada rapidamente no secador.
- Nos intervalos de tempo, a temperatura era medida através de dois termopares que eram colocados um na entrada do secador e o outro inserido no centro de uma acerola medindo assim a evolução da temperatura interna da mesma. Realizava-se ao mesmo tempo as leituras da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente.
- Ao final da secagem, quando a umidade era considerada quase constante, a cesta era retirada da câmara de secagem e levada à estufa a uma temperatura de 70°C durante 24 horas para posterior determinação de sólidos secos.

3.4.3 - Determinação das propriedades de misturas de gás e vapor

A partir dos dados obtidos umidade relativa do ar e temperatura ambiente, determina-se através do programa em FORTRAN que se encontra no APÊNDICE D, a razão de umidade e com a temperatura na entrada do secador obtida durante a secagem, calcula-se através do programa os parâmetros psicrométricos, temperatura do bulbo úmido e umidade relativa do secador que se encontram nas tabelas no APÊNDICE A.

3.5 - Caracterização da Acerola

3.5.1 - Determinação da Densidade

A densidade da acerola foi determinada pelo deslocamento de volume de água em uma proveta, por uma massa de sólido conhecida. Para verificar a relação entre a densidade da acerola e o seu conteúdo de umidade, foram colocados quatro lotes, de quatro a seis pratos na estufa à 70°C durante 24 horas. A cada instante retirava-se um prato para as leituras de massa e do volume de água deslocado. Determinava-se assim a densidade da acerola em função do teor de umidade, $\rho = \rho(U)$.

3.5.2- Determinação do Encolhimento

O encolhimento foi determinado secando as amostras em estufa à 70°C durante 24 horas. Inicialmente as amostras foram pesadas e medido os diâmetros com o auxílio do paquímetro. Para cada experimento foram colocadas duas amostras e em intervalos regulares de tempo foram realizados as medições de massa e o diâmetro médio das amostras retornando-as a seguir à estufa. Na secagem convectiva, o encolhimento foi observado através de fotografias obtidas periodicamente APÊNDICE C.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Introdução

Neste capítulo serão apresentados e analisados os dados experimentais obtidos na desidratação de acerola em monocamada em leito fixo, referente ao estudo de parâmetros envolvidos como: o efeito de vários pré-tratamentos químicos e concentrações, envolvendo o tempo de imersão da acerola e temperatura do tratamento químico e a caracterização da acerola: densidade e encolhimento. Os experimentos foram realizados nas condições de temperatura do ar de secagem de 70°C, velocidade do ar de secagem de 1,5 m/s, com exceção dos experimentos com os pré-tratamentos 2 e 3, que foram realizados com condições operacionais de temperatura do ar de 80°C e velocidade do ar de 1,5 e 1,84 m/s.

4.2 - Influência de vários Pré-tratamentos Químicos sobre a Cinética de Secagem

Na Tabela 4.1, são mostrados os tempos necessários para obter diversos graus de diminuição da umidade mediante a secagem em camada fina à 70°C e 1,5 m/s quando sujeitos a diferentes pré-tratamentos químicos, temperatura e tempo de imersão.

TABELA 4.1 - Tempo necessário para reduzir a umidade inicial em 50%, 60%, 70% e 80% na temperatura do ar de secagem 70°C e velocidade de 1,5 m/s.

Pré-tratamento	Tempo de imersão	T (°C)	Tempo de secagem para redução da umidade inicial em (min)			
			50%	60%	70%	80%
Sem Tratamento	-	25	200,73	256,74	317,78	381,48
1 Sacarose(67%)+ NaCl (1%)	4 horas	25	276,63	351,06	434,95	-
(a) 2 Sacarose(67%)+ NaCl (1%)	4 horas	25	109,49	137,27	170,95	216,99
(a) 3 Sacarose(67%)+ NaCl (1%)	4 horas	25	102,66	130,81	163,52	203,04
(b) 4 NaOH (1%)	1 min	25	220,00	274,68	333,41	416,55
5 NaOH (1%)	5 min	25	217,83	265,40	328,17	416,90
6 NaOH (1%)	10 min	25	223,82	281,09	347,50	426,74
7 NaOH (2%)	1 min	25	288,41	355,42	-	-
8 NaOH (2%)	5 min	25	190,45	242,25	302,04	372,22
9 NaOH (2%)	10 min	25	230,63	287,51	353,30	-
10 NaOH (3%)	5 min	25	199,94	251,88	314,09	391,31
11 94,78% água + 4,74% K ₂ CO ₃ + 0,48% azeite de oliva	3 min	35	175,48	227,10	308,84	350,42
12 NaOH (0,3%)	5 s	93	156,67	193,70	242,63	300,51
13 94,78% água + 4,74% K ₂ CO ₃ + 0,48% azeite de oliva	2 s	90	153,52	194,47	240,73	302,82
14 água	2 s	93	250,0	308,28	377,68	-

(a) experimentos onde a secagem foi realizada a 80°C

(b) experimento onde a secagem foi realizada com velocidade do ar de 1,84 m/s

4.3 - Influência da Temperatura e Concentração do Pré-tratamento Químico

A Tabela 4.1, mostra a concentração da solução, tempo de imersão, temperatura do banho e o tempo de secagem para redução da umidade inicial. A remoção de umidade varia com a concentração da solução juntamente com a temperatura de banho para os pré-tratamentos (11), (12) e (13). No entanto, a temperatura de imersão alta, parece exercer uma influência muito maior, juntamente com a concentração, nas respostas do processo. Isso indica que durante a desidratação verificou-se que a película da acerola é muito resistente a transferência de massa. Essa observação é semelhante a descrita por TELIS-ROMERO et al (1995) para secagem de uvas. No entanto, apenas o efeito térmico é insuficiente para redução dessa resistência, como se vê pelos resultados de pré-tratamento com água à 93°C, onde os tempos de secagem são inclusive maiores que sem tratamento.

COUTINHO (1998) na continuidade deste trabalho, realizou experimentos nas condições operacionais de 70°C a temperatura do ar e 1,5 m/s a velocidade do ar para os pré-tratamentos com NaOH (2%) e (94,78% água + 4,74% K₂CO₃ + 0,48% azeite de oliva) levando em consideração a variação da temperatura de banho, obtendo uma redução do tempo de secagem, como mostra as Tabelas 4.2 e 4.3.

TABELA 4.2 - Tempo necessário para reduzir a umidade inicial em 50%, 60%, 70% e 80%, no pré-tratamento com NaOH (2%).

Pré-tratamento	Tempo de imersão	Temperatura de imersão	Tempo para redução da umidade inicial em (min)			
			50(%)	60(%)	70(%)	80(%)
NaOH (2%)	1 min	40°C	120,04	149,36	186,20	235,52
NaOH (2%)	1 min	50°C	106,34	133,82	165,05	205,13
NaOH (2%)	1 min	60°C	90,55	105,92	134,18	166,78
NaOH (2%)	1 min	90°C	56,23	76,19	101,00	134,94

FONTE: COUTINHO (1998)

TABELA 4.3 - Tempo necessário para reduzir a umidade inicial em 50%, 60%, 70% e 80%, no pré-tratamento com emulsão de 0,48% de azeite de oliva + 4,74% K_2CO_3 .

Tempo do Banho		Temperatura do Banho	Tempo para redução da umidade inicial em (min)			
			50(%)	60(%)	70(%)	80(%)
Emulsão de Azeite	3 min	40°C	93,50	110,63	127,76	154,96
Emulsão de Azeite	3 min	50°C	89,97	115,50	143,45	181,20
Emulsão de Azeite	3 min	60°C	43,11	59,04	79,66	105,32
Emulsão de Azeite	3 min	90°C	37,24	49,81	68,23	92,53

FONTE: COUTINHO (1998)

Observa-se que os melhores resultados obtidos nas condições operacionais de 70°C a temperatura do ar e velocidade de 1,5 m/s, foram para amostras tratadas com (0,3% de NaOH)(12) com temperatura de banho de 93°C, durante a imersão de 5 segundos. Este comportamento está de acordo com outros autores, onde observa-se que, em altas temperaturas, há uma penetração de NaOH na pele da acerola que remove a camada de cera facilitando a perda de água, obtendo um aumento na intensidade da velocidade de secagem. De acordo com a revisão bibliográfica, este aumento foi atribuído a formação de microfissuras na pele da acerola, fato relatado por VÁZQUEZ et al (1997) que verificou a formação de fissuras a olho nú para uvas, o que leva a crer que a película da acerola torna-se mais permeável à transferência de massa, reduzindo o tempo de secagem em 81 minutos com relação as amostras sem o tratamento. COUTINHO (1998) relata também o aparecimento de fissuras na pele da acerola com (NaOH 2%) à 90°C durante 1 minuto, ocasionando perda do suco das acerolas, e em algumas, a perda da maior parte da casca. Fato semelhante foi relatado por RADLER (1964) que verificou efeito semelhante para uvas.

Obteve-se também bons resultados com o pré-tratamento realizado com (4,74% de K_2CO_3 + 0,48% de azeite de oliva + 94,78% de água)(13) à temperatura de banho de 90°C, durante um tempo de imersão de 3 segundos. Este pré-tratamento acelera o processo de secagem, atribuída a mudanças físicas na pele da acerola, com formação de microfissuras na camada de cera o

que facilita a perda de água. A película da acerola torna-se mais permeável à transferência de massa, reduzindo o tempo de secagem em torno de 78 minutos, para o tratamento (13) como mostra a Tabela 4.1. Entretanto, quando a temperatura de imersão é de 35°C, tratamento (11) o tempo de secagem foi reduzido em apenas 31 minutos, indicando mais uma vez que os efeitos combinados de aquecimento e agente químico são mais eficazes, facilitando a difusão de água para o exterior.

Através dos resultados experimentais da desidratação das acerolas, foram plotadas as curvas características de secagem em monocamada. Na Figura 4.1 são mostradas as curvas de secagem submetidas a diferentes tratamentos químicos, obtidos nas mesmas condições operacionais.

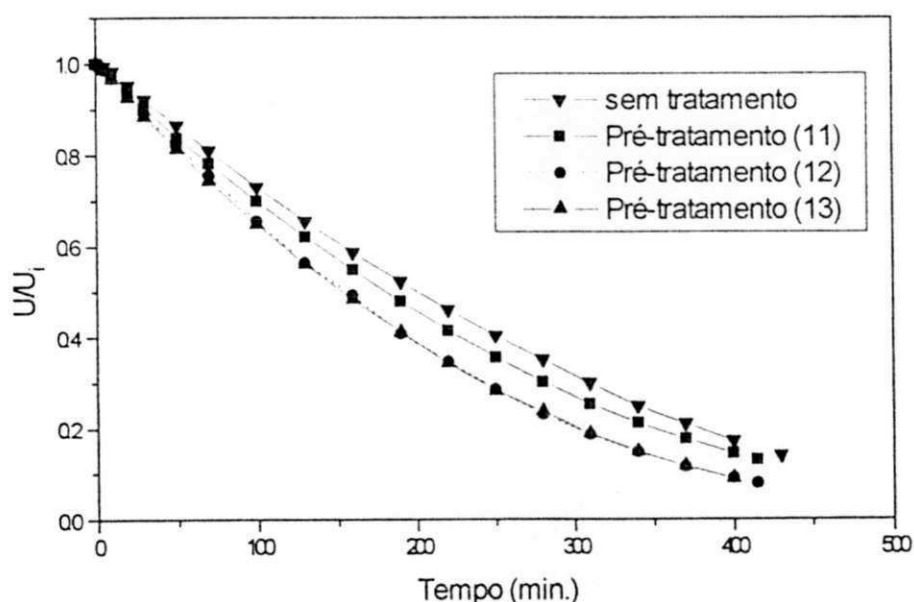


FIGURA 4.1 - Curvas de secagem de acerolas submetidas a diversos pré-tratamentos

(11) (4,74% de K_2CO_3 + 0,48% de azeite), $t = 3$ min e $T = 35^\circ C$

(12) (0,3% NaOH), $t = 5$ s e $T = 90^\circ C$

(13) (4,74% de K_2CO_3 + 0,48% de azeite), $t = 2$ s e $T = 93^\circ C$

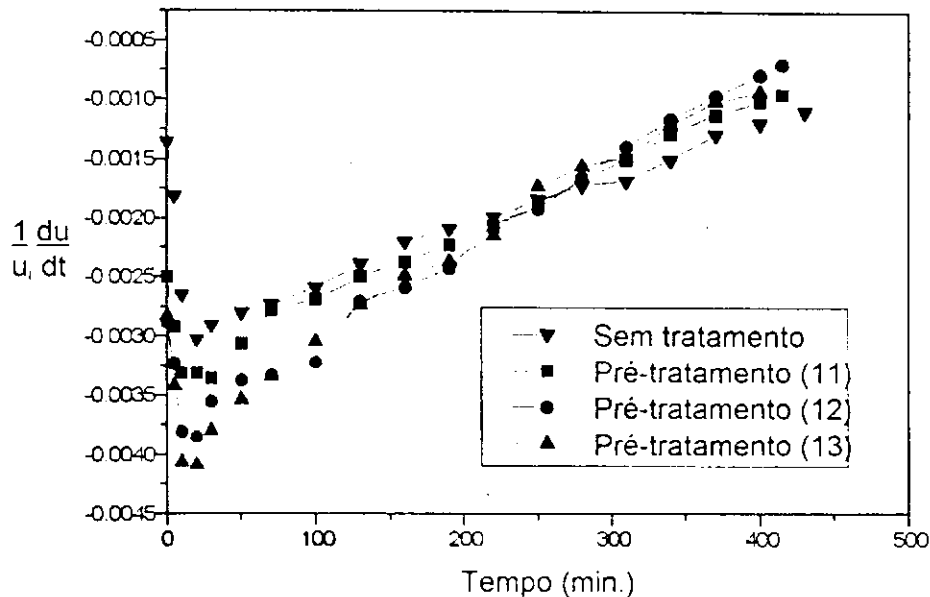


FIGURA 4.2 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo

(11) (4,74% de K_2CO_3 + 0,48% de azeite), $t = 3$ min e $T = 35^\circ C$

(12) (0,3% NaOH), $t = 5$ s e $T = 90^\circ C$

(13) (4,74% de K_2CO_3 + 0,48% de azeite), $t = 2$ s e $T = 93^\circ C$

Pela Figura 4.1, pode-se confirmar o afirmado anteriormente com relação à eficácia dos diversos pré-tratamentos na redução do tempo de secagem. Observa-se também, através da Figura 4.2, que a taxa máxima de secagem é obtida aproximadamente aos 20 minutos e que dita taxa é bastante sensível aos pré-tratamentos utilizados. Este resultado mostra que especialmente durante os primeiros momentos de secagem, a película oferece a maior resistência à transferência de massa.

Observando as Figuras 4.3 e 4.4, confirma-se que o pré-tratamento com água destilada à $93^\circ C$ durante o tempo de imersão de 2 segundos, não apresentou diminuição do tempo de secagem. É interessante notar nesse caso o aparecimento de um período de taxa constante, o que poderia indicar a presença de água residual do pré-tratamento, não eliminada com o papel absorvente devido provavelmente a forças de ligação na superfície ou retenção nos poros da película.

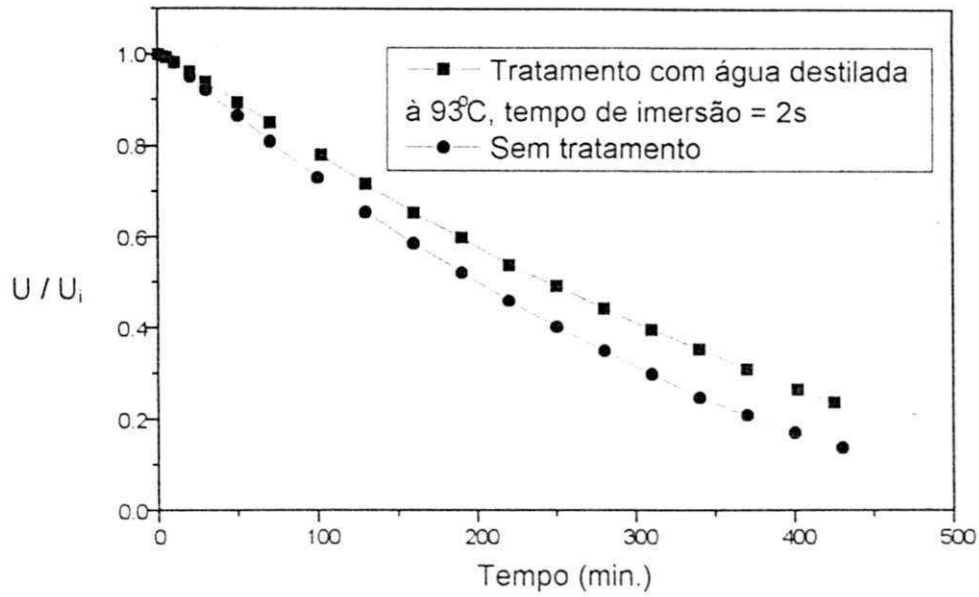


FIGURA 4.3 - Curvas de secagem de acerolas submetidas ao pré-tratamento com água destilada à 93°C e sem tratamento.

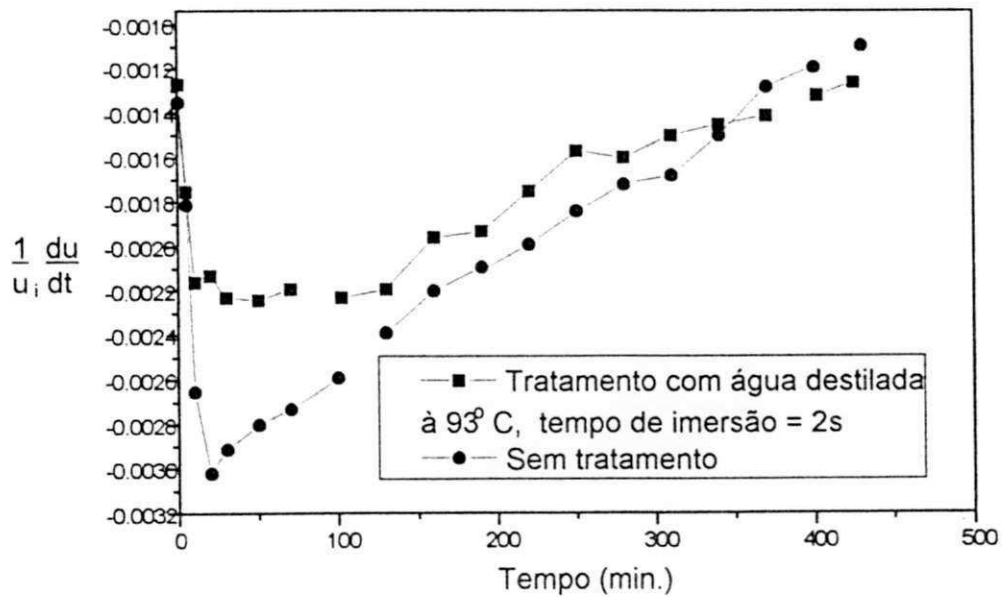


FIGURA 4.4 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com água destilada à 93°C e sem tratamento.

4.4 - Influência do Tempo de Imersão da Acerola no Tratamento Químico

Na Tabela 4.1, assim como nas Figuras 4.5 a 4.10, mostram o comportamento da secagem de acerola submetidas ao pré-tratamento com hidróxido de sódio. Pode-se observar que estes tratamentos químicos com NaOH (1 a 3%) a temperatura ambiente variando os tempos de imersão, não são eficazes, sendo que, em alguns casos o tempo de secagem é maior que sem tratamento. Durante o pré-tratamento a película das acerolas ficou com algumas manchas pretas e logo após alguns minutos de secagem a película voltava a cor normal. Os resultados obtidos nos levam a supor que estas altas concentrações de hidróxido de sódio a temperatura ambiente, provocam um bloqueio dos poros da película da acerola, dificultando por sua vez a transferência de massa durante o processo de secagem. Apenas o tratamento com 2% de NaOH, mostrou uma redução do tempo de secagem de 20 minutos. Observa-se também que os resultados não são sensíveis à variação do tempo de imersão.

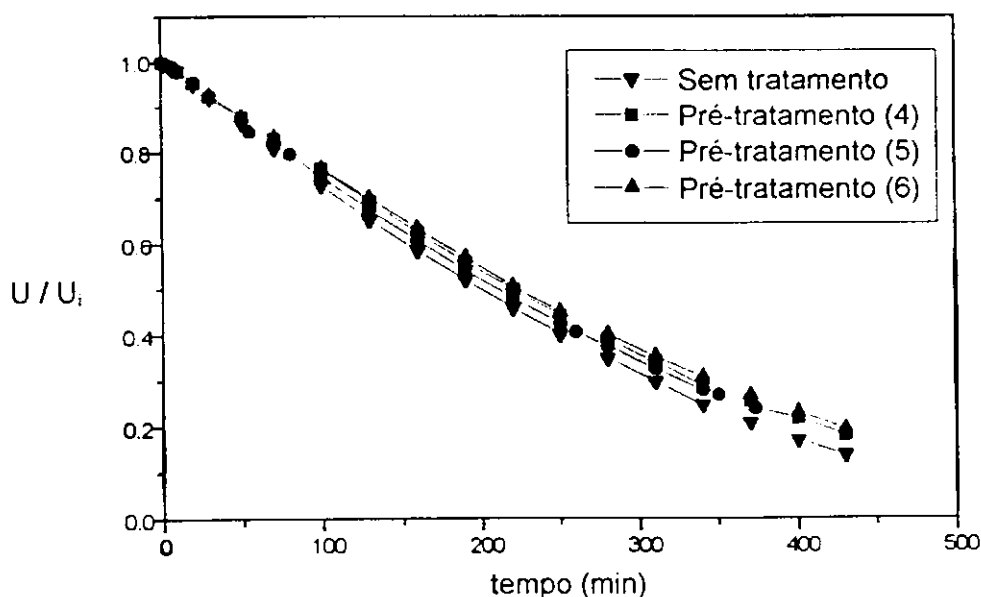


FIGURA 4.5 - Curvas de secagem de acerolas submetidas a diversos pré-tratamentos com NaOH (1%).

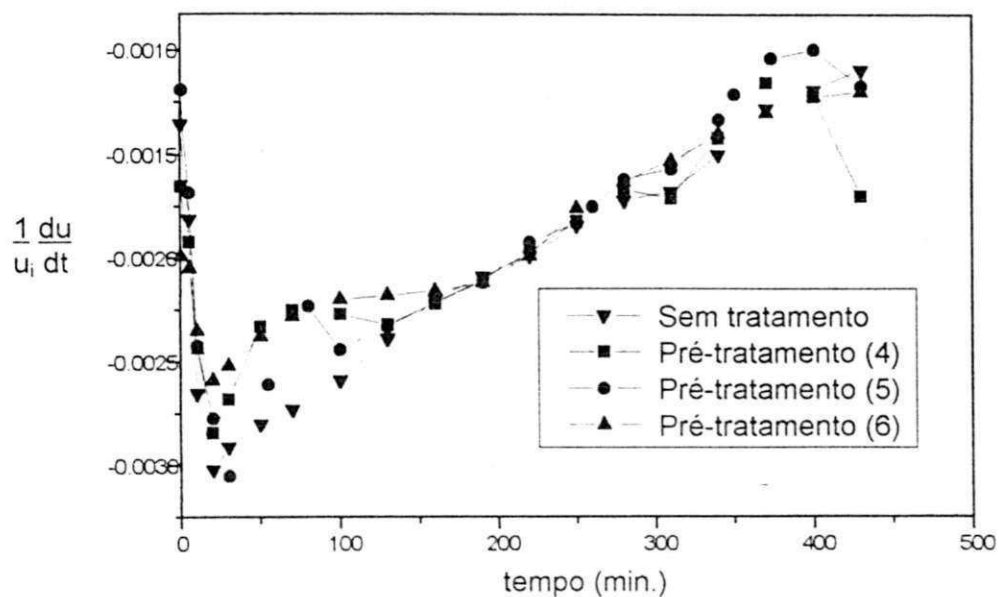


FIGURA 4.6 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré- tratamento com NaOH (1%).

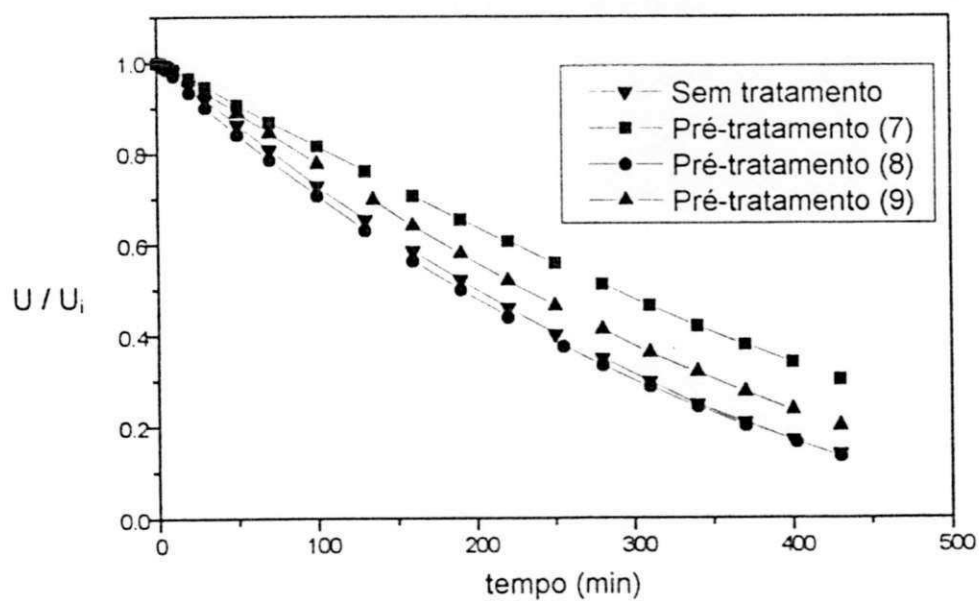


FIGURA 4.7 - Curvas de secagem de acerolas submetidas a diversos pré-tratamentos com NaOH (2%).

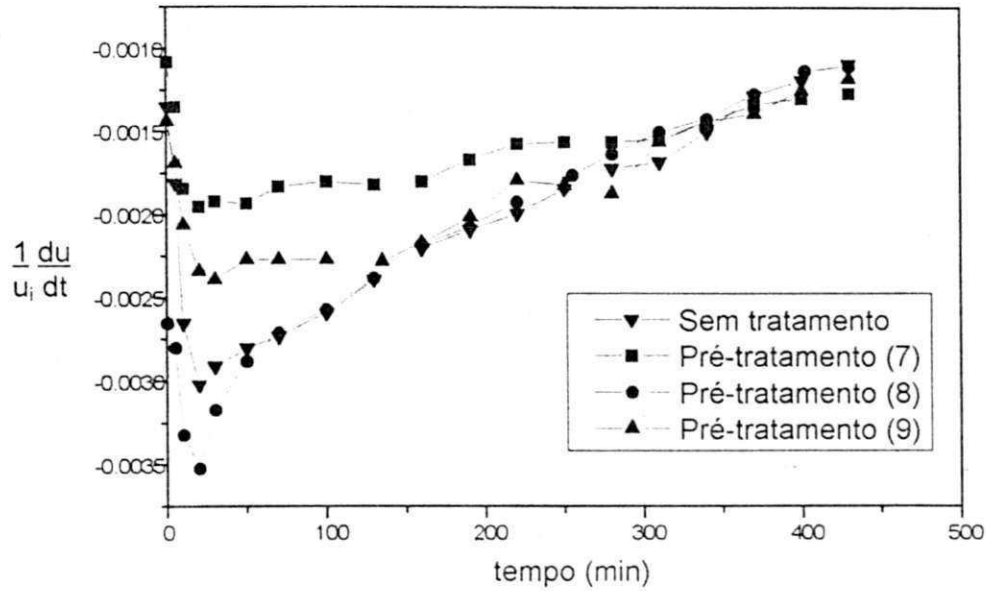


FIGURA 4.8 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com NaOH (2%).

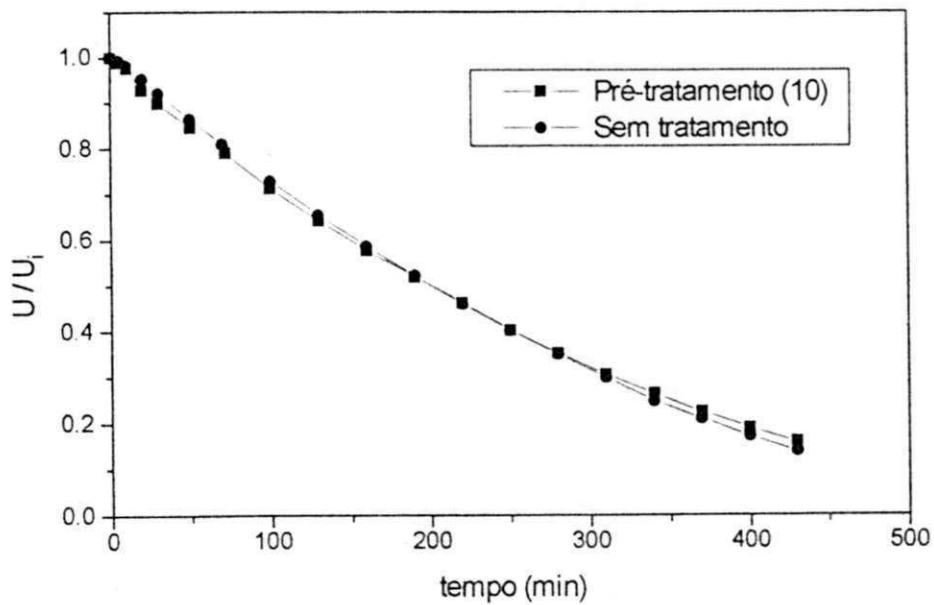


FIGURA 4.9 - Curvas de secagem de acerolas submetida ao pré-tratamento com NaOH (3%) e sem tratamento.

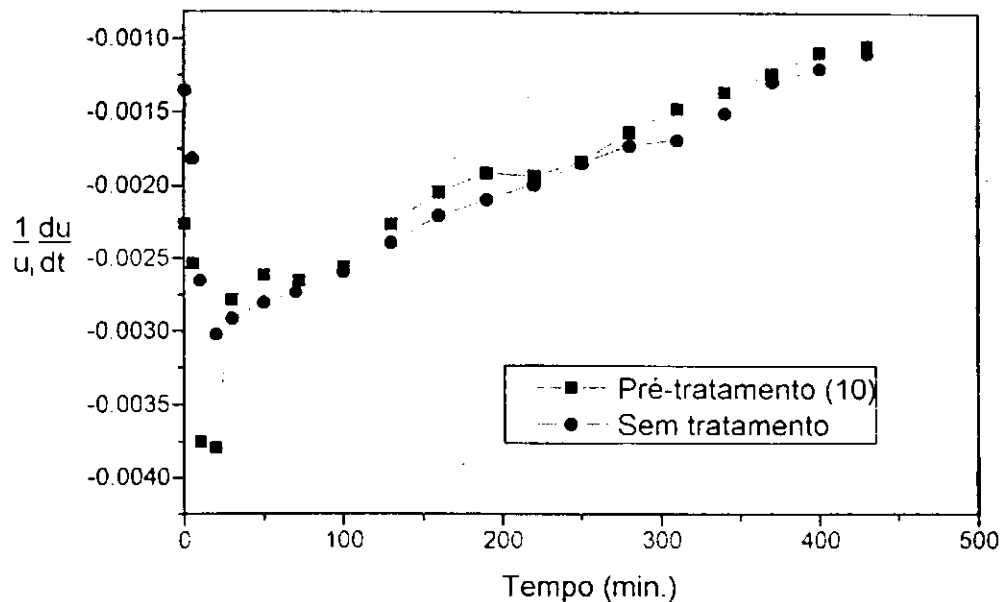


FIGURA 4.10 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com NaOH (3%) e sem tratamento.

4.5 - Influência do Pré-tratamento Químico com Concentração de Sacarose

Nas amostras tratadas com (67% de Sacarose + 1% NaCl) durante 4 horas à temperatura ambiente, como mostra a Tabela 4.1 e as Figuras 4.11 e 4.12, a melhor redução do tempo de secagem foi obtida nas condições operacionais de 80°C a temperatura do ar e 1,84 m/s a velocidade do ar de secagem. Deve-se notar que, a secagem nas condições operacionais de 70°C e 1,5 m/s, com o mesmo pré-tratamento, teve efeitos semelhantes aos do NaOH.

Entretanto, pré-tratamento com solução de sacarose com adição de Cloreto de sódio, resulta na prevenção da cor da fruta fresca até o produto seco, fato observado para cerejas por SRZEDNICKI et al (1996).

Antes de submeter as acerolas ao pré-tratamento a solução apresentava 67,34% de açúcar, após as 4 horas de pré-tratamento a solução do pré-tratamento passou a ter aproximadamente 66,43% de açúcar. Observa-se que

durante o pré-tratamento, ocorreu uma pequena desidratação osmótica, onde verificou-se que a película da acerola é muito resistente à transferência de massa resultando em uma diminuição de apenas 0,91% da umidade das acerolas durante 4 horas de tratamento.

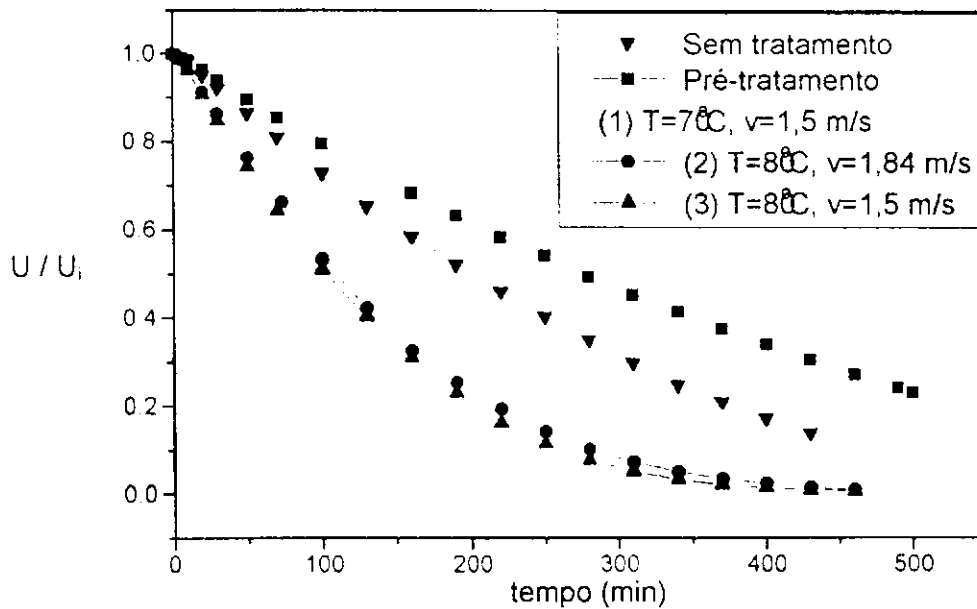


FIGURA 4.11 - Curvas de secagem de acerolas submetidas ao pré-tratamentos com 67% de Sacarose + 1% de NaCl).

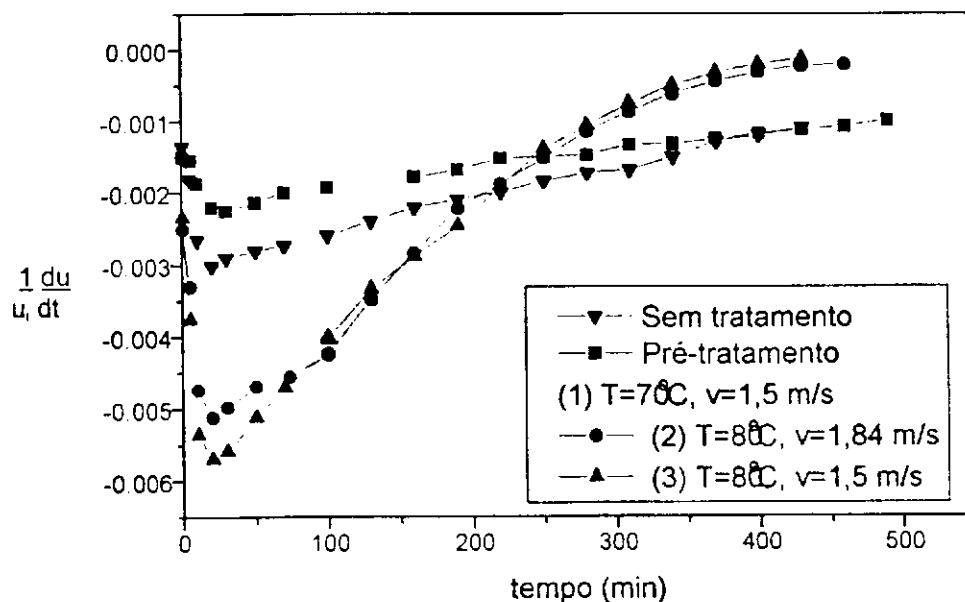


FIGURA 4.12 - Derivada das curvas de secagem em função do tempo do pré-tratamento com 67% de Sacarose + 1% de NaCl.

4.6 - Influência do Enxague após o Pré-tratamento Químico

O enxague das acerolas, após o pré-tratamento químico não apresentou nenhuma influência no aumento ou redução do tempo de secagem, apenas teve a função de eliminar a solução residual do pré-tratamento contida nas acerolas.

4.7 - Densidade da Acerola em Função da Umidade

A Figura 4.13, mostra a densidade da acerola em função do conteúdo de umidade. Observa-se que a densidade da acerola tende a diminuir, com a diminuição do teor de umidade, durante o processo de secagem em estufa.

COSTA (1988), no estudo da secagem do bagaço de cana, verificou que a densidade aparente tende a aumentar com o aumento do teor de umidade.

LOZANO et al (1983) no estudo de gêneros alimentícios, concluíram que para cenoura e pêras a densidade aumenta com o decréscimo do conteúdo de umidade, embora no caso de batata e batata doce, cresce acima para um certo conteúdo de umidade e então diminui com o decréscimo do conteúdo de umidade.

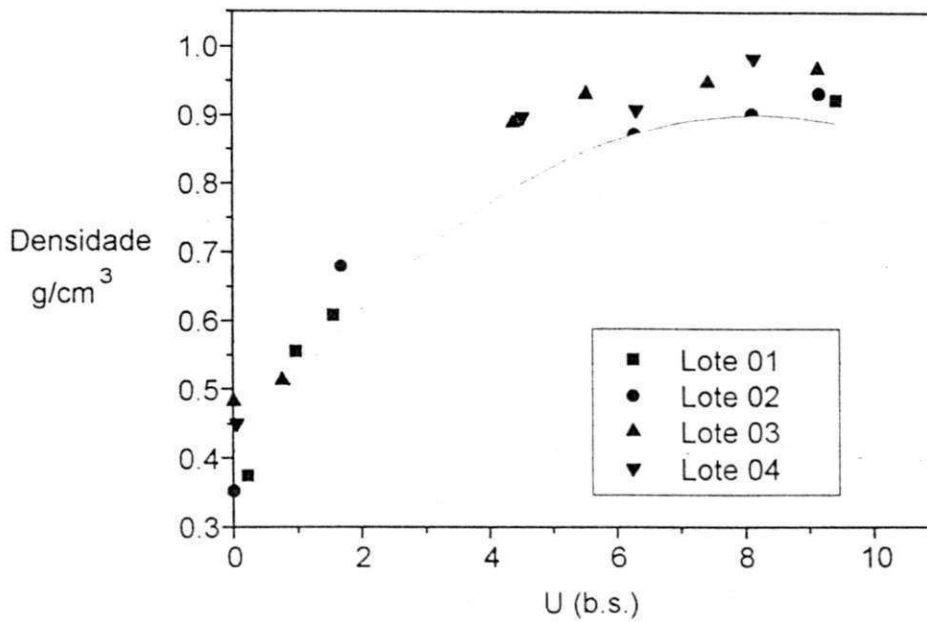


FIGURA 4.13 - Gráfico da variação da Densidade em Função da Umidade para os lotes 01, 02, 03 e 04.

4.8 - Encolhimento da Acerola

As Figuras 4.14 a 4.17, observa-se a variação do diâmetro em função da umidade durante a secagem. Para possibilitar a comparação dos diversos experimentos, o diâmetro e o teor de umidade foram normalizados com as condições iniciais. Como se observa nas Figuras 4.14 a 4.17, os pontos experimentais correspondentes a diversos pré-tratamentos e sem pré-tratamento podem ser ajustados aproximadamente por um modelo empírico proposto por ALSINA et al (1997). Nota-se que o comportamento do encolhimento não apresenta diferenças significativas entre os diversos pré-tratamentos nem com o sem pré-tratamento.

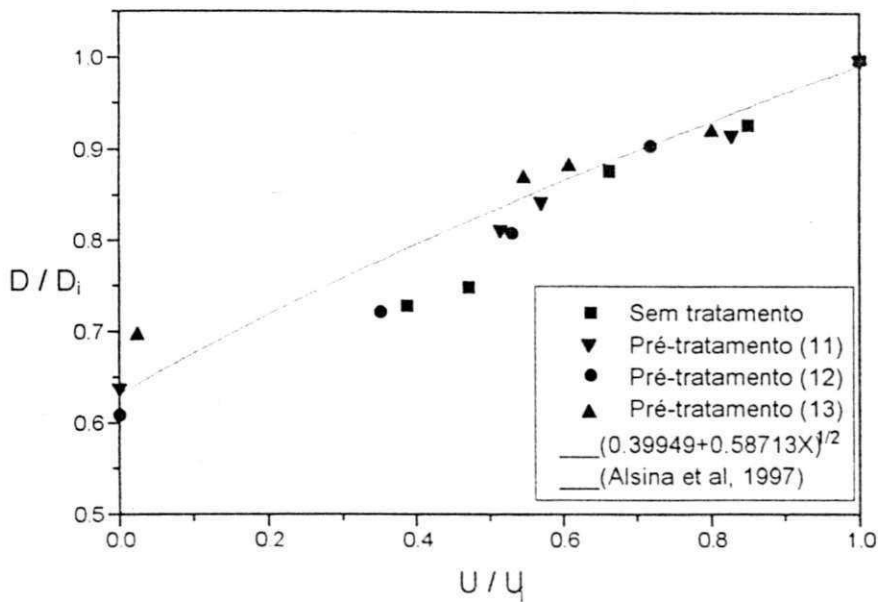


FIGURA 4.14 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos.

A Figura 4.14, mostra o encolhimento da acerola submetida ao efeito do pré-tratamento com NaOH (0,3%) à temperatura de 93°C e pré-tratamentos com (94,78% água + 4,74% K_2CO_3 + 0,48% azeite de oliva) à temperaturas de 35°C e 90°C, comparando com acerolas sem pré-tratamento.

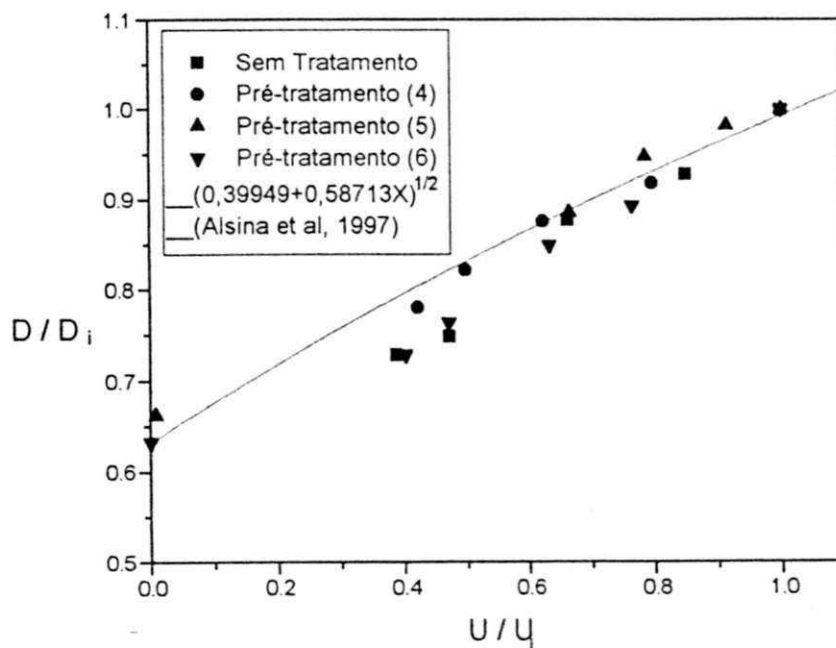


FIGURA 4.15 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos.

As Figura 4.15 e 4.16, mostram o encolhimento da acerola submetida ao efeito do pré-tratamento com NaOH (1% e 2%) à temperatura de 25°C, variando os tempos de imersão de 1, 5 e 10 minutos, comparando com acerolas sem pré-tratamento.

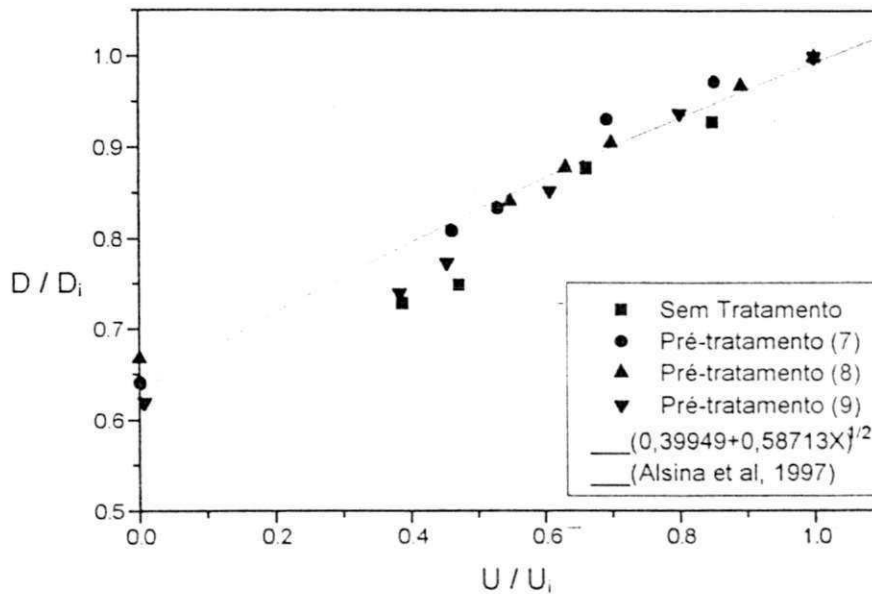


FIGURA 4.16 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos.

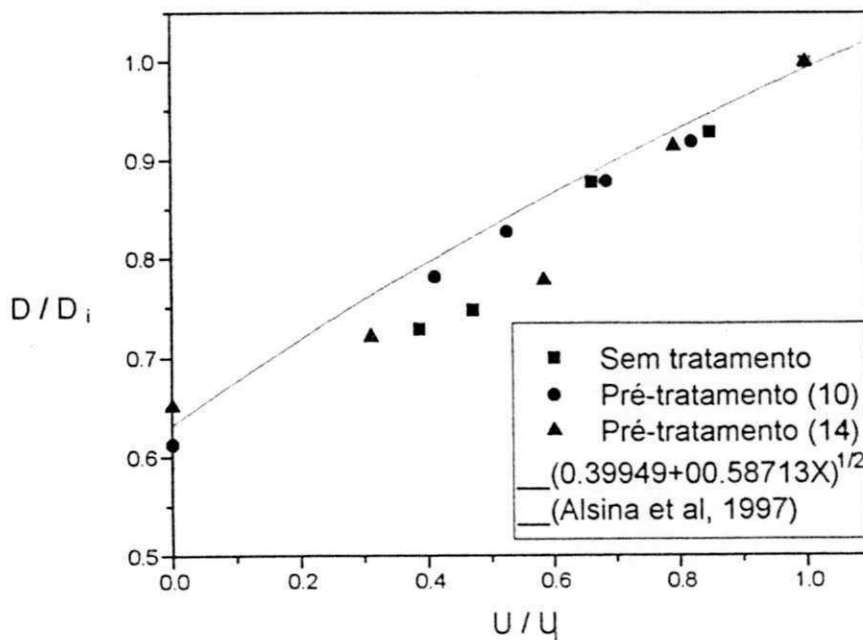


FIGURA 4.17 - Encolhimento da acerola durante a secagem submetidas a diversos pré-tratamentos.

A Figura 4.17, mostram o encolhimento da acerola submetida ao efeito do pré-tratamento com NaOH (3%) à temperatura de 25°C e água destilada à temperatura de 93°C.

As Figuras 4.14 a 4.17, permitem concluir que o comportamento do encolhimento não apresentam diferenças significativas entre os diversos pré-tratamentos nem com o sem pré-tratamento.

4.9 - Evolução da Temperatura Interna da Acerola

A Figura 4.18 mostra a evolução da temperatura interna da acerola durante os ensaios realizados no secador. A temperatura no interior da acerola atinge uma rápida evolução nos primeiros 20 minutos. Na Figura 4.18 mostra a evolução da temperatura interna, apenas para o tratamento com NaOH (0,3%). Os outros pré-tratamentos apresentaram comportamento semelhante, APÊNDICE B.

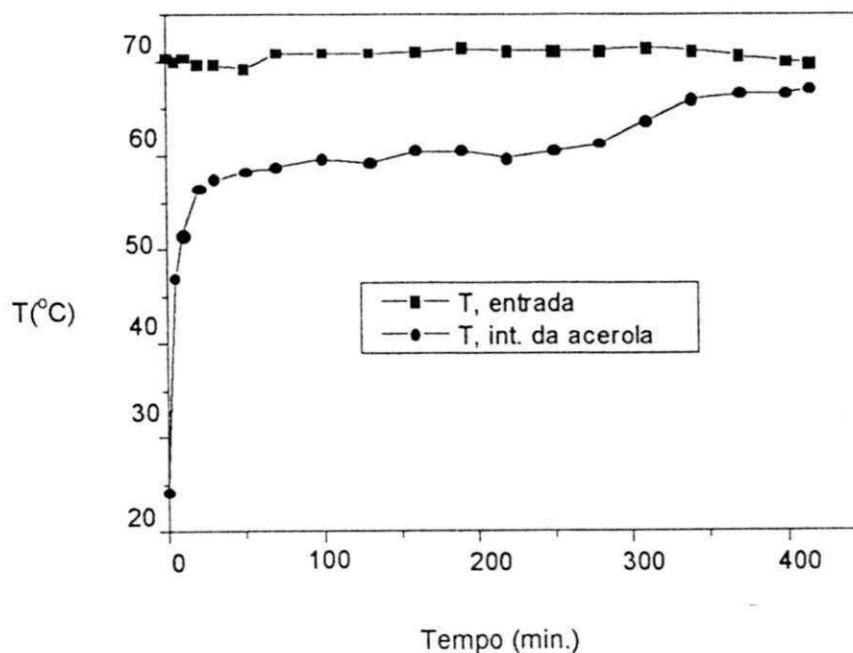


FIGURA 4.18 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (0,3%).

Comparando as Figuras 4.2, 4.4, 4.6, 4.8, 4.10 e 4.12 das derivadas com a Figura 4.18, observa-se que o período de rápida evolução da temperatura interna da acerola coincide aproximadamente com o tempo de aumento da taxa de secagem até o ponto de máximo. Após a fase inicial, a secagem pode ser considerada praticamente isotérmica. Isto significa que é preciso um modelo específico aplicável durante o período inicial.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

No trabalho desenvolvido foi constatado o seguinte:

- Os pré-tratamentos a baixas temperaturas de imersão não foram significativamente eficazes na redução do tempo de secagem.
- Foi atribuído que os tratamentos com Sacarose (67%) + Cloreto de sódio (1%), bem como Hidróxido de sódio de (1 a 3%), não são eficiente devido o provável bloqueamento da película. No entanto o Hidróxido de sódio (0,3%) aquecido foi eficaz devido a remoção da camada de cera, facilitando a difusão.
- O aumento da temperatura do ar de secagem para 80°C, influenciou na redução do tempo de secagem para o tratamento com Sacarose (67%) + NaCl (1%).
- A redução do tempo de secagem foi observada, nos pré-tratamentos a alta temperatura de imersão.

Com relação ao pré-tratamento, pode-se concluir que:

- O tempo de imersão não afeta sensivelmente o tempo de secagem nos pré-tratamentos a temperatura ambiente.

- O efeito combinado de aquecimento e do agente químico é mais eficaz na redução do tempo de secagem. Esta ação combinada resulta provavelmente no aumento da permeabilidade da película por eliminação parcial da camada de cera.
- Os melhores resultados foram obtidos com o pré-tratamento com Hidróxido de sódio (0,3%), durante a imersão de 5 segundos à 93°C e uma solução contendo (94,78% água + 4,74% K_2CO_3 + 0,48% azeite de oliva) durante à imersão de 2 segundos à 90°C. Ambos pré-tratamentos apresentaram uma redução em torno de 81 minutos no tempo de secagem.

Com relação à cinética de secagem

- A taxa de secagem apresenta um máximo em torno de 20 minutos após o início do processo. Este tempo coincide com a rápida evolução da temperatura interna da acerola até atingir condições praticamente isotérmicas.
- O encolhimento durante a secagem não é afetado pelos diversos pré-tratamentos, sendo bem descrito pela equação desenvolvida em trabalhos anteriores para o encolhimento durante a secagem de acerolas não tratadas.

Os resultados obtidos no presente trabalho constituem uma valiosa informação para uma futura modelagem, simulação e otimização do processo.

PERSPECTIVAS

Para dar continuidade aos estudos sobre a cinética de secagem de acerolas pré-tratadas, podemos sugerir:

- Estudar o efeito de outros pré-tratamentos químicos, bem como concentrações, tempo de imersão e variação da temperatura do pré-tratamento.
 - Estudar a influência da variação da temperatura e velocidade do ar de secagem para acerolas pré-tratadas.
 - Verificar qual pré-tratamento químico que apresente menor tempo de secagem, sem que ocorra perdas das propriedades nutricionais e sensoriais do produto final.
 - Fazer uma caracterização na película da acerola após os pré-tratamentos químicos, para uma melhor interpretação dos mecanismos envolvidos.
 - Estudar o desempenho da secagem de outras frutas com película submetido ao pré-tratamento químico.
 - Estudar a higroscopicidade da acerola desidratada.
 - Fazer a modelagem matemática, de forma a poder simular o processo de secagem.
-

CAPÍTULO 7

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSINA, O. L. S., SILVA, O. S. & BRASILEIRO, I. M. N., "Drying Kinetics of West Indian Cherry Conference". In: **Proceeding of the Inter-american Drying Conference (IADC)**, vol. I, Itu - SP, pp. 434- 440, 1997.

ALSINA, O. L. S., SILVA, V. A. & MOURA, C. S., "Efeito de Pré-tratamentos Químicos na Taxa de Secagem de Acerola em Monocamada". In: **XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS (Anais)**, vol. 3, Rio de Janeiro - RJ, pp. 1768- 1771, 1998.

BARONI, A. F. & HUBINGER, M. D., "Cinética da Desidratação Osmótica de Cebola" In: **XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS (Anais do XXIV ENEMP)**, vol. I, Uberlândia - MG, pp.375-380, 1996.

BOLIN, H. R. & STAFFORD, A. E., "Fatty Acid Esters and Carbonates in Grapes Drying", **J. Food Sci.**, 45, pp. 754, 755- 1980. Apud RIVA, M. & PERI, C., "Etude du Sechage des Raisins. 1 - Effect de Tratements de Modification de la Surface sur la Cinétique du Sechage". **Sciences des Aliments**, Milan, 3, pp. 527- 550, 1983.

BORNHARDT, C.; ROTH, T. & LONCIN, M. - "Aceleramiento del secado de uvas" In: **VI SEMINARIO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**. Valdivia, Chile, 1984. Apud TELIS-ROMERO, J., GABAS, A. L. & RIZATTO, M. L., "Efeito de Pré-tratamentos Químicos na Taxa de Secagem de Uva Italia e Rubi em Leito Fixo". In: **XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS (Anais do XXIII ENEMP)**, pp. 453- 463, 1995.

- BREKKE, J. E. & NURY, F. S., "Fruits, In: Food Dehydration", vol. II. **The AVI Publishing Company**, Westport, USA, 1964. Apud RIVA, M. & PERI, C., "Etude du Sechage des Raisins. 1 - Effect de Traitements de Modification de la Surface sur la Cinétique du Sechage". **Sciences des Aliments**, Milan, 3, pp. 527- 550, 1983.
- BROOKER, D. B. & BAKKER-ARKENA, F. w. & HALL, C. W., "Drying Cereal Grains". **AVI Publishing Co.**, Westport, Connecticut, pp. 185, 1974. Apud MARIZ, T. F., **Secagem de Casca de Caroso de Algodão em Leito Fixo**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). UFPB. 1986.
- CARVALHO, R. I. N. & MANICA, I. "Acerola - Composição e Armazenamento de frutos", **Cadernos de Horticultura**, UFRGS, ano 1, n° 1, 1993. Apud MORAIS, V. L. M., **Estudo do desempenho de um leito de jorro convencional para secagem de polpa de acerola**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1996.
- CHAMBERS, T. C. & POSSIGHAM, J. V., "Studies of the fine structure of the waxy layer of sultana grapes", **Austr. J. Biol. Sci.**, pp 818 - 825. 1963.
- CHARM, S. E. "Dehydration of Food", **The Fundamentals of Food Engineering**, 2 ed. The Publishing Company, pp.294-404, 1971. Apud LOZANO, J. E., ROTSTEIN, E. & URBICAIN, M. J., " Shrinkage, Porosity and Bulk Density of Foodstuffs at Changing Moisture Contents" , **Journal of Food Science**, 48, pp 1497- 1502, 1983.
- CHIRIFE, J., (1969). Apud LOZANO, J. E., ROTSTEIN, E. & URBICAIN, M. J., " Shrinkage, Porosity and Bulk Density of Foodstuffs at Changing Moisture Contents" , **Journal of Food Science**, 48, pp 1497- 1502, 1983.
- COSTA, L. D., **Secagem de Bagaço de Cana em Leito Fixo**. Campina Grande - PB, pp.136. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1988.

- COULSON, J. M. & RICHARDSON, J. F. "Tecnologia Química - Operações Unitárias v. II". Segunda edição, Fundação Caloust Gulbernkian, Lisboa, pp. 657, 1974. Apud MARIZ, T. F., **Secagem de Casca de Caroso de Algodão em Leito Fixo**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1986.
- COUTINHO, S. A. "Efeito do Pré-tratamento sobre a secagem de frutas em camada fina". Projeto: Pesquisa Tecnológica de aproveitamento de Frutas. Estudos comparativos de Técnicas de secagem para beneficiamento de frutas. **RELATÓRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - UFPB. PIBIC/ CNPq/ UFPB - Campus II Campina Grande, 1998.**
- CRANK, J., "The Mathematics of Diffusion". Segunda Edição. **University Press**. Oxford, pp. 405, 1975. Apud TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A., "Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes". **Tópicos Especiais em Secagem**, Vol. I, pp. 211- 251, 1992.
- DARIS, B. T., "La production de Raisins secs à partir de variétés de table" . Bull. O. i. v., pp. 496-506, 1977. Apud RIVA, M. & PERI, C., "Etude du Sechage des Raisins. 1 - Effect de Tratements de Modification de la Surface sur la Cinétique du Sechage". **Sciences des Aliments**, Milan, 3, pp. 527- 550, 1983.
- DINCER, I., "Sun Drying of Sultana Grapes". **Drying Technology**, Vitória, 14 (7 & 8); pp. 1827-1838, 1996.
- DUDMAN, W. F. & GRNCAREVIC, M., "Determination of The Surface Waxy Substances of Grapes", **J. Sci. Food Agric.**, pp. 221- 224, 1962.
- GOLING, 1969. Apud LOZANO, J. E., ROTSTEIN, E. & URBICAIN, M. J., "Shrinkage, Porosity and Bulk Density of Foodstuffs at Changing Moisture Contents", **Journal of Food Science**, 48, pp 1497- 1502, 1983.
- GRNCAREVIC, M., "Effect of Various Dipping Treatments on the Drying Rate of Grape for Raisins", **Am. J. Enol. Vitic.**, 14, pp. 230-234, 1963.

- GRNCAREVIC, M., RADLER F. & POSSINGHAM, J. V., "The Dipping Effect Causing Increased Drying of Grapes Demonstrated with on Artificial Cuticle". **Food Techn. In Austr.**, 20, pp. 27-29, 1968.
- KILPATRICK, P. W., LOWE, E. & VAN ARDEAL, W. B., "Tunnel dehydration for fruits and vegetables. In: Van Arsdel, W. B. -Advances in Food Research. Academic Press. New York, pp. 313-371, 1955.
- KOSTAROPOULOS, A. E. & SARAVACOS, G. D., "Microwave Pre-treatment for Sun-dried Raisins". **Journal of Food Science**, 60(2), pp. 344-347, 1995.
- LABOUZA, T. P. & SIMON, I. B. "Surface tension effects during dehydration. I: Air drying of apple slices". **Food Techn.**, 24, pp. 712, 715.
- LEWIS, W. K. "The rate of drying of solids materials" In: **The Symposium on Drying. The journal of i. & e. Ch.**, 13.(5), pp. 427-432, 1921.
- LOZANO, J. E., ROTSTEIN, E. & URBICAIN, M. J., " Shrinkage, Porosity and Bulk Density of Foodstuffs at Changing Moisture Contents" , **Journal of Food Science**, 48, pp 1497- 1502, 1983.
- LOZANO, J. E., URBICAIN, M. J. & ROTSTEIN, E., " Total Porosity and Openporosity in the Drying of Fruits", **J. Food Sci.**, 45, pp. 1403, 1980.
- MARIZ, T. F., **Secagem de Casca de Caroso de Algodão em Leito Fixo.** Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1986.
- MARINHO NETO, L., **Acerola - a cereja tropical.** São Paulo: Livraria Nobel S.A., pp. 94, 1986.
- MARTINS, J. H. & MATA, M. E. R. M., "Introdução à Teoria e Simulação Matemática de Secagem de Grãos". **Nucleo de Tecnologia em armazenagem**, UFPB, pp. 104, 1984.

- MORAIS, V. L. M., **Estudo do desempenho de um leito de jorro convencional para secagem de polpa de acerola**. Campina Grande - PB, pp. 128. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), UFPB, 1996.
- MOSCOSO, 1956. Citado por MARINHO NETO, L., **Acerola - a cereja tropical**. São Paulo: Livraria Nobel S. A., pp 94, 1986.
- PARK, 1987. Apud TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A., "Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes". **Tópicos Especiais em Secagem**, Vol. I, pp. 211-251, 1992.
- PERRY & CHILTON., "Manual de Engenharia Química". Quinta edição. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, pp. 3-50, 1980.
- POINTING, J. D. & MCBEAN, D. M., "Temperature and Dipping Treatment Effects on Drying Rates and Drying Times of Grapes, Prunes and Other Waxy Fruits". **Food Techn.**, 24, pp. 1403-1406, 1970.
- POSSINGHAM, J. V. & CHAMBERS, T. C., "Studies of the Fine Structure of the Wax Layer of Sultana Grapes", **Austr. J. Biol. Sci.**, 16, pp. 818- 825, 1963.
- QUADRI, M. G. N., QUAST, E. & QUADRI, M. B., " Secagem de Cebola em Bandejas utilizando Desidratação Osmótica como Pré-tratamento". In: XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS (**Anais do XXIV ENEMP**), vol. I, Uberlândia - MG, pp.313- 317, 1996.
- RADLER, F., "The Surface Lipids of Fresh and Processed Raisins", **J. Sci. Food Agr.**, 16, pp. 864- 869, 1964.
- RAHMAN, M. S. & PERERA, C. O., "Effect of Pre-treatment on air Drying Rate and Thin Layer Drying Kinetics of Fresh Cherry". **Drying'96**, Poland, pp. 1053-1060, 1996.

- RAOUZEOS, G. S. & SARAVACOS, G. D., "Solar drying of raisins". **Drying Technol.**, 4(4), pp. 643- 649, 1986.
- RIVA, M. & PERI, C., "Etude du Sechage des Raisins. 1 - Effect de Traitements de Modification de la Surface sur la Cinétique du Sechage". **Sciences des Aliments**, Milan, 3, pp. 527- 550, 1983.
- RUEHLE, 1953. Apud MARINHO NETO, L., **Acerola - a cereja tropical**. São Paulo: Livraria Nobel S.A., pp. 94, 1986.
- SALAS, F. & LABUZA, T. P., "Surface Active Agents Effects on Drying Characteristics of Model Food Systems". **Food Techn.**, 22, pp. 1576-1580, 1968.
- SARAVACOS, G. D. & CHARMS, S. E., "Effect of Surface Active Agents on the Dehydration of Fruit and Vegetable". **Food Techn.**, 16, pp. 91- 93, 1962.
- SARAVACOS, G. D. & RAOUZEOS, G. S., "Diffusivity of moisture in air-drying of Raisins. In: **Drying' 86**, vol. 2, pp. 486-491, 1986.
- SHERWOOD, T. K., "Aplication of the Theoretical Diffusion Equations to the Drying of Solids". **Trans. Am. Inst. Chem. Eng.**, 27, pp. 310-333, 1931.
- SRZEDNICKI, G. S.; JOENG, Y. H. & DRISCOLL, R. H., "Studies on Drying of Australian Sweet Cherries". **Drying'96**, Poland, pp. 831- 838, 1996.
- SUZUKI, K., KUBOLTA, K., HASEGAWA, T. & HOSAKA, h., "Shrinkage in dehydration of rood vegetables". **Journal of Food Sciece**, 41(5), pp. 1189-1193, 1976.
- TELIS-ROMERO, J., GABAS, A. L. & RIZATTO, M. L., "Efeito de Pré-tratamentos Químicos na Taxa de Secagem de Uva Italia e Rubi em Leito Fixo". In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS. (**Anais do XXIII ENEMP**), pp. 453- 463, 1995.

THOMPSON, T. L., PEART, R. M. & FOSTER, G. H. "Mathematical simulation of corn drying", 1968. Apud MARTINS, J. H. & MATA, M. E. R. M., "Introdução à Teoria e Simulação Matemática de Secagem de Grãos". **Nucleo de Tecnologia em armazenagem**, UFPB, pp. 104, 1984.

TOBINAGA, S. & PINTO, L. A. A., "Secagem de Materiais Fibrosos: Músculos de Peixes". **Tópicos Especiais em Secagem**, Vol. I, pp. 211- 251, 1992.

VÁZQUEZ, G., CHENLO, F., MOREIRA, R. & CRUZ, E., "Grapes Drying in a Pilot Plant with a Heat Pump". **Drying Technology**, Spain, 15 (3 & 8), pp. 899- 920, 1997.

WANG N., & BRENNAN J. G., " Changes In Structure, Density and Porosity of Potato During Dehydration". **J. Food Engn.**, 24, pp. 61- 76, 1995.

APÊNDICE A

(Tabelas de dados obtidos na câmara de secagem)

TABELA A - SEM TRATAMENTO

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C

VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s

TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 23°C

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,72%

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 88,42%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 77,0%

DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,23cm

DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,54cm

PESO DO SUPORTE = 119,90 g

PESO DA AMOSTRA (INICIAL) = 66,87g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = Sem Tratamento Químico.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	71,05	31,78	25,92	66,87	7,865	6,63
5	71,05	31,71	41,05	66,47	7,812	6,56
10	70,56	31,69	48,36	65,80	7,723	6,78
20	70,07	31,56	55,92	64,00	7,484	6,88
30	70,83	32,04	56,19	62,22	7,248	7,01
50	69,65	31,88	55,99	58,86	6,803	7,44
70	68,92	31,62	56,72	55,57	6,367	7,54
100	69,08	31,49	55,90	50,80	5,735	7,32
130	68,88	31,91	55,95	46,35	5,144	7,90
160	68,40	31,43	55,71	42,29	4,606	7,63
190	69,19	31,79	56,75	38,52	4,106	7,60
220	69,20	31,74	56,52	34,84	3,619	7,53
250	68,91	31,61	57,69	31,44	3,168	7,54
280	69,14	31,44	56,22	28,29	2,750	7,23
310	69,13	31,82	55,96	26,16	2,468	7,66
340	69,39	32,06	56,70	22,30	1,956	7,79
370	69,26	32,26	57,31	20,01	1,653	8,08
400	69,01	32,23	57,31	17,73	1,350	8,19
430	69,36	32,46	61,55	15,79	1,093	8,25

TABELA A 1 - PRÉ-TRATAMENTO 1

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 26°C
 UMIDADE EM (B. U.) (SECADOR)=90,63%
 UMIDADE EM BASE UMIDA(ESTUFA)=90,65%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) 70,50%
 DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,36 cm
 DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,64 cm
 PESO DO SUPORTE = 119,90 g
 PESO INICIAL DA AMOSTRA = 72,74g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = 67% Sacarose + 1% NaCl + 32% água, tempo de imersão 4 horas.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, saída do secador (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	70,14	32,22	69,90	72,74	9,672	7,56
6	69,90	32,03	68,19	72,15	9,585	7,48
10	69,90	32,08	69,17	71,73	9,524	7,58
20	69,90	32,01	68,92	70,30	9,314	7,45
30	69,65	31,89	68,68	68,83	9,098	7,46
50	69,91	31,87	67,96	65,85	8,661	7,29
70	70,17	32,00	69,44	63,29	8,271	7,30
100	70,38	31,89	69,40	59,30	7,700	7,07
160	70,43	31,94	69,70	51,91	6,616	7,11
190	70,45	31,85	70,20	48,56	6,124	6,99
220	70,50	31,97	70,26	45,27	5,642	7,10
250	70,26	31,63	69,77	42,56	5,244	6,86
280	69,97	31,88	69,00	39,53	4,780	7,27
310	70,27	32,10	69,30	36,75	4,392	7,36
340	70,23	32,33	69,50	34,12	4,006	7,62
370	68,98	32,32	68,74	31,57	3,632	8,30
400	68,48	32,72	68,00	29,20	3,284	9,07
430	68,73	32,63	68,24	26,95	2,954	8,82
460	68,97	32,96	68,73	24,77	2,634	9,06
490	68,73	33,11	68,48	22,74	2,336	9,38
500	69,22	33,23	68,97	22,11	2,244	9,22

TABELA A 2 - PRÉ-TRATAMENTO 2

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 80°C
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 24,5°C
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 89,46%
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 88,50%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 71,3%
 DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,35 cm
 DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,43 cm
 PESO DO SUPORTE = 119,90 g
 PESO INICIAL DA AMOSTRA = 99,73g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = Sacarose 67% + NaCl 1% + água 32%, tempo de imersão 4 horas.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	81,33	33,77	24,01	99,73	8,488	4,39
5	81,08	33,71	48,40	98,61	8,382	4,42
10	80,84	33,66	59,38	96,78	8,207	4,46
20	80,84	33,65	65,96	92,01	7,754	4,45
30	81,14	33,80	65,77	87,65	7,338	4,47
50	81,09	33,59	66,70	78,66	6,483	4,33
73	80,36	33,57	66,70	69,73	5,634	4,54
100	80,12	33,54	66,70	58,29	4,545	4,60
130	80,37	33,55	68,18	48,30	3,595	4,53
160	81,62	33,59	67,23	39,64	2,771	4,17
190	81,37	33,36	66,74	33,17	2,155	4,08
220	80,89	33,49	66,98	27,81	1,646	4,32
250	81,63	33,76	67,00	23,16	1,203	4,29
280	80,40	33,43	66,01	19,72	0,876	4,42
310	80,90	33,34	66,02	17,03	0,620	4,21
340	80,90	33,27	67,24	15,07	0,434	4,16
370	78,45	32,70	66,01	13,69	0,302	4,49
400	79,92	33,14	68,22	12,71	0,209	4,36
430	80,41	33,49	69,93	12,00	0,142	4,46
460	80,66	33,68	71,87	11,48	0,092	4,53

TABELA A 3 - PRÉ-TRATAMENTO 3

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 80°C UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 75,0
 VELOCIDADE DO AR = 1,84 m/s DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,19 cm
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 26°C DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,43 cm
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,48% PESO DO SUPORTE = 119,87 g
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 84,81% PESO INICIAL DA AMOSTRA = 56,77g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = Sacarose 67% + NaCl 1% + água 32%, tempo de imersão 4 horas.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	81,36	34,66	28,44	56,77	7,680	5,04
5	81,36	34,66	51,36	56,18	7,590	5,04
10	81,85	34,44	62,83	54,88	7,391	4,72
20	82,15	34,35	65,81	52,09	6,965	4,56
30	81,86	34,26	66,25	49,15	6,515	4,58
50	81,37	34,20	66,99	43,81	5,699	4,69
70	81,37	33,89	66,99	38,87	4,943	4,47
100	81,63	34,02	66,02	32,13	3,913	4,48
130	82,19	34,09	66,33	26,76	3,092	4,36
160	81,65	34,01	64,83	22,08	2,376	4,47
190	81,65	33,68	65,56	18,07	1,763	4,23
220	82,20	33,65	67,08	14,71	1,241	4,04
250	82,60	33,63	69,67	12,30	0,881	3,92
280	82,11	33,56	72,41	10,46	0,599	4,01
310	80,26	33,28	75,38	9,02	0,394	4,36
340	81,82	33,71	77,68	8,20	0,254	4,20
370	81,72	33,56	78,80	7,62	0,165	4,12
400	80,70	33,36	78,75	7,25	0,108	4,28
430	81,19	33,30	79,48	7,02	0,073	4,09
460	80,68	33,41	79,22	6,87	0,050	4,32

TABELA A 4 - ENSAIO N° 04

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C

VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s

TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 23°C

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,28%

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 89,74%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 66,60%

DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,28 cm

DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,66 cm

PESO DO SUPORTE = 119,89 g

PESO INICIAL DA AMOSTRA = 58,56g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 1% com tempo de imersão 1,0 min.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	71,05	30,90	23,0	58,56	8,747	5,74
5	70,30	30,49	41,28	58,13	8,675	5,67
10	70,56	30,59	52,02	57,55	8,579	5,66
20	70,32	30,38	58,36	56,15	8,346	5,54
30	69,34	30,22	60,31	54,57	8,083	5,83
50	68,86	30,06	60,82	52,11	7,673	5,89
70	68,92	30,09	61,60	49,67	7,267	5,89
102	68,39	29,93	60,34	46,22	6,693	5,98
130	70,89	30,43	63,09	42,52	6,077	5,35
160	70,36	30,26	62,80	38,91	5,476	5,41
190	70,36	30,16	62,56	35,53	4,914	5,31
220	69,39	29,82	52,31	32,28	4,373	5,39
250	70,14	30,38	62,83	29,32	3,880	5,63
280	69,90	29,85	62,09	26,54	3,417	5,31
310	69,90	30,01	61,61	24,04	3,001	5,36
340	70,66	30,58	62,12	21,14	2,518	5,59
370	69,97	30,14	61,68	19,56	2,255	5,46
402	69,68	30,06	61,88	17,51	1,914	5,51
425	67,97	29,69	60,66	15,71	1,615	5,92

TABELA A 5 - PRÉ-TRATAMENTO 5

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C

VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s

TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 24°C

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 89,93%

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 89,65%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 70,5

DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,38 cm

DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,62 cm

PESO DO SUPORTE = 119,90 g

PESO INICIAL DA AMOSTRA = 82,10g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 1% com tempo de imersão 5 minutos.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	71,80	31,75	24	82,10	8,930	6,25
5	71,31	31,66	48,39	81,66	8,877	6,38
10	71,31	31,70	58,63	80,86	8,780	6,43
20	71,31	31,80	61,31	78,89	8,542	6,52
30	71,31	31,93	62,78	76,77	8,286	6,66
55	70,84	32,22	63,28	70,79	7,562	7,18
80	70,41	31,90	63,09	67,14	7,121	7,07
100	71,34	32,23	63,29	63,47	6,677	6,95
130	69,61	31,79	62,05	58,16	6,035	7,36
160	69,85	31,96	62,30	53,15	5,429	7,43
190	69,85	31,87	62,78	48,36	4,849	7,32
220	69,85	31,96	63,26	43,75	4,292	7,43
250	69,61	31,79	63,78	39,84	3,819	7,36
260	69,61	31,87	64,0	38,44	3,649	7,46
280	69,86	32,08	64,98	36,08	3,364	7,54
310	69,36	31,89	65,46	32,43	2,922	7,61
340	69,61	32,18	66,19	29,11	2,521	7,80
350	69,61	32,19	65,95	28,25	2,417	7,81
373	69,85	32,41	66,19	26,12	2,159	7,91
400	69,85	32,41	66,68	24,5	1,963	7,92
430	70,09	32,48	67,17	21,9	1,649	7,87

TABELA A 6 - PRÉ-TRATAMENTO 6

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 81,0%
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,39 cm
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 22,5°C DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,75 cm
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,87% PESO DO SUPORTE = 119,92 g
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 88,13% PESO INICIAL DA AMOSTRA = 69,73g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 1% com tempo de imersão 10 min.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	69,82	31,68	24,45	69,73	7,850	7,14
5	69,33	31,72	42,01	69,12	7,772	7,44
10	69,33	31,71	46,40	68,46	7,689	7,43
20	69,83	31,97	50,80	66,86	7,486	7,44
30	68,84	31,59	51,52	65,26	7,283	7,56
50	69,34	31,88	54,46	62,23	6,898	7,61
70	68,85	31,74	54,22	59,38	6,536	7,72
100	67,63	31,23	55,44	55,20	6,006	7,83
130	71,05	32,19	56,66	51,31	5,4997	7,05
160	70,57	31,93	57,64	47,10	4,978	7,02
190	70,57	31,73	58,13	43,18	4,480	6,81
220	70,83	31,80	59,61	39,25	3,981	6,75
250	71,34	32,09	58,90	35,79	3,542	6,80
280	70,85	32,11	59,14	32,73	3,154	7,06
310	71,58	32,05	60,36	29,72	2,772	6,65
340	69,39	31,56	59,63	27,05	2,433	7,23
370	68,90	31,40	60,12	24,54	2,114	7,31
400	69,62	31,07	62,06	22,23	1,821	6,59
430	70,11	31,13	64,25	20,01	1,539	6,41

TABELA A 7 - PRÉ-TRATAMENTO 7

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C

VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s

TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 23°C

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 86,67%

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 85,78%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 69,7%

DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,32 cm

DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,71 cm

PESO DO SUPORTE = 119,92 g

PESO INICIAL DA AMOSTRA = 76,95g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 2% com tempo de imersão 1,0 min.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	69,58	30,87	27,88	76,95	6,502	6,40
5	69,60	30,99	51,55	76,59	6,467	6,51
10	69,35	30,87	54,96	76,05	6,414	6,51
20	69,11	30,75	59,59	74,68	6,281	6,50
30	69,05	30,68	60,52	73,45	6,161	6,46
50	68,88	31,05	60,09	70,79	5,901	6,94
70	68,63	30,98	59,85	68,31	5,660	6,99
100	68,64	31,01	60,35	64,71	5,309	7,02
130	69,38	31,17	61,57	61,11	4,958	6,82
160	69,68	31,03	61,63	57,42	4,598	6,52
190	69,40	31,07	61,34	53,89	4,254	6,69
220	69,64	31,09	61,84	50,73	3,946	6,59
250	68,91	30,98	61,59	47,60	3,640	6,85
280	70,39	31,11	62,10	44,48	3,336	6,26
310	70,40	31,08	62,35	41,36	3,032	6,22
340	70,40	30,86	62,35	38,31	2,735	6,00
370	70,70	30,95	63,14	35,61	2,472	5,94
400	70,16	31,00	62,35	32,95	2,212	6,25
430	70,16	31,12	63,82	30,41	1,965	6,38

TABELA A8 - PRÉ-TRATAMENTO 8

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C

VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s

TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 24,5°C

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 89,59%

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 90,58%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 77,20%

DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,28 cm

DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,48 cm

PESO DO SUPORTE = 119,90 g

PESO INICIAL DA AMOSTRA = 63,21g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 2% com tempo de imersão 5 min.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	69,86	32,19	21,57	63,21	8,606	7,66
5	69,37	31,81	44,74	62,46	8,492	7,52
10	69,13	31,40	54,98	61,62	8,365	7,19
20	68,70	31,22	59,19	59,54	8,048	7,23
30	68,90	31,13	59,63	57,64	7,759	7,02
50	68,41	30,89	59,14	54,26	7,246	7,01
70	67,68	30,58	58,90	51,10	6,766	7,05
100	67,94	30,85	56,23	46,62	6,085	7,22
130	67,44	30,95	56,46	42,36	5,437	7,61
160	68,17	31,52	55,97	38,53	4,855	7,85
190	67,20	31,71	55,97	34,95	4,311	8,65
220	67,50	31,38	55,80	31,50	3,787	8,07
255	67,95	31,50	55,27	27,92	3,243	7,96
280	67,96	31,20	56,5	25,50	2,875	7,60
310	67,96	31,46	56,25	22,86	2,474	7,91
340	68,26	31,69	55,82	20,40	2,100	8,00
370	68,22	31,62	56,75	18,05	1,743	7,93
402	68,20	31,94	57,96	15,94	1,422	8,32
430	67,96	31,79	59,91	14,20	1,158	8,29

TABELA A 9 - PRÉ-TRATAMENTO 9

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 23,5°C
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 86,70%
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 86,71%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 73,50%
 DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,11 cm
 DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,51 cm
 PESO DO SUPORTE = 119,89 g
 PESO INICIAL DA AMOSTRA = 46,84g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 2% com tempo de imersão 10,0 min.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (gramas)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	69,84	31,45	23,98	46,84	6,520	6,88
5	70,04	31,56	41,26	46,55	6,473	6,90
10	69,55	31,47	51,02	46,16	6,410	7,04
20	69,36	31,35	58,63	45,27	6,267	7,02
30	69,12	31,19	60,83	44,26	6,105	6,97
50	68,63	31,14	60,09	42,40	5,807	7,17
70	69,42	31,27	60,39	40,58	5,514	6,90
100	70,12	31,45	61,09	37,79	5,066	6,74
135	69,83	30,94	61,54	34,59	4,553	6,34
160	69,89	31,16	60,86	32,25	4,177	6,54
190	70,14	31,28	62,34	29,77	3,779	6,55
220	69,76	30,97	61,95	27,34	3,389	6,41
250	69,62	30,90	60,84	25,07	3,025	6,41
280	70,17	30,81	60,66	22,99	2,691	6,05
310	70,12	30,86	60,12	20,93	2,360	6,12
340	69,98	31,26	59,74	19,20	2,082	6,61
370	69,64	31,16	59,15	17,43	1,798	6,68
400	69,94	31,25	59,69	15,81	1,538	6,62
430	67,21	30,74	57,70	14,38	1,308	7,50

TABELA A 10 - PRÉ-TRATAMENTO 10

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 23,50°C
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,37%
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 89,70%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 71,70%
 DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,27 cm
 DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,55 cm
 PESO DO SUPORTE = 119,92 g
 PESO INICIAL DA AMOSTRA = 64,91g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = NaOH 3% com tempo de imersão 5 min.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	69,84	31,28	23,98	64,91	7,598	6,70
5	69,59	31,23	51,79	64,26	7,512	6,77
10	69,59	31,22	58,62	63,46	7,406	6,76
20	69,36	31,30	61,07	60,76	7,048	6,96
30	69,36	31,14	60,83	59,11	6,830	6,79
50	69,63	31,41	61,58	56,03	6,422	6,95
72	69,39	31,21	62,07	52,84	5,999	6,85
100	68,90	30,90	61,58	48,40	5,411	6,77
130	68,66	30,78	61,83	44,34	4,873	6,75
160	69,17	31,26	62,58	40,59	4,379	7,02
190	68,92	31,15	61,61	37,32	3,943	7,03
220	68,92	31,11	61,36	34,04	3,509	6,98
250	69,18	31,27	61,86	30,67	3,063	7,02
280	68,94	31,21	62,35	27,75	2,676	7,08
310	68,20	30,95	62,34	25,08	2,322	7,20
340	68,44	31,15	63,56	22,70	2,007	7,28
370	66,48	30,80	62,58	20,42	1,705	7,99
400	67,70	31,19	64,54	18,46	1,445	7,74
430	68,92	31,63	66,24	16,69	1,211	7,56

TABELA A 11 - PRÉ-TRATAMENTO 11

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 25,5°C
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,85%
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 89,36%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 57,50%
 DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,20 cm
 DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,51 cm
 PESO DO SUPORTE = 119,85 g
 PESO INICIAL DA AMOSTRA = 63,57g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = 94,78% água + 4,74% K₂CO₃ + 0,48% azeite de oliva, tempo de imersão 3,0 min. e temperatura do pré-tratamento 35°C.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	69,40	30,58	26,23	63,57	7,439	6,18
5	69,16	30,43	21,60	52,87	7,346	6,13
10	68,91	30,41	56,72	61,94	7,222	6,24
20	68,91	30,47	59,16	60,09	6,977	6,30
30	69,41	30,53	61,36	58,23	6,730	6,12
50	69,41	30,58	61,08	54,45	6,228	6,08
70	70,41	30,74	61,88	51,38	5,820	5,87
100	68,94	30,06	61,38	46,65	5,193	5,85
130	69,19	30,12	61,63	42,33	4,620	5,80
160	68,95	29,97	61,88	38,24	4,076	5,75
190	69,98	30,08	62,18	34,37	3,562	5,40
220	70,48	30,25	62,19	30,74	3,080	5,35
250	70,48	30,19	61,94	27,40	2,637	5,29
280	70,24	30,17	61,70	24,45	2,246	5,37
310	70,44	30,06	61,90	21,76	1,888	5,18
340	70,19	29,99	61,90	19,42	1,578	5,22
370	70,19	30,02	61,41	17,45	1,316	5,25
400	69,39	29,73	60,61	15,64	1,076	5,30
415	69,25	29,89	60,22	14,84	0,970	5,53

TABELA A 12 - PRÉ-TRATAMENTO 12

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 24°C
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 89,80%
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 89,35%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 61,8%
 DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,24 cm
 DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,49 cm
 PESO DO SUPORTE = 119,86 g
 PESO INICIAL DA AMOSTRA = 63,36g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = 0,3% NaOH, tempo de imersão 2 seg, e temperatura do pré-tratamento 93°C.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	70,34	30,67	24,24	63,36	8,260	5,83
5	70,09	30,61	46,93	62,55	8,141	5,88
10	70,35	30,68	51,57	61,54	7,993	5,84
20	69,62	30,41	56,45	59,30	7,660	5,90
30	69,63	30,48	57,44	57,19	7,357	5,96
50	69,15	30,28	58,17	53,30	6,789	5,98
70	70,85	30,61	58,66	49,58	6,245	5,54
100	70,86	30,53	59,64	43,86	5,409	5,46
130	70,88	30,50	59,17	38,66	4,650	5,42
160	70,93	30,49	60,44	34,66	4,065	5,39
190	71,39	30,57	60,41	29,88	3,367	5,27
220	71,14	30,51	59,68	26,41	2,859	5,32
250	71,10	30,52	60,37	22,95	2,354	5,35
280	71,16	30,73	61,16	19,89	1,907	5,53
310	71,45	30,79	63,65	17,34	1,534	5,46
340	71,16	30,70	66,03	15,19	1,220	5,50
370	70,67	30,64	66,52	13,39	0,957	5,65
400	70,02	30,46	66,61	11,92	0,742	5,76
415	69,92	30,44	67,0	11,33	0,656	5,79

TABELA A 13 - PRÉ-TRATAMENTO 13

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70° C UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 58,10%
 VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 2,20 cm
 TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 26° C DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,52 cm
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,13% PESO DO SUPORTE = 119,88 g
 UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 85,60% PESO INICIAL DA AMOSTRA = 55,34g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = 94,78% água + 4,74% K₂CO₃ + 0,48% azeite de oliva, tempo de imersão 2,0 seg e temperatura do tratamento 90° C.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	71,12	31,16	26,24	55,34	7,424	5,97
5	71,42	31,34	52,39	54,65	7,319	6,01
10	71,38	31,32	57,72	53,67	7,170	6,01
20	71,23	31,25	56,60	51,66	6,864	6,01
30	70,60	30,99	58,41	49,68	6,563	6,03
50	70,66	31,01	57,48	46,22	6,036	6,03
70	69,94	30,72	59,69	42,78	5,512	6,07
100	70,19	30,78	59,22	38,17	4,811	6,01
130	69,71	30,38	59,46	33,86	4,155	5,82
160	70,16	30,53	60,40	30,15	3,590	5,77
190	69,97	30,29	60,95	26,57	3,045	5,61
220	69,93	30,22	62,61	23,23	2,536	5,56
250	68,71	29,74	60,90	20,29	2,089	5,62
280	70,04	30,43	65,89	18,16	1,764	5,72
310	69,35	30,14	67,65	15,74	1,396	5,74
340	69,55	30,13	67,85	13,82	1,104	5,64
370	68,61	29,70	67,88	12,24	0,863	5,63
400	68,02	29,51	67,05	10,87	0,655	5,71

TABELA A 14 - PRÉ-TRATAMENTO 14

TEMPERATURA DE OPERAÇÃO = 70°C

VELOCIDADE DO AR = 1,5 m/s

TEMPERATURA AMBIENTE (INICIAL) = 27°C

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (SECADOR) = 88,28%

UMIDADE EM BASE ÚMIDA (ESTUFA) = 88,98%

UMIDADE REL. DO AR (INICIAL) = 53,10%

DIÂMETRO MÉDIO (ANTES) = 1,93 cm

DIÂMETRO MÉDIO (DEPOIS) = 1,35 cm

PESO DO SUPORTE = 119,87 g

PESO INICIAL DA AMOSTRA = 57,42g

PRÉ-TRATAMENTO UTILIZADO = Água destilada, tempo de imersão 2 seg e temperatura do tratamento 93°C.

Tempo (min.)	TBS (°C)	TBU (°C)	T, interna da Acerola (°C)	Massa da amostra (g)	U(b.s.)	U _R do Secador
0	71,39	31,03	29,19	57,42	7,533	5,72
5	71,14	30,93	55,53	57,10	7,485	5,73
10	71,40	31,12	59,45	56,53	7,401	5,80
20	71,40	31,02	61,16	55,47	7,243	5,70
30	71,16	30,97	62,86	54,37	7,080	5,76
50	71,02	31,04	63,46	52,05	6,735	5,89
70	71,72	31,40	63,92	49,82	6,404	5,94
102	71,43	31,23	64,61	46,29	5,879	5,90
130	71,45	31,45	65,35	43,05	5,398	6,11
160	71,95	31,58	64,39	39,87	4,925	6,01
190	71,50	31,31	63,46	37,08	4,510	5,95
220	70,77	31,32	63,70	33,99	4,051	6,29
250	70,92	31,31	62,87	31,74	3,717	6,21
280	70,97	31,25	63,41	29,22	3,342	6,13
310	70,87	31,35	63,31	26,87	2,993	6,27
340	69,83	30,79	62,76	24,66	2,665	6,19
370	69,59	30,79	63,49	22,46	2,338	6,31
402	69,73	30,85	64,85	20,22	2,005	6,30
425	69,77	30,94	65,38	18,75	1,786	6,38

APÊNDICE B

(Gráficos da Temperatura interna da acerola para vários experimentos)

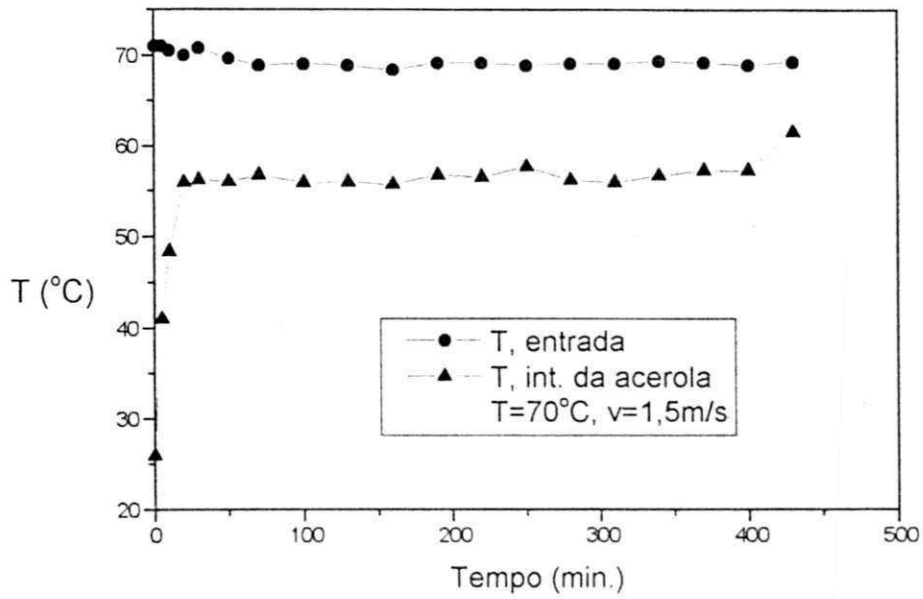


Figura 4.19 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem sem tratamento químico.

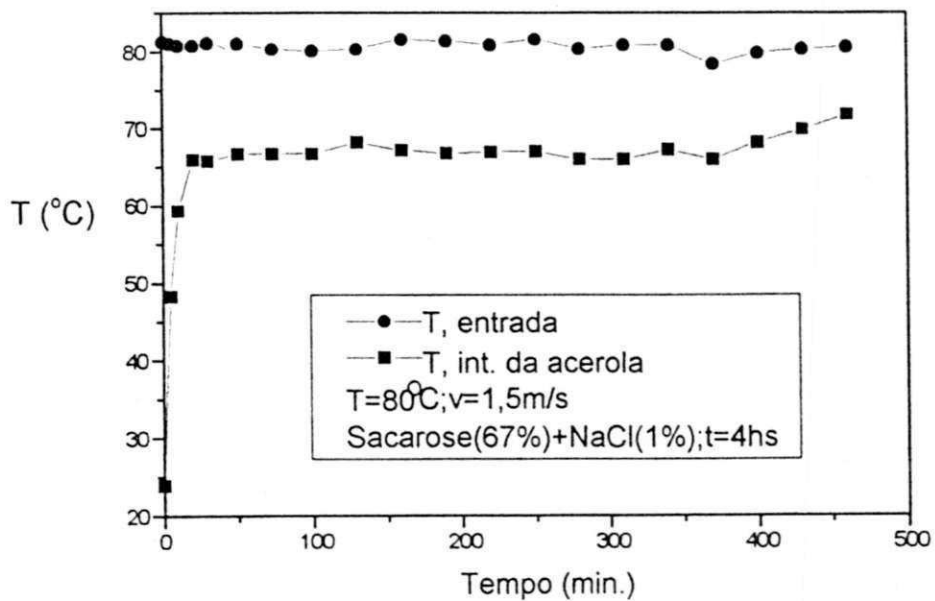


Figura 4.20 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento Sacarose (67%) + NaCl (1%)

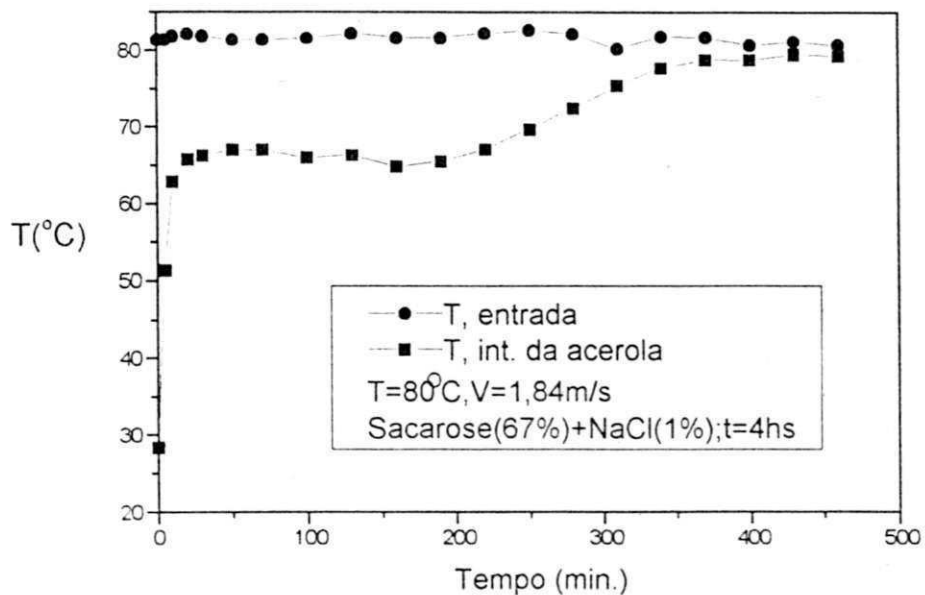


Figura 4.21 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento Sacarose (67%) + NaCl (1%)

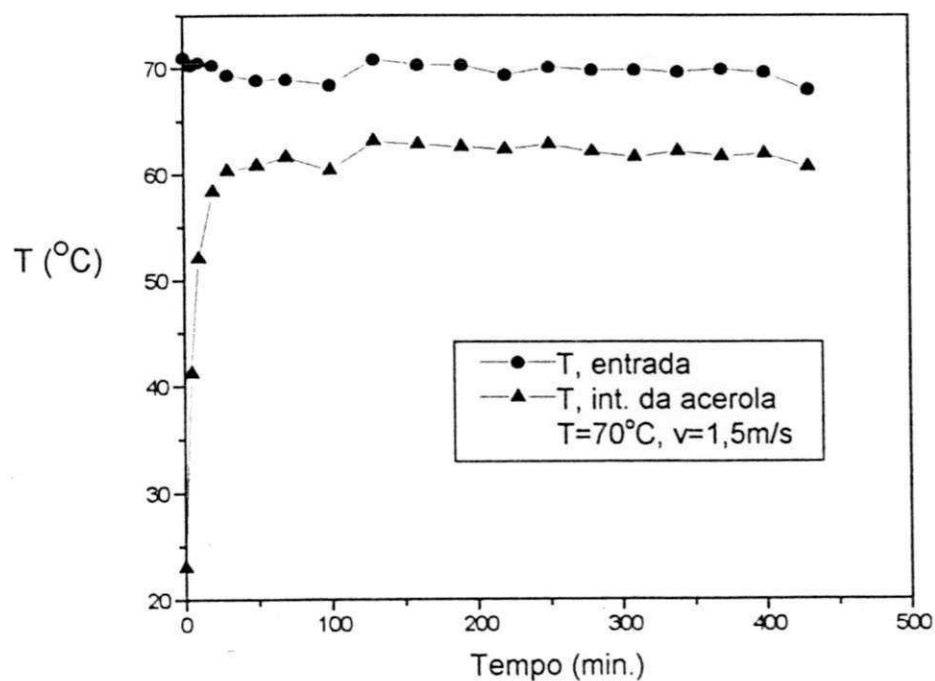


Figura 4.22 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (1%), t = 1,0 min.

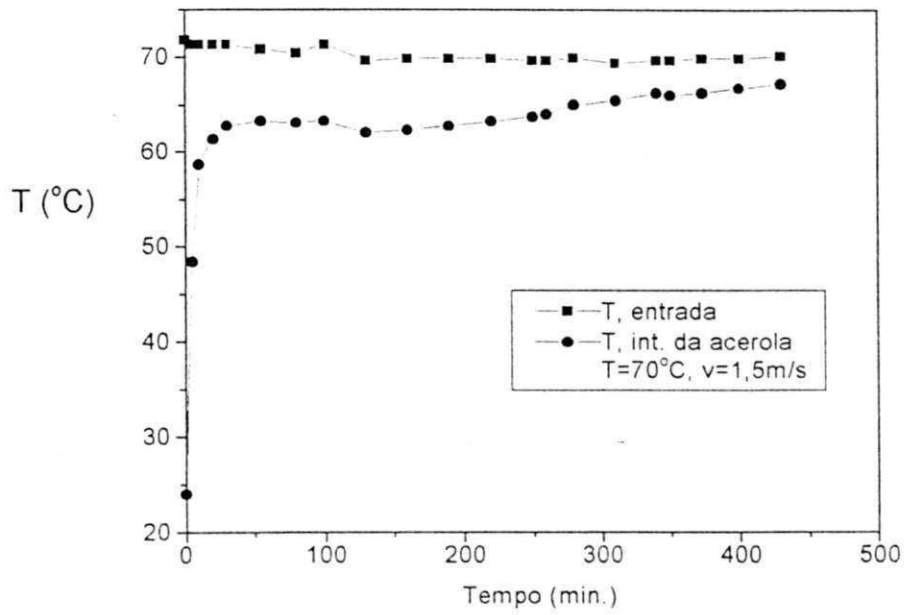


Figura 4.23 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (1%), $t = 5,0$ min.

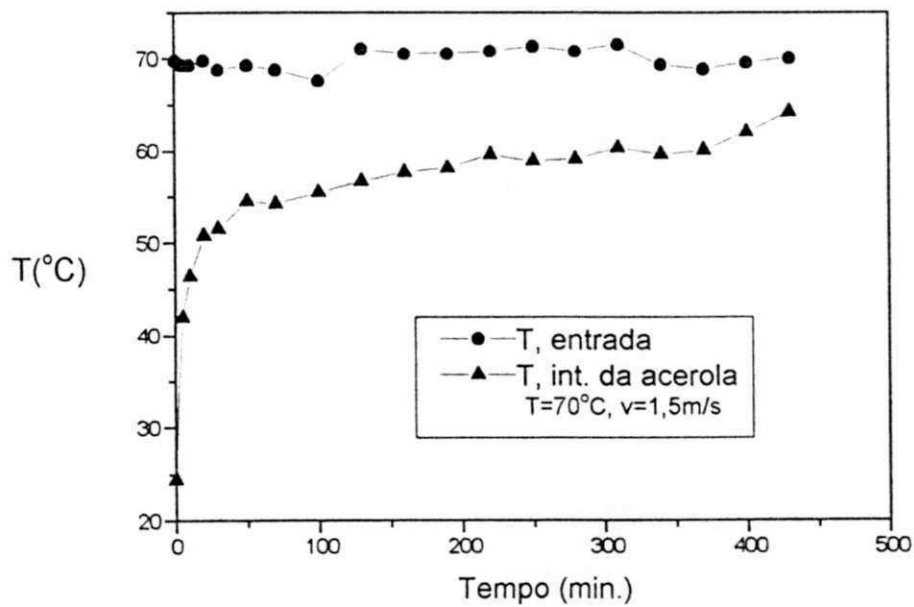


Figura 4.24 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (1%), $t = 10,0$ min.

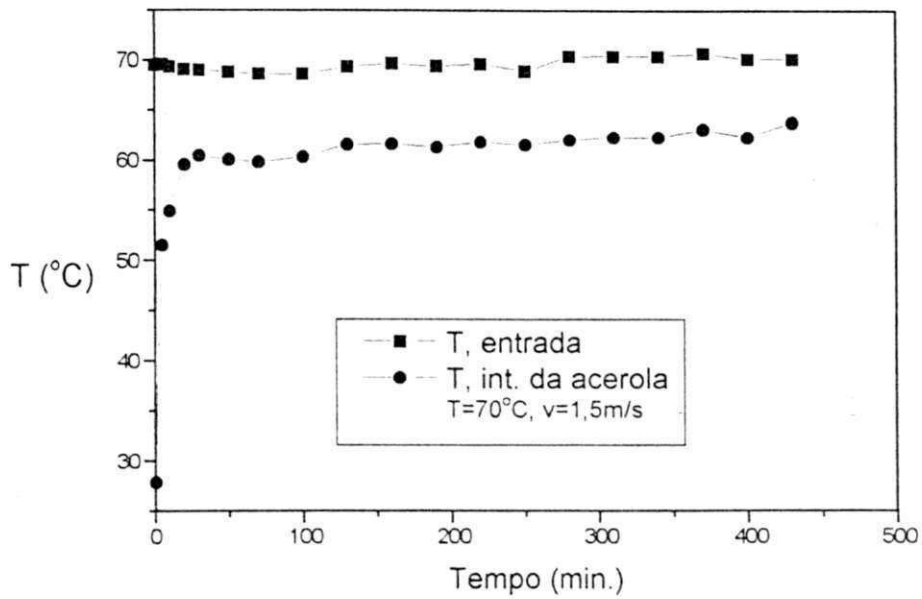


Figura 4.25 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (2%), $t = 1,0$ min.

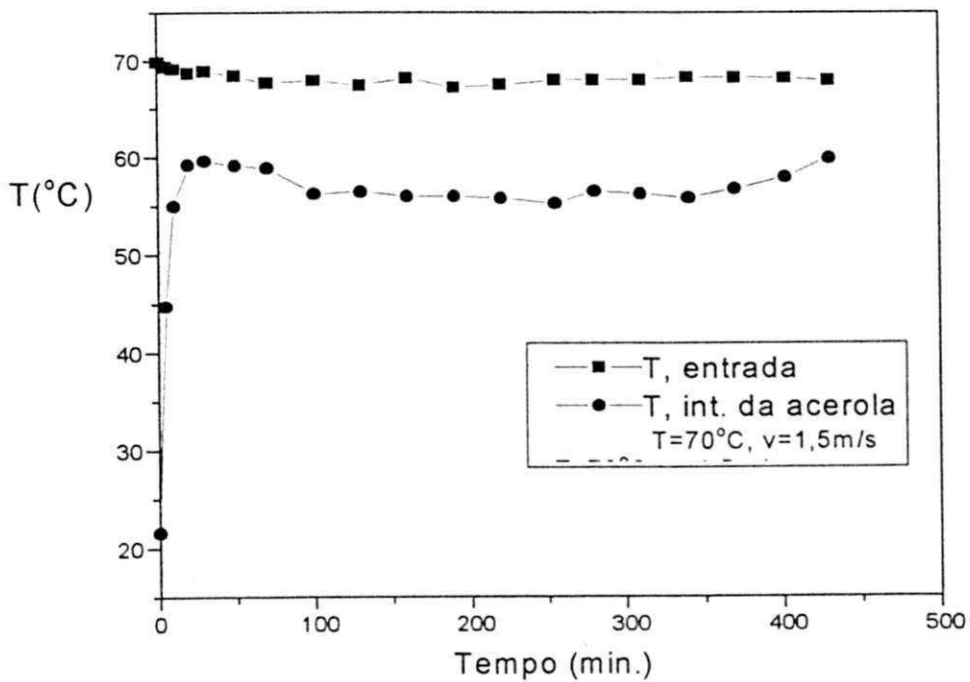


Figura 4.26 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (2%), $t = 5,0$ min.

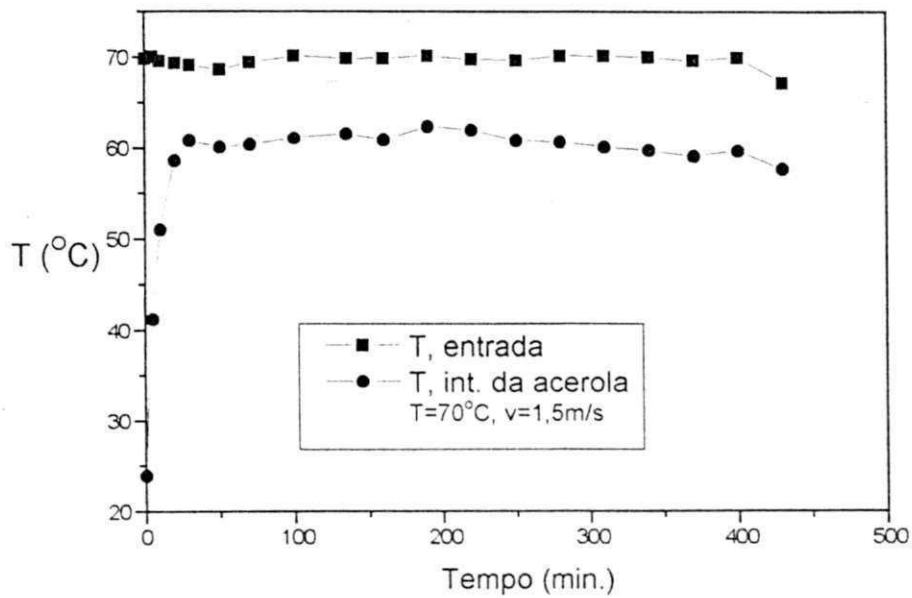


Figura 4.27 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (2%), $t = 10,0$ min.

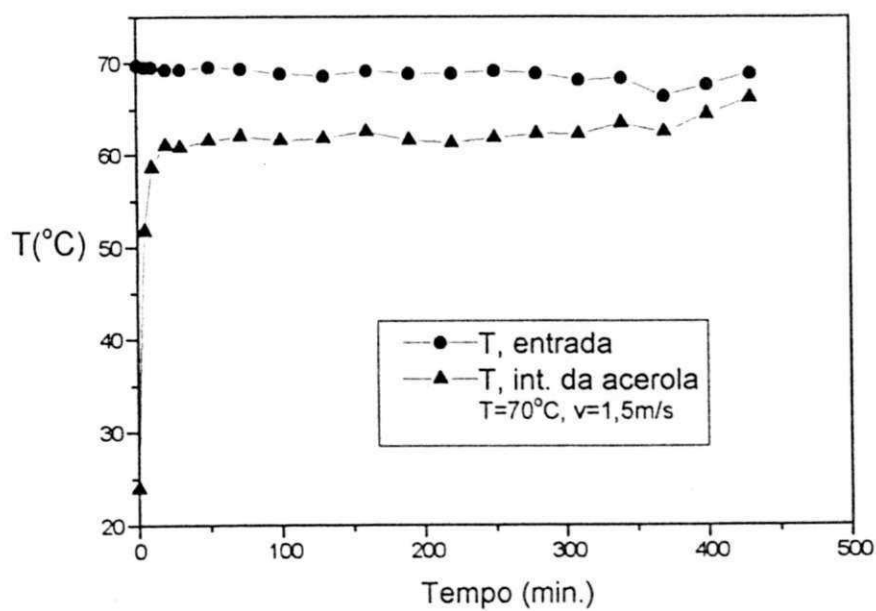


Figura 4.28 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento NaOH (3%), $t = 5$ min.

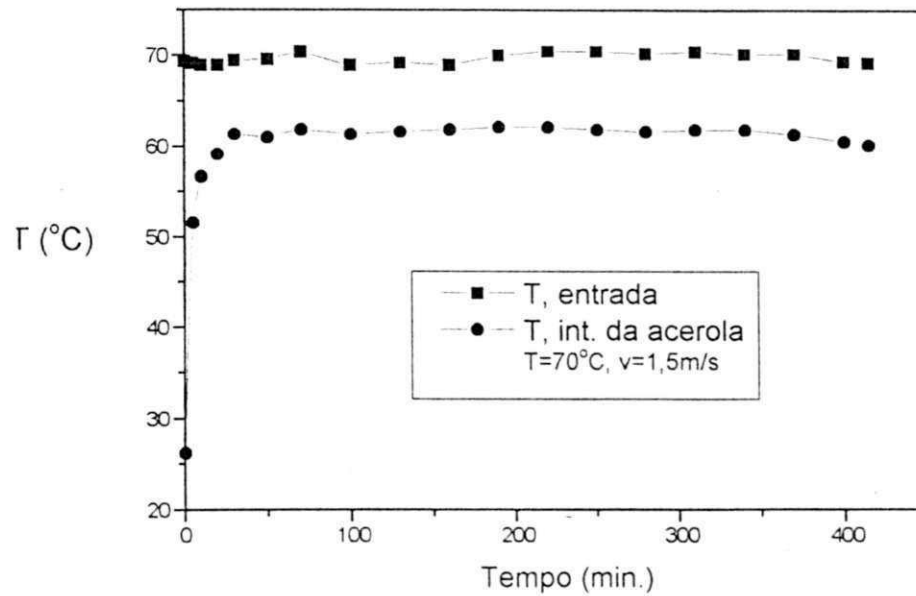


Figura 4.29 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento 94,78% água + 4,74 % K_2CO_3 + 0,48% azeite de oliva, tempo de imersão 3,0 min e Temperatura do imersão 35°C.

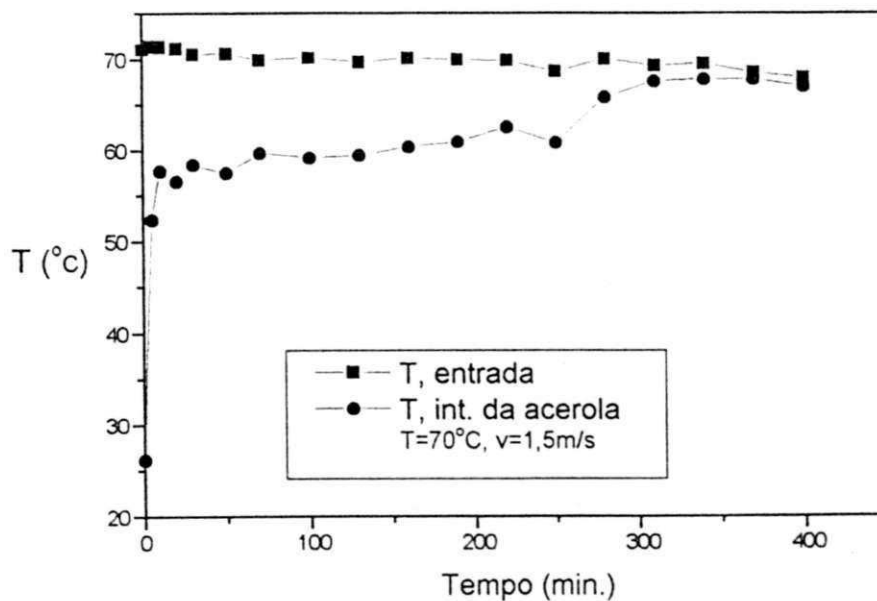


Figura 4.30 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento com 94,78% água + 4,74 % K_2CO_3 + 0,48% azeite de oliva, tempo de imersão 2,0 min e Temperatura do imersão 90°C.

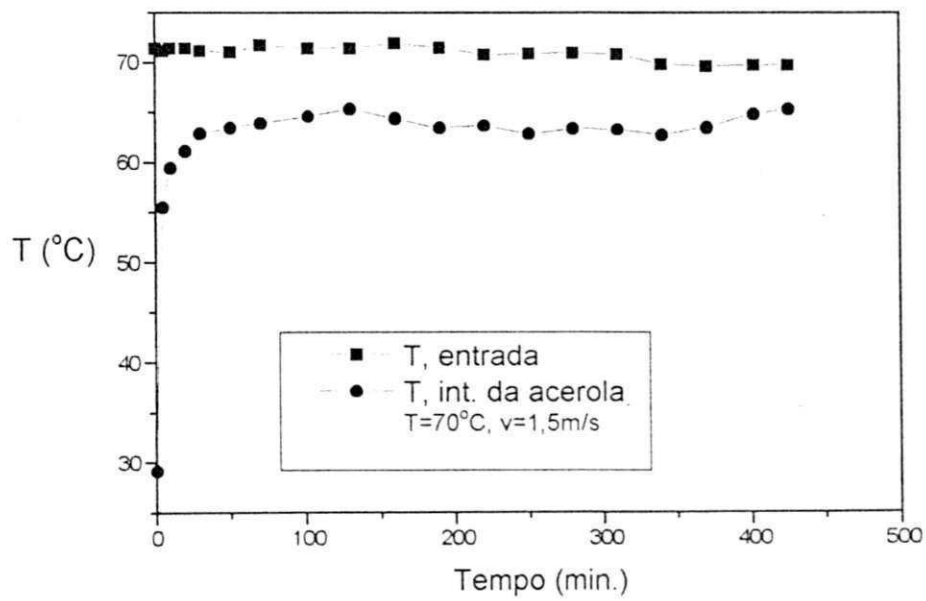


Figura 4.31 - Evolução da temperatura interna da acerola durante a secagem com o pré-tratamento com água destilada, tempo de imersão 2,0 min e Temperatura do imersão 93°C .

APÊNDICE C

(Fotografias da acerola obtida na secagem convectiva)

Fotografia da acerola obtidas durante a secagem convectiva para o pré-tratamento químico com NaOH (1%) com tempo de imersão de 5 min. à 25°C.

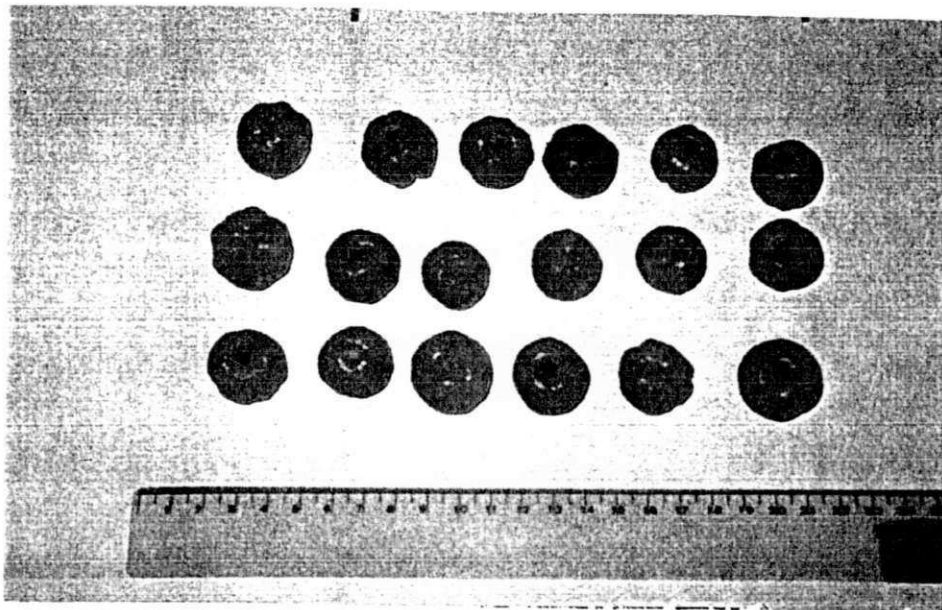


FIGURA C1 - Foto 1, no tempo inicial

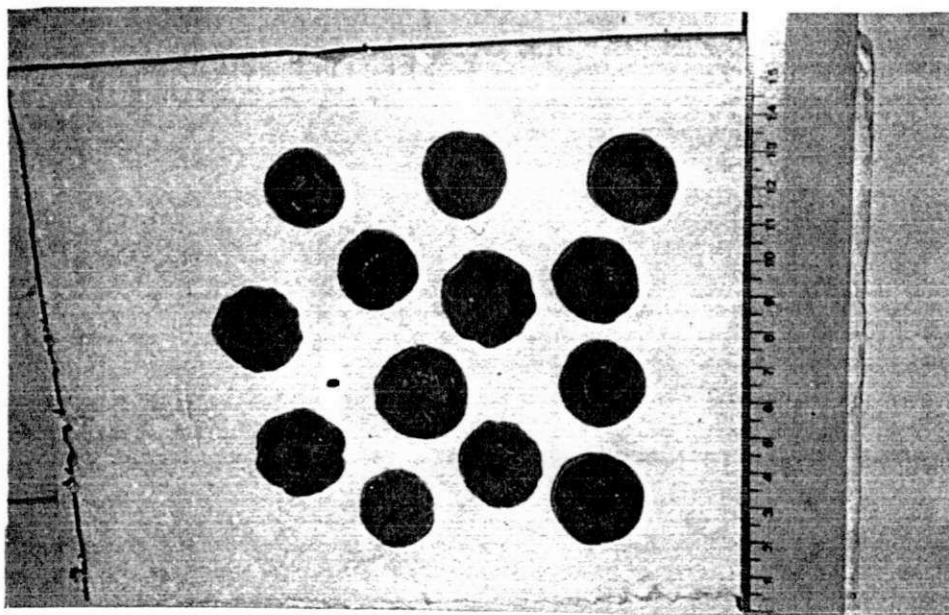


FIGURA C2 - Foto 2, no tempo de secagem de 55 min.

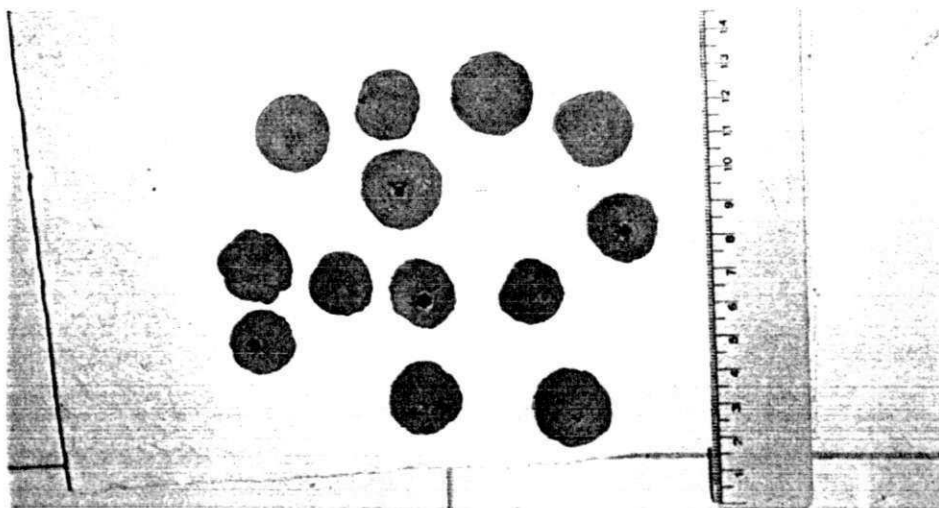


FIGURA C3 - Foto 3, no tempo de secagem de 260 min.

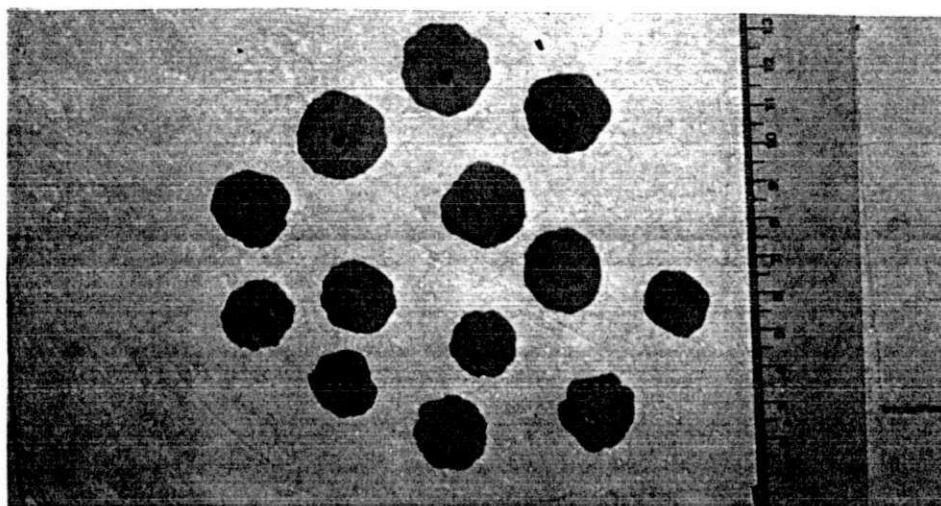


FIGURA C4 - Foto 4, no tempo de secagem de 350 min.

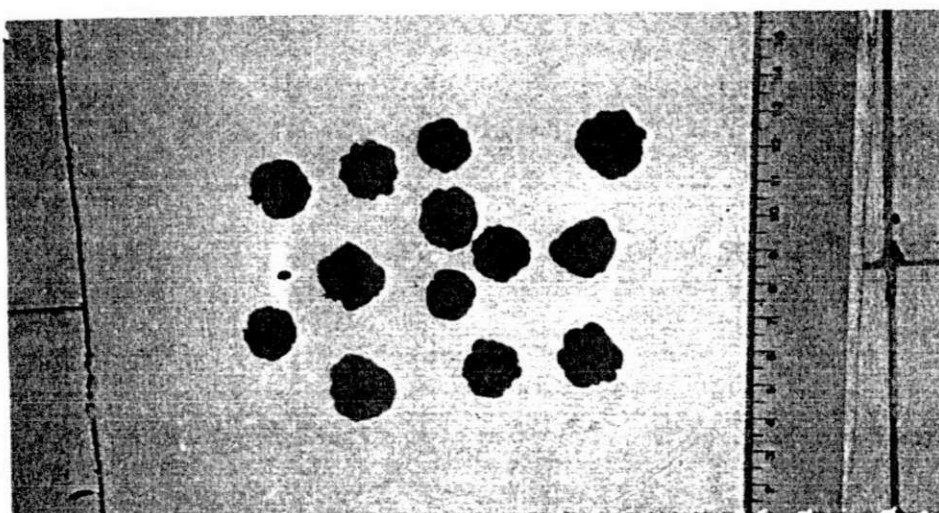


FIGURA C5 - Foto 5, no tempo final de secagem, após 24 hora

APÊNDICE D
(Programa para Cálculo dos dados psicrométricos)

```

C      PROGRAMA: PSYCHRO
C.....
C      CÁLCULOS DE DADOS PSICROMÉTRICOS NAS UNIDADES DO SISTEMA SI.
C
C      ESTE PROGRAMA CÁLCULA PARÂMETROS PSICROMÉTRICOS,
C      PARA AS COMBINAÇÕES DOS PARÂMETROS DE ENTRADA TEMPERATURAS
C      DE BULBO SECO E BULBO ÚMIDO, PONTO DE ORVALHO, UMIDADE
C      RELATIVA E RAZÃO DE UMIDADE.
C
C      ENTRE COM OS DADOS PEDIDOS.
C
C      AS EQUAÇÕES USADAS FORAM DE L.R. WILHELM, TRANS. ASAE,
C      VOL. 19, 318-325 (1976).
C
C      ESCRITO POR KEITH REINHARDT E MODIFICADO POR VERUSCKA
C      ARAÚJO SILVA
C.....
C      DOUBLE PRECISION P,R,T,TWB,W,DSAT,RH,PW,TDP,H,V
C      INTEGER DATA,AGAIN
C      DATA P,R/101.325D0,.28705D0/
C      OPEN(1,FILE='PSIC.SAI',STATUS='UNKNOWN')
C      WRITE(*,20)
20     FORMAT(' PROGRAM PSYCHRO',//,' COMPUTATION OF ',
2       ' PSYCHROMETRIC DATA IN SI UNITS.',/)
C      WRITE(*,21)
21     FORMAT(' THIS PROGRAM CALCULATES SELECTED PSYCHROMETRIC',
2       ' PARAMETERS FROM COMBINATIONS',/, ' OF THE INPUT ',
3       ' PARAMETERS WET AND DRY-BULB TEMPERATURES, DEW POINT,',
4       ' AND',/, 'RELATIVE HUMIDITY, RATIO HUMIDITY.',//,' ENTER THE DATA
5       AS ', 'REQUESTED.',/)
C.....
C      SELECT TYPE OF DATA TO BE ENTERED
C
C      WRITE(*,200)
200    FORMAT(' WHAT TYPE OF DATA DO YOU HAVE? TYPE THE CORRECT',
2       ' NUMBER AND PRESS ENTER.',/,6X,'1) DRY-BULB AND WET-BULB',
3       ' TEMPERATURES',/,6X,'2) DRY-BULB AND DEW POINT',
4       ' TEMPERATURES',/,6X,'3) DRY-BULB TEMPERATURE AND RELATIVE',
5       ' HUMIDITY',/,6X,'4) DRY-BULB TEMPERATURE AND HUMIDITY',
7       ' RATIO',/)
C      READ(*,*) DATA
C
C.....
C      CALL CORRECT SUBPROGRAM FOR TYPE OF DATA ENTERED
C
C      IF(DATA.EQ.1) CALL WETBLB(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
C      IF(DATA.EQ.2) CALL DEWPT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
C      IF(DATA.EQ.3) CALL HUMIDT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
C      IF(DATA.EQ.4) CALL RATIO(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
C
C.....
C      DATA OUTPUT
C
C      WRITE(*,205)
205    FORMAT(//)
C      WRITE(1,210)
210    FORMAT(' THE RESULTS ARE:')
C      WRITE(1,220) T,TWB,TDP,RH,H,W,DSAT,V,PW
220    FORMAT(6X,' DRY-BULB TEMPERATURE: ',F6.2,' DEGREES C',/,
2       6X,' WET-BULB TEMPERATURE: ',F6.2,' DEGREES C',/,
3       6X,' DEW POINT TEMPERATURE: ',F6.2,' DEGREES C',/,
4       6X,' RELATIVE HUMIDITY: ',F5.2,' PERCENT',/,
5       6X,' ENTHALPY: ',F7.2,' J/G',/,
6       6X,' HUMIDITY RATIO: ',E11.4,/,6X,' DEGREE OF SATURATION: ',
7       F9.4,/,6X,' SPECIFIC VOLUME: ',F6.3,' CU. M/KG',/,
8       6X,' VAPOR PARTIAL PRESSURE: ',F6.3,' KPA')
C      WRITE(1,205)
C      WRITE(*,230)
230    FORMAT(' DO YOU WANT TO RUN AGAIN? ENTER THE APPROPRIATE',
2       ' NUMBER. 1)YES 2)NO.',/)
C      READ(*,*) AGAIN
C      IF(AGAIN.EQ.1) GO TO 5
C      STOP

```



```

      END
C.....
C  SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB AND WET-BULB TEMPERATURES
C  ARE KNOWN.
C
C  SUBROUTINE WETBLB(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
      DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,TWBK,
      2  PWSWB,WSWB,PWS,WS,ALPHA
C.....
C  ENTER DRY-BULB AND WET-BULB TEMPERATURES
C
      WRITE(*,11)
      11  FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB AND WET-BULB TEMPERATURES',
      2  ' IN DEGREES C.',/)
      READ(*,*) T,TWB
C.....
C  PERFORM CALCULATIONS
C
      TK=T+273.16
      TWBK=TWB+273.16
      IF(TWBK.LE.273.16) CALL WVP1(TWBK,PWSWB)
      IF(TWBK.GT.273.16) CALL WVP2(TWBK,PWSWB)
      WSWB=.62198*PWSWB/(P-PWSWB)
      IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
      IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
      WS=.62198*PWS/(P-PWS)
      W=((2501-2.411*TWB)*WSWB-1.006*(T-TWB))/(2501+1.775*T
      2  -4.186*TWB)
      DSAT=W/WS
      PW=P*W/(.62198+W)
      RH=PW/PWS*100.
      ALPHA=DLOG(PW)
      IF(T.LE.0) TDP=5.994+12.41*ALPHA+.4273*ALPHA**2
      IF(T.GT.0.AND.T.LE.50) TDP=6.983+14.38*ALPHA+1.079*ALPHA**2
      IF(T.GT.50) TDP=13.8+9.478*ALPHA+1.991*ALPHA**2
      H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
      V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
      RETURN
      END
C.....
C  SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB AND DEW POINT TEMPERATURES
C  ARE KNOWN.
C
C  SUBROUTINE DEWPT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
      DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,TDPK,
      2  PWS,WS
C.....
C  ENTER DRY-BULB AND DEW POINT TEMPERATURES
C
      WRITE(*,1)
      1  FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB AND DEW POINT TEMPERATURES',
      2  ' IN DEGREES C.',/)
      READ(*,*) T,TDP
C.....
C  PERFORM CALCULATIONS
C
      TK=T+273.16
      TDPK=TDP+273.16
      IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
      IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
      WS=.62198*PWS/(P-PWS)
      IF(TDPK.LE.273.16) CALL WVP1(TDPK,PW)
      IF(TDPK.GT.273.16) CALL WVP2(TDPK,PW)
      W=.62198*PW/(P-PW)
      DSAT=W/WS
      RH=PW/PWS*100.
      H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
      V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
C.....
C  CALL SUBROUTINE TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
      CALL WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)

```

RETURN
END

90

```
C .....
C SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB TEMPERATURE AND RELATIVE
C HUMIDITY ARE KNOWN
C
C SUBROUTINE HUMIDT(P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB)
C DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W,DSAT,V,PW,TDP,T,TWB,TK,PWS,WS,
2 ALPHA
C
C .....
C ENTER DRY-BULB TEMPERATURE AND RELATIVE HUMIDITY
C
C WRITE(*,5)
5 FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB TEMPERATURE IN DEGREES C',
2 ' AND THE RELATIVE HUMIDITY',/, ' IN PERCENT.',/)
C READ(*,*) T,RH
C
C .....
C PERFORM CALCULATIONS
C
C TK=T+273.16
C RH=RH/100.
C IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
C IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
C WS=.62198*PWS/(P-PWS)
C PW=PWS*RH
C W=.62198*PW/(P-PW)
C DSAT=W/WS
C H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
C V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
C ALPHA=DLOG(PW)
C IF(T.LE.0) TDP=5.994+12.41*ALPHA+.4273*ALPHA**2
C IF(T.GT.0.AND.T.LE.50) TDP=6.983+14.38*ALPHA+1.079*ALPHA**2
C IF(T.GT.50) TDP=13.8+9.478*ALPHA+1.991*ALPHA**2
C
C
C
C .....
C CALL SUBROUTINE TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
C CALL WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)
C RH=RH*100.
C RETURN
C END
C
C .....
C SUBROUTINE CALLED TO FIND Pws WHEN TEMPERATURE IS LESS THEN
C 273.16 K
C
C SUBROUTINE WVP1(TT,PWS)
C DOUBLE PRECISION TT,PWS
C PWS=DEXP(24.2779-6238.64/TT-.344438*DLOG(TT))
C RETURN
C END
C
C .....
C SUBROUTINE CALLED TO FIND Pws WHEN TEMPERATURE IS GREATER
C THEN 273.16 K
C
C SUBROUTINE WVP2(TT,PWS)
C DOUBLE PRECISION TT,PWS
C PWS=DEXP(-7511.52/TT+89.63121+.02399897*TT-1.1654551D-5*TT**
2 2-1.2810336D-8*TT**3+2.0998405D-11*TT**4-12.150799*DLOG(TT))
C RETURN
C END
C
C .....
C SUBROUTINE CALLED TO FIND WET-BULB TEMPERATURE USING THE
C SECANT METHOD
C
C SUBROUTINE WETTEMP(T,TDP,TWB,W,P)
C DOUBLE PRECISION X0,X1,TWB,W,P,PWSWB,WSWB,F0,DELTA,T,XOK,
2 X1K,F1,DELTA,TDP
C X0=T
C X1=TDP
C XOK=X0+273.16
C IF(XOK.LE.273.16) CALL WVP1(XOK,PWSWB)
C IF(XOK.GT.273.16) CALL WVP2(XOK,PWSWB)
C WSWB=.62198*PWSWB/(P-PWSWB)
C F0=W-(((2501.-2.411*X0)*WSWB-1.006*(T-X0))/(2501.+1.775*T
```

```

2 -4.186*X0))
  DELTAX=X1-X0

```

```

C
C .....
C DO UP TO 100 ITERATIONS TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
  DO 20 N=1,100
  X1K=X1+273.16
  IF(X1K.LE.273.16) CALL WVP1(X1K,PWSWB)
  IF(X1K.GT.273.16) CALL WVP2(X1K,PWSWB)
  WSWB=.62198*PWSWB/(P-PWSWB)
  F1=W-(((2501.-2.411*X1)*WSWB-1.006*(T-X1))/(2501.+1.775*T
2 -4.186*X1))
  IF(DABS(F1).LE.1.D-6) GO TO 30
  DELTAF=F0-F1
  IF(DELTA.FEQ.0.) GO TO 40
  DELTAX=F1/DELTA.F*DELTAX
  X0=X1
  X1=X1+DELTAX
  IF(DABS(DELTAX).LE.1.D-6) GO TO 30
20 F0=F1
  GO TO 40
30 TWB=X1
  RETURN

```

```

C
C .....
C WET-BULB TEMPERATURE IS NOT FOUND
C
40 WRITE(*,50)
50 FORMAT(/,' NO VALUE FOR THE WET-BULB TEMPERATURE CAN BE ',
2 ' FOUND. ')
  RETURN
  END

```

```

C SUBROUTINE CALLED WHEN DRY-BULB AND HUMIDITY RATIO ARE KNOW.
C
  SUBROUTINE RATIO(P,R ,RH, H,W, DSAT,V,PW, TDP, T, TWB)
  DOUBLE PRECISION P,R,RH,H,W, DSAT,V,PW, TDP, T, TWB,TK, PWS,WS,
2 ALPHA

```

```

C
C .....
C ENTER DRY-BULB TEMPERATURE AND HUMIDITY RATIO
C
  WRITE(*,10)
10 FORMAT(/,' ENTER THE DRY-BULB TEMPERATURE IN DEGREES C',
2 ' AND THE HUMIDITY RATIO',/)
  READ(*,*) T,W

```

```

C
C .....
C PERFORM CALCULATIONS
C
  TK=T+273.16
  IF(TK.LE.273.16) CALL WVP1(TK,PWS)
  IF(TK.GT.273.16) CALL WVP2(TK,PWS)
  WS=.62198*PWS/(P-PWS)
  PW=P*W/(.62198+W)
  DSAT=W/WS
  RH=PW/PWS*100.
  H=1.006*T+W*(2501+1.775*T)
  V=R*TK/P*(1.+1.6078*W)
  ALPHA=DLOG(PW)
  IF(T.LE.0) TDP=5.994+12.41*ALPHA+.4273*ALPHA**2
  IF(T.GT.0.AND.T.LE.50) TDP=6.983+14.38*ALPHA+1.079*ALPHA**2
  IF(T.GT.50) TDP=13.8+9.478*ALPHA+1.991*ALPHA**2

```

```

C
C .....
C CALL SUBROUTINE TO FIND WET-BULB TEMPERATURE
C
  CALL WETTEMP(T, TDP, TWB, W, P)
  RETURN

```

