

Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO
DA TEMPERATURA DE BANANAS
DURANTE O PROCESSO DE SECAGEM**

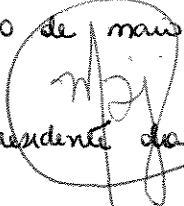
POR

Victor Haber Pérez

Paracer

Este exemplar corresponde a re-
dactat final da dissertação de Mes-
trado defendida por Victor Haber
Pérez e aprovada pela Comissão
Julgadora em 09 de abril de 1998.
Campinas, 20 de maio de 1998.

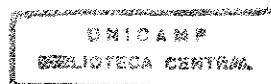
Dissertação de Mestrado, sob orientação da
Profa. Dra. Marlene Rita de Queiroz e a co-
orientação do Prof. Dr. João F. da Costa
Azevedo Meyer.

* 
Presidente da Banca

Abril de 1998

Campinas - SP

984984



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	1112C
V.	
TOMBO B.	34.495
PROC.	395/98
	☐ ☐ ☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	21/07/98
N.º CPD	

CM-00113115-B

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

H112e Haber Pérez, Victor
Estudo do comportamento da temperatura de bananas durante o processo de secagem. / Victor Haber Pérez.-- Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Orientadores: Marlene Rita de Queiroz, João F. da Costa Azevedo Meyer

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

1. Banana - Secagem. 2. Banana - Temperatura. 3. Difusividade térmica. I. Queiroz, Marlene Rita de. II. Meyer, João F. da Costa Azevedo. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. IV. Título.

· AGRADECIMENTOS

A culminação deste trabalho esta indissolúvelmente ligada ao carinho, apoio e ajuda de muitas pessoas, das quais estarei eternamente agradecido. Quero agradecer:

A mi madresita y a mi hijito queridos, que han tenido que soportar mi ausencia durante estos dos largos años. A mi padre, mis hermanos, a mi familia que siempre me apoyó y estimuló en los momentos difíciles.

A meu amigo o Prof. Electo Silva Lora, que me estimulou e ajudou para vir ao Brasil a estudar. Muito obrigado.

A minha querida professora e amiga, Profa. Dra. Marlene Rita de Queiroz, pela orientação científica durante estes anos e pelo respeito a minha personalidade. Levarei sempre você no centro do meu coração. Muito Obrigado.

A mi bella y querida esposa por compartir conmigo las cosas buenas y malas de la vida, por estar siempre a mi lado y por haberme dado de presente esa linda hijita que hoy llena de mucha más alegría nuestro hogar. Te amo, gracias. A mi querida hijita.

A meu grande amigo e professor Dr. João F. C. A. Meyer (Joni), por toda a ajuda incondicionalmente oferecida. Muchas gracias de corazón, hoy ya eres parte de mi vida.

À Prof. Dra. Silvia A. Nebra de Pérez pela ajuda prestada em todo momento. Obrigado.

A Tintor Velibor pela ajuda dedicada durante a preparação dos programas computacionais. Thanks!

Aos grandes amigos da turma especialmente Bê por toda a ajuda desde o começo, Carlão, Quincas, Neri, Rogerio, Elena, Maria, Sarita.

A Ana Paula (aninha) pela amizade e grande ajuda em todo momento e a Martha também por toda a ajuda prestada.

A Lino por la ayuda en los momentos difíciles, gracias amigo.

A todos meus professores e colegas.

E especialmente quero agradecer à FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa. Muito obrigado.

Em fim a todos os que me acompanharam e foram parte deste processo. Obrigado

Ao Brasil e a meu povo, a CUBA.

SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>i</i>
<i>NOMENCLATURA</i>	<i>iii</i>
<i>RESUMO</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>v</i>
<i>I. INTRODUÇÃO</i>	<i>1</i>
<i>II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	<i>3</i>
2.1 Transferência simultânea de calor e massa durante o processo de secagem	4
2.2 Coeficientes de transferência e algumas propriedades termofísicas de interesse	14
2.3 Fenômeno de encolhimento associado ao processo de secagem	17
2.4 Resumo do estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas realizado por QUEIROZ (1994)	21
2.5 Conclusões da pesquisa bibliográfica	24
<i>III. MATERIAIS E MÉTODOS</i>	<i>26</i>
3.1 Parte experimental	26
3.2 Análise teórica	27
<i>IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO</i>	<i>34</i>
4.1 Curvas teóricas de temperatura	34
4.2 Perfis de temperatura no interior do produto	39
4.3 Coeficiente de difusividade térmica	41
4.4 Curvas de evolução da temperatura do produto	46
4.5 Curvas cinéticas obtidas com o modelo logarítmico	49
<i>V. CONCLUSÕES</i>	<i>54</i>
<i>VI. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</i>	<i>55</i>
<i>VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>56</i>
<i>APÊNDICE A</i>	
<i>APÊNDICE B</i>	
<i>APÊNDICE C</i>	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema global do sistema experimental. _____	22
Figura 2. Câmara de secagem e plenum. _____	22
Figura 3. Instalação experimental usada para estudar a secagem de bananas. _____	27
Figura 4. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro infinito e difusividade térmica constante ($1.429 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) $T_{bs}=29.9$ e $UR=35.7\%$. _____	34
Figura 5. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=29.9$ e $UR=35.7\%$). _____	36
Figura 6. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=39.9$ e $UR=19.3\%$). _____	36
Figura 7. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=49.9$ e $UR=19.2\%$). _____	37
Figura 8. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=60.2$ e $UR=19.9\%$). _____	37
Figura 9. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=60.5$ e $UR=10.7\%$). _____	38
Figura 10. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=60.4$ e $UR=7.3\%$). _____	38
Figura 11. Curva de distribuição da temperatura no raio da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=29.9^\circ\text{C}$ e $UR=35.7\%$). _____	40
Figura 12. Curva de distribuição da temperatura no raio da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=49.9^\circ\text{C}$ e $UR=19.2\%$). _____	40
Figura 13. Curva de distribuição da temperatura no raio da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=68.4^\circ\text{C}$ e $UR=7,30\%$). _____	41
Figura 14. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=29.9^\circ\text{C}$ e $UR=35.7\%$. _____	43
Figura 15. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=39.9^\circ\text{C}$ e $UR=19.3\%$. _____	43
Figura 16. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=49.9^\circ\text{C}$ e $UR=19.2\%$. _____	44
Figura 17. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=60.2^\circ\text{C}$ e $UR=19.9\%$. _____	44
Figura 18. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=60.5^\circ\text{C}$ e $UR=10.7\%$. _____	45

Figura 19. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=68.4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7.3\%$.	45
Figura 20. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=29.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35.7\%$.	46
Figura 21. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=39.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.3\%$.	47
Figura 22. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=49.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.2\%$.	47
Figura 23. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=60.2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.9\%$.	48
Figura 24. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=60.5^{\circ}\text{C}$ e $UR=10.3\%$.	48
Figura 25. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=68.4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7.3\%$.	49
Figura 26. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=29.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35.7\%$.	50
Figura 28. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=49.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.2\%$.	51
Figura 29. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=60.2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.9\%$.	52
Figura 30. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=60.5^{\circ}\text{C}$ e $UR=10.7\%$.	52
Figura 31 Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=68.4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7.3\%$.	53

NOMENCLATURA

Cp: calor específico, KJ/Kg °C
Fo: número adimensional de Fourier
Lo: longitude do cilindro, m
M_o: umidade inicial do sólido, b.s
M_f: umidade final do sólido, b.s
M_c: umidade equilíbrio do sólido, b.s
N: número de subdivisões no raio
n: instante de tempo
r^{*}: raio adimensional
R_o: raio inicial da banana, m
t: tempo de secagem, h
t^{*}: tempo adimensional
T: temperatura do sólido, °C
T^{*}: temperatura adimensional
T_{bs}: temperatura de bulbo seco, °C
T_{bu}: temperatura de bulbo úmido, °C
v_{ar}: velocidade do ar de secagem, m/s
UR: umidade relativa, %
 $z^* = z/Z_o$
 $Z_o = L_o/2$

Símbolos gregos

α : coeficiente de difusividade térmica, m²/h
 ρ : densidade do sólido, Kg/m³

RESUMO

Este trabalho aborda basicamente o estudo teórico do fenômeno de transferência de calor por difusão durante o processo de secagem de banana (*Musa acuminata*) sub grupo Cavendish Cultivar Nanicao, para diferentes condições de secagem.

Foram desenvolvidos dois modelos matemáticos com base na equação de transferência de calor por condução: um para cilindro infinito com difusividade térmica constante e outro para cilindro finito com difusividade térmica variável.

Os resultados obtidos demonstraram que a mudança da geometria da fruta na equação de difusão, assim como do coeficiente de difusividade térmica, permitiram uma boa aproximação entre as temperaturas experimentais e as calculadas no centro da banana, particularmente para geometria cilíndrica finita.

Também foram estudados os perfis de temperatura no interior do produto, sendo que os resultados das variações da temperatura no centro da fruta com o raio e o tempo de secagem puderam ser analisados individualmente e através de gráficos de superfície.

Finalmente foi obtido um outro modelo, desta vez uma equação empírica de natureza logarítmica, o qual apesar da sua simplicidade mostrou-se também adequado para descrever o comportamento da temperatura do produto durante a secagem.

ABSTRACT

In this work the phenomenon of heat transfer during the drying of banana fruit (*Musa acuminata*) sub-group Cavendish variety was studied for different air drying conditions.

Two mathematical models were developed based on the conduction heat transfer equation. The first one considered an infinite cylinder geometry and constant thermal diffusivity. The second model was built for a finite cylinder geometry and considered variable thermal diffusivity.

The results have shown that changes in the fruit geometry and in the thermal diffusivity coefficient included in the diffusional model provide a good agreement between experimental and calculated temperatures inside the banana, particularly for the finite cylindrical geometry.

The temperature profile inside the banana was also studied. Changes in temperature according to the distance from the center of the cylinder and the drying time were also analyzed by the response surface graphs'.

Finally, a third model was proposed based on an empirical logarithmic equation. In spite of its simplicity, this equation was adequate to describe the temperature profile inside the banana during drying.

I. INTRODUÇÃO

A secagem constitui uma das formas mais econômicas de conservação dos produtos agrícolas. No caso particular das frutas, atualmente uma grande quantidade delas tem sido testadas experimentalmente para o consumo na forma seca. Assim, a produção de passas a partir de frutas tropicais constitui uma alternativa importante para diminuir as perdas durante as épocas de produção sazonal.

Neste sentido, ao analisar fundamentalmente as propriedades nutricionais da banana seca em termos energéticos e levando em consideração que o Brasil é o segundo maior produtor mundial deste produto com uma produção amplamente distribuída em todo o país (QUEIROZ, 1994), a banana deve merecer uma atenção especial.

TRAVAGLINI (apud. QUEIROZ, 1994) afirmou que, em geral, a banana passa é produzida sem padrões definidos de qualidade quanto à coloração, textura, sabor e aroma, devido geralmente à falta de controle das condições de secagem. Este fato demonstra a necessidade de desenvolver pesquisas com o propósito de definir parâmetros de operação adequados e assim estabelecer tecnologias adequadas para garantir a obtenção de passas com elevada qualidade e eficiência.

Diversos trabalhos abordam a obtenção de passas a partir da banana através da modelagem da cinética do processo considerando o fenômeno de transporte de massa no interior da fruta. Mas até agora não foram encontradas referências que abordassem o comportamento da temperatura do produto, através do fenômeno de transferência de calor durante a secagem da banana.

Neste contexto, QUEIROZ (1994) fez uma análise detalhada de alguns destes trabalhos. Assim por exemplo, temos os trabalhos de: HAENDLER (1966) onde são indicados alguns parâmetros de secagem de banana, tais como, temperatura e velocidade do ar; ANDRADE et al. (1980), os quais estudaram a influência de diversas fases de amadurecimento de desidratação de banana prata; MOWLAH et al. (1983) que utilizaram uma equação de difusão para estudar o fenômeno de transporte de umidade e determinar o tempo de secagem em experimentos

com cubos de banana; NOGUEIRA (1991), que estudou a secagem de bananas usando uma equação de difusão considerando o coeficiente de difusão constante e um modelo empírico.

Tendo em consideração a importância que tem o estudo do comportamento da temperatura do produto durante a secagem, este trabalho tem a finalidade de complementar os estudos de secagem de bananas realizados por QUEIROZ (1994) através de um estudo teórico para analisar o comportamento da temperatura deste produto, quando submetido ao processo de secagem durante o tempo total de operação.

Conforme mencionado anteriormente, é importante ressaltar que não foram encontradas, até o momento, referências bibliográficas que abordassem o estudo do comportamento da temperatura da banana, particularmente durante a secagem. Por esta razão foi necessário consultar diversos trabalhos relacionados com a temática de interesse embora referentes a outras frutas e a vegetais, uma vez que os tratamentos teóricos e experimentais desenvolvidos em estudos de secagem de vegetais podem geralmente ser aplicados a frutas, pois estes dois produtos apresentam comportamentos semelhantes quando submetidos ao processo de secagem, fundamentalmente com relação ao elevado teor de umidade inicial e à ocorrência do fenômeno de encolhimento.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

É conhecido que durante a secagem de produtos agrícolas, principalmente nos processos que utilizam ar aquecido forçado, a elevação da temperatura do produto na presença de alto teor de umidade pode acarretar a aceleração de reações químicas e bioquímicas, levando à redução das suas qualidades organolépticas e nutritivas.

Nesse sentido, SALUNKE et al. (1991) reportaram os efeitos da secagem sobre as perdas nutricionais de alimentos, afirmando que o tempo, a temperatura e a disponibilidade de oxigênio representam fatores críticos com relação à perda de vitamina. Assim, a Tiamina, por exemplo, pode ser destruída pelo calor. YAPAR, HELVACI e PEKER (1990), ao selecionarem a faixa de temperatura para secagem de cogumelos, reportaram experiências de outros autores com relação à influência da temperatura sobre a desnaturação da enzima polifenol oxidase, responsável pela deterioração rápida do produto. Discutiram também a influência da temperatura sobre a ocorrência de escurecimento do produto devido às reações Maillard e sobre o fenômeno de caramelização.

Outro aspecto importante no estudo do comportamento da temperatura do produto durante o processo de secagem é a possibilidade de esclarecer e aprimorar os modelos matemáticos desenvolvidos para explicar o fenômeno. Neste sentido, WHITAKER et al. (apud. HAGHIGHI et al., 1990) afirmaram que somente a equação de difusão de umidade não é suficiente para descrever o processo de secagem porque as alterações do teor de umidade de um sólido causam mudanças na condução de calor no interior do mesmo e conseqüentemente afetam a capacidade do sólido em absorver ou perder água. Também IGBEKA et al. (1982) basearam suas afirmações sobre a validade do modelo utilizado para descrever a migração de umidade na secagem de mandioca em estudos do comportamento da temperatura da superfície do produto, a qual apresentou aumento contínuo, aproximando-se da temperatura de bulbo seco do ar no final do processo. Este fato permitiu-lhes deduzir que não se evidenciou um período de secagem constante e, conseqüentemente, o mecanismo controlador foi o movimento interno de umidade desde o início do processo.

2.1 Transferência simultânea de calor e massa durante o processo de secagem

A difusão líquida como o único mecanismo de movimento de umidade tem sido submetida a severas críticas, principalmente porque ao se utilizar esta teoria admite-se, implicitamente, a hipótese de difusão isotérmica, ou seja, desprezam-se os gradientes de temperatura no interior do sólido. Esta ponderação foi feita por FORTES e OKOS (1980) num estudo revisional das diversas teorias de secagem, onde apresentam, inclusive, as formas mais modernas de se tratar a transferência simultânea de calor e umidade nos chamados corpos capilares-porosos. Fundamentada em princípios da termodinâmica dos processos irreversíveis, a teoria de LUIKOV (apud. FORTES e OKOS, 1980), considera o fenômeno da difusão térmica de umidade nos processos de transferência de calor e massa no interior de corpos capilares-porosos. A teoria de PHILIP e DE VRIES (1957), também citados por FORTES e OKOS (1980), denominada "abordagem mecanística", admite que o movimento de umidade ocorre por difusão de vapor e do líquido por capilaridade.

Utilizando um modelo misto, baseado em conceitos da termodinâmica dos processos irreversíveis e na abordagem mecanística, FORTES (1982) propôs uma nova teoria para o estudo dos processos de secagem, incorporando as isothermas de adsorção nas equações de conservação de massa e energia e considerando o gradiente de umidade de equilíbrio como força motriz para a migração de água sob condições isotérmicas.

No entanto, na maioria das vezes, o tratamento utilizado para se considerar o fenômeno acoplado da transferência de calor e massa em processos de secagem de grãos admite difusão líquida interna e evaporação somente na superfície do sólido, onde se evidencia o acoplamento (BALABAN, 1989; HAGHIGHI et al., 1990; PARTI e DUGMANICS, 1990), ou ainda, partindo-se do modelo de LUIKOV (1961), e desprezando-se os termos de difusão térmica, o que leva a um sistema de equações diferenciais parciais, cujo acoplamento aparece somente no equacionamento a transferência de calor (HUSAIN et al., 1973).

No caso específico dos produtos com alto teor de umidade inicial, ocorre a mesma situação, de forma geral, sendo as abordagens dos processos simultâneos de transferência de calor e massa feitas através de equacionamentos bastante simplificados (MULET et al., 1989; SERENO e MEDEIROS, 1990; YAPAR et al., 1990; MAROULIS et al., 1991).

A incorporação do estudo de transferência de calor aos modelos de secagem se constitui, portanto, numa possibilidade de se avaliar com maior clareza os mecanismos responsáveis pela migração de umidade no interior dos sólidos. A seguir apresentam-se, de forma resumida, as experiências de alguns autores, particularmente dirigidas ao estudo da temperatura de produtos submetidos à secagem. Estes resultados poderão ser utilizados para nortear as linhas teóricas e experimentais do trabalho.

LAMBERG (1989) num estudo de secagem rápida de batata (tempo de secagem 15 minutos) construiu um gráfico com os valores experimentais de temperatura versus tempo, ressaltando as seguintes observações: 1) há uma tendência da temperatura do produto para o valor da temperatura de bulbo úmido, mesmo no caso em que esta é menor que a temperatura inicial do produto; 2) depois de um período de 200 segundos, parece que toda a secagem procede num período de taxa constante. O período de taxa decrescente não foi atingido, no tempo estudado.

HUSAIN et al. (1973) mediram experimentalmente a temperatura no centro de grãos de arroz em casca durante a secagem, utilizando estes dados primeiramente para comparar modelos de difusão de umidade térmica e isotérmica derivados da teoria de LUIKOV (1961), citado neste mesmo artigo. Esta primeira investigação demonstrou que as duas soluções resultaram bastante próximas, sugerindo que o termo de difusão térmica poderia ser desprezado. Atribuíram este fato mais à pequena magnitude do coeficiente termogradiante do que à inexistência de gradientes térmicos. Assim, considerando que a solução da equação de temperatura seria importante para modelos de simulação de secagem em camada fixa, seguiram desenvolvendo este tratamento, para o qual apresentaram as curvas resultantes da temperatura no centro do grão em função do tempo e a

curva da solução numérica junto com os pontos experimentais. Obtiveram uma boa concordância neste último caso.

RATTANAPANT et al. (1988) desenvolveram um modelo de simulação para secagem de ameixa, baseado nas equações de balanços de massa e energia e nas cinéticas experimentais. Com relação à temperatura do produto, observaram que o modelo desenvolvido descreveu melhor a temperatura na superfície do que a do centro do produto, sendo que esta última ficou subestimada nos tempos iniciais do processo. Para os tempos finais, os resultados estimados pelo modelo se equipararam aos valores de temperatura do ar, enquanto que os dados experimentais correspondentes ficaram bem abaixo destes. Estas discrepâncias foram atribuídas a dificuldades experimentais de localização do centro devido à presença do caroço da fruta.

GENTRY et al. (1965) investigaram a secagem de ameixa em carrinhos movimentados no interior de túneis secadores operados em contracorrente e em fluxo paralelo. Mediram a temperatura da polpa das frutas, adjacente ao caroço, inserindo termopares nestes pontos e registraram também a temperatura do ar na proximidade das frutas. Com este método foi possível obter os gradientes de temperatura através do carrinho. No caso da operação em contracorrente observaram que a temperatura das ameixas inicialmente seguia o comportamento da temperatura do ar num intervalo de aproximadamente 8°F e, conforme procedia a secagem, a temperatura da fruta gradualmente se aproximava da temperatura do ar. Na operação em fluxo paralelo a temperatura da fruta aumentava muito rapidamente e então permanecia relativamente constante.

PIACENTINI et al. também incorporaram a investigação da temperatura do produto em estudos de secagem solar de ameixas. Os resultados teóricos demonstraram uma elevação da temperatura inicial do produto em torno de 25°C até aproximadamente 55°C, enquanto que a temperatura real medida na superfície negra do coletor apresentou seu máximo num período de aproximadamente 6 horas de insolação e correspondeu à 60°C. O modelo teórico desenvolvido para a descrição da

secagem incluía o acoplamento com a temperatura, cujos valores obtidos diferiram em menos de 2% dos experimentais.

VAGENAS e MARINOS-KOURIS (1991) afirmaram que sempre que os efeitos da transferência de calor são levados em conta nos modelos de secagem, espera-se uma análise melhorada. No entanto, não trataram os mecanismos de transporte de massa e calor de forma acoplada por demandar muito tempo de computação ao se utilizar o método numérico de elementos finitos. A temperatura do produto em função do tempo foi, portanto, analisada a partir de um balanço global de calor na superfície do sólido. No caso da aplicação do modelo à secagem de cenouras observou a ausência de patamares correspondentes à temperatura de bulbo úmido do ar, justificando que não houve períodos de secagem constante. Além disso, o comportamento global da temperatura da amostra apresentou um aumento rápido no primeiro estágio de secagem e depois aumentos graduais, aproximando-se da temperatura de bulbo seco do ar.

HAGHIGHI et al. (1990) concluíram que o modelo de temperatura desenvolvido para grãos de cevada submetidos à secagem apresentou resultados onde os pontos superficiais atingiriam temperatura constante em 80 segundos enquanto os pontos interiores demorariam 140 segundos. Observaram ainda que os resultados teóricos e experimentais do comportamento da temperatura ao longo do tempo apresentaram uma tendência aos valores da temperatura de bulbo seco do ar de secagem. Estas análises contribuíram para justificar a hipótese de secagem isotérmica comumente considerada nos modelos propostos para simplificar o tratamento teórico.

ALZAMORA et al. (1979) investigaram o comportamento da temperatura de fatias de abacate, maçã, batata e beterraba durante a secagem, utilizando um modelo de difusão de calor para placa infinita com evaporação na superfície e fizeram um paralelo entre os resultados teóricos e experimentais. Utilizando os dados experimentais de secagem de abacate a 57°C, demonstraram que os gradientes de temperatura no interior do produto podem ser considerados desprezíveis, sendo que a diferença máxima entre a temperatura do centro e da superfície foi de 2°C. A

comparação dos dados experimentais com os resultados do modelo foi considerada satisfatória. A simplicidade do modelo foi ressaltada por apresentar solução analítica e principalmente porque se pode estimar as variações de temperatura durante a secagem conhecendo-se a inclinação da curva de secagem e uma estimativa grosseira do valor da difusividade térmica do material.

MOUSTAFA (1990) realizou a modelagem matemática da cinética de secagem solar de diferentes produtos agrícolas. No corpo do trabalho são apresentadas as equações que descrevem a relação de temperatura e umidade do ar, a temperatura e teor de umidade do material, e a temperatura do vidro do coletor solar, as quais são derivadas a partir das condições iniciais. A transferência de calor e massa entre o material e o ar foi estimada usando relações empíricas para calcular o coeficiente de transferência de calor e massa. Os resultados dos cálculos permitiram avaliar o efeito de diferentes parâmetros, tais como: o volume do material seco, a velocidade do fluxo do ar, a temperatura e umidade relativa do ar, sobre o comportamento do processo de secagem.

YAPAR et al. (1990), estudando o comportamento da secagem de cogumelos em fatias a 60°C, observaram que no processo à convecção forçada, o período de taxa de secagem constante coincide com o aquecimento das fatias. Depois deste período inicial, a temperatura aumenta linearmente com o decréscimo do teor de umidade até atingir o equilíbrio em 60°C. Os resultados da aplicação do modelo difusivo para circulação forçada demonstraram que a temperatura do centro e da superfície da amostra se igualam rapidamente na secagem a 70°C e nos pontos equivalentes à razão de umidade de 0,25 e 0,1 respectivamente para os processos realizados a 65 e 60°C. No caso dos resultados teóricos a 70°C obtiveram valores de temperatura do material abaixo dos esperados e deduziram que nestas condições o mecanismo de difusão interna de umidade e conseqüente evaporação superficial é mais rápido, o que significou que uma grande parte do calor fornecido no processo foi consumida para a evaporação da umidade, causando uma redução na velocidade de acréscimo do calor sensível.

LAGUERRE et al. (1990) desenvolveram um modelo matemático para representar a cinética de secagem de cubos de cenouras. Cada um dos cubos foi dividido em três zonas concêntricas, considerando que cada zona era homogênea. Analisaram a transferência de calor e massa entre as três zonas e entre a superfície externa e o ar de secagem. O modelo foi usado para simular a secagem sob condições variáveis. Finalmente otimizaram os coeficientes do modelo e simularam as curvas de secagem.

TECHASENA et al. (1992) estudaram a secagem de cenoura com ar quente. Os experimentos foram realizados para diferentes condições do ar de secagem e para descrever a cinética de secagem usaram um modelo exponencial. Em geral, obtiveram uma boa correspondência entre os dados experimentais e os valores calculados, contudo os modelos matemáticos não consideraram adequadamente os complexos fenômenos que ocorrem durante a secagem, motivo pelo qual os valores de temperatura do ar na saída do secador apresentaram valores experimentais mais baixos que os calculados.

SOPONRONNARIT et al. (1992) realizaram um estudo sobre a cinética de secagem de bananas e desenvolveram um modelo matemático para simular o processo. Esse estudo tinha por objetivo estabelecer condições ótimas de secagem com base na avaliação da velocidade específica do fluxo de ar e da quantidade de ar a ser reciclado assim como, do consumo de energia específica e do tempo de secagem. Os resultados obtidos mostraram uma boa correspondência entre os dados experimentais e os valores calculados pelo modelo, contudo não consideraram a temperatura do produto e unicamente fazem referência ao fato de que a temperatura do ar de secagem deve ser de 60°C sempre que se procure garantir a qualidade do produto.

KIRANOUDIS et al. (1992) utilizaram dados experimentais de umidade e temperatura de quatro vegetais, batata, cenoura, cebola, e pimenta verde para comparar diferentes modelos de secagem. Consideraram modelos de transferência de calor e massa mecanísticos e fenomenológicos com diferentes níveis de complexidade. A formulação dos modelos mecanísticos foi baseada na consideração de diferentes combinações dos seguintes mecanismos: 1) a difusão de umidade até a superfície externa, 2) a vaporização e a transferência convectiva do vapor na corrente de ar na superfície, 3) a transferência de calor convectiva desde o ar até a superfície

do sólido, 4) a transferência de calor dentro do sólido. Portanto, os modelos mecanísticos incorporaram a difusividade mássica, o coeficiente de transferência de massa, a condutividade térmica e o coeficiente de transferência de calor, enquanto, o modelo fenomenológico levou em conta a constante de secagem. Concluíram que estes fatores são os responsáveis pelas diferenças entre os resultados estimados pelos modelos e os valores experimentais de teor de umidade e temperatura. Desta forma os melhores resultados foram obtidos usando os modelos mecanísticos de transferência de calor e massa posto que se obteve um menor desvio entre os resultados experimentais e calculados.

NICOLAIE e DE BAERDEMAEKER (1992) utilizaram um método numérico para calcular os valores médios e as variações dos perfis de temperatura durante o aquecimento de alimentos, considerando os seguintes parâmetros: a temperatura inicial, o coeficiente de transferência de calor na superfície, e a temperatura ambiente. O método se baseou na técnica de elementos finitos para resolver a equação de transferência de calor. Os resultados da simulação mostraram que as variações estocásticas dos parâmetros do processo podem causar um considerável nível de incerteza na predição da temperatura e conseqüentemente no tratamento de calor.

FURUTA et al. (1992) desenvolveram um programa de computação para a estimativa das distribuições de temperatura e umidade, considerando o fenômeno de encolhimento de alimentos durante o processo da secagem. O algoritmo desenvolvido se baseou na teoria modificada de Luikov e foi testado simulando a transferência de calor e umidade em amostras esféricas. Os resultados da simulação foram comparados com dados experimentais reportados na literatura especializada encontrando uma boa correspondência.

Posteriormente, SCHEERLINCK et al. (1996) desenvolveram um algoritmo para calcular as distribuições de temperatura e umidade durante a secagem de produtos agrícolas, com condições iniciais e de contorno variando aleatoriamente. Este algoritmo se baseou na formulação dos elementos finitos das equações acopladas de transferência de calor e massa estabelecidas por Luikov. A simulação foi aplicada à secagem de grãos de soja e se observou que as variações estocásticas das condições iniciais e de contorno podiam causar um considerável nível de incerteza na determinação do teor de umidade e da temperatura do produto, assim como,

em seu efeito sobre o processo de secagem. Desta forma fica claro que as distribuições de temperatura e umidade no interior do produto dependem das variações aleatórias, o que pode gerar um produto de menor qualidade e inclusive um produto com teor umidade maior ao que aquele exigido comercialmente.

KOMPANY et al. (1993) estudaram a cinética de secagem de cenouras. Analisaram o efeito de diferentes parâmetros, tais como, a pressão, condições de aquecimento, temperatura (50-100°C) e espessura das amostras (3-20mm), sobre a velocidade de secagem. Os resultados obtidos permitiram-lhes identificar a existência de dois períodos de secagem com as mudanças da temperatura das amostras durante a secagem. O primeiro período foi quase isotérmico (velocidade de secagem constante), e o segundo período (de velocidade de secagem decrescente) esteve caracterizado por uma grande quantidade de remoção de umidade devido à transferência por difusão. Concluíram que no segundo período de secagem, quando se observou um incremento da temperatura do produto, a difusão térmica foi o mecanismo básico que determinou a velocidade de secagem.

KISSELOFF (1994) reporta um estudo sobre a transferência de calor e massa durante a secagem de madeira. Ele fez medições da temperatura no interior do produto durante a secagem convectiva com uma corrente de ar e observou diferenças entre a temperatura interna do produto e do ar, o que lhe permitiu fazer uma análise da influência das condições externas sobre a velocidade de secagem e a qualidade do produto final. Concluiu que a medição da temperatura interna do produto pode ser uma variável importante para o controle das condições externas da secagem, posto que, a velocidade de secagem em ambos períodos é governada pelos gradientes de temperatura entre a corrente de ar e a zona de evaporação da umidade, na superfície (período de secagem constante) ou no interior do produto (períodos de secagem decrescentes).

ISAEV e KHAJRIDDINOV (1994) estudaram o comportamento teórico das características estáticas e dinâmicas de um secador solar de frutas. O conjunto de equações diferenciais tinha por objetivo descrever a transferência de calor e massa na câmara de secagem, considerando a evaporação de água de acordo com a lei de Dalton e a transferência de calor convectiva entre a fruta e o agente de secagem. Para resolver o sistema de

equações não lineares utilizaram as transformadas de Laplace. Contudo, não levaram em conta os perfis da temperatura no interior da fruta.

SIMAL et al. (1994) fizeram a modelagem da transferência de calor e massa durante a secagem de cubos de batata, considerando um problema de fronteiras móveis para estudar a dependência entre a difusividade efetiva e a temperatura local. A temperatura interna do produto foi determinada mediante um balanço de calor macroscópico. O problema de fronteiras móveis foi resolvido usando o método explícito de diferenças finitas partindo do tempo experimental e dados de teor de umidade de um experimento desenvolvido a 90°C. Os resultados obtidos foram satisfatórios.

WANG e BRENNAN (1995) também estudaram a transferência de calor e massa durante a secagem de batatas com o propósito de estimarem as distribuições de umidade e temperatura do produto. Usaram o método de diferenças finitas implícito (Crank-Nicolson) na solução das equações de transferência de calor e umidade para diferentes tempos durante a secagem, encontrando concordância entre os resultados da simulação e os experimentais, embora, considerando constantes as propriedades físicas e termodinâmicas nesse modelo.

FRANCA et al. (1994) desenvolveram um modelo bidimensional que permitia a inclusão de perfis de velocidades não uniformes, assim como, as propriedades do produto, em função da temperatura e teor de umidade. A pesquisa foi aplicada à secagem de milho e permitiu-lhes simular o comportamento de diferentes equipamentos de secagem, especialmente, contínuos e intermitentes. Os resultados mostraram que a secagem contínua é mais eficiente com relação ao tempo de secagem, mas, uma análise com maior profundidade os levou a afirmar que as distribuições de temperatura e umidade são mais uniformes durante a secagem intermitente, o que garante melhor qualidade ao grão.

MARTÍNEZ et al. (1995) reportaram um estudo sobre a determinação do teor de umidade em grãos de arroz e milho partindo de um procedimento de estimativa não linear “on-line” (algoritmo Marquardt-Levenberg). Este algoritmo usava as medições da temperatura do sólido como dados de entrada e fornecia como resultado o teor de umidade na superfície do sólido. Posteriormente, usava esse valor de umidade na

superfície para prever o teor de umidade no interior do grão de acordo com uma equação diferencial ordinária simples a qual combinava os balanços de umidade e energia no secador. O procedimento usado permitiu-lhes obter as curvas de umidade e temperatura do sólido em função do tempo com bons resultados e portanto, destacaram a importância da medição da temperatura do produto na determinação da evolução do teor de umidade dos grãos.

BEN NASRALLAH (1989) e PRAT (1991) em um estudo sobre a secagem de meios porosos consideraram desprezíveis os efeitos da pressão gasosa e a transferência térmica convectiva. Posteriormente, BOUKADIDA e BEN NASRALLAH (1995) realizaram um estudo sobre a transferência de calor e massa bi-dimensional durante a secagem convectiva de produtos porosos. Fizeram uma revisão das teorias de diferentes autores que trataram a análise numérica unidimensional da transferência de calor e massa durante a secagem convectiva, reconhecendo seus aportes no estudo teórico da transferência de calor. Neste trabalho, os autores determinaram a evolução no tempo e espaço da temperatura, da pressão total, e do teor de umidade do sólido partindo de um conjunto de equações macroscópicas as quais foram resolvidas numericamente pelo método das diferenças finitas. Concluíram que na prática se precisa de estudos teóricos bi-dimensionais de transferência de calor e massa para explicar o processo da secagem de produtos porosos.

A transferência simultânea de calor e massa durante a secagem de sementes de soja foi estudada por BARROZO et al. (1996) em um leito com fluxo cruzado. A técnica de análise escolhida se baseou nas equações de conservação da massa e da energia para a fase líquida e sólida. As equações de equilíbrio, e de transferência de massa foram obtidas em estudos específicos realizados por BARROZO (1995), enquanto a correlação usada para a transferência de calor foi obtida por SARTORI (1986). O trabalho experimental consistiu em determinar as distribuições de temperatura do ar, o teor de umidade do grão e a umidade do ar na saída do leito de secagem. As equações do modelo foram resolvidas pelo método de colocação ortogonal na direção do fluxo de ar e o conjunto de equações diferenciais algébricas foi resolvido usando um método numérico. Os resultados da simulação mostraram concordância quando comparados com os dados experimentais. Contudo não consideraram o efeito da temperatura do sólido na análise dos resultados.

PAIVA SOUZA e NEBRA (1996) estudaram a transferência simultânea de calor e massa em meios capilares porosos, especificamente durante a secagem de madeira. Assumiram três mecanismos de transporte de calor e massa em correspondência com a forma em que a água estava presente no sólido a ser seco. Simularam o processo de secagem unidimensional de madeira usando o método de volumes finitos implícito. Os parâmetros e correlações referidas aos estados de equilíbrio e às propriedades de transporte foram tomados da literatura. Os resultados da simulação foram comparados com dados experimentais obtidos na literatura observando-se uma boa correspondência e finalmente mostraram as distribuições de concentração com o objetivo de divulgar a importância de cada mecanismo no processo de secagem. Concluíram que o algoritmo e o programa computacional desenvolvido podem ser usados para outros casos similares.

2.2 Coeficientes de transferência e algumas propriedades termofísicas de interesse

A continuação serão analisadas algumas experiências reportadas por diferentes pesquisadores referentes à estimativa de coeficientes de transferência e outras propriedades termofísicas de interesse.

MULET et al. (1983) estudaram a cinética de secagem da cenoura utilizando a equação de Fick, e representando o coeficiente de difusão através de uma relação linear com a temperatura, do tipo Arrhenius.

LOMAURO e BAKSHI (1985) utilizaram a técnica de elementos finitos para prever a difusão de umidade em alimentos estocados, entre eles, a maçã, considerando geometria cilíndrica. Posteriormente, MATTEA et al. (1989) utilizaram a mesma técnica para estimar a condutividade térmica de maçã e pêra em função do teor de umidade.

MIKETINAC et al. (1992) estudaram a transferência simultânea de calor e massa durante a secagem de cevada e desenvolveram cinco modelos matemáticos para realizar a simulação do processo. Estimaram os coeficientes de transferência para todos os modelos partindo das medições dos valores instantâneos de teor de umidade e da temperatura na superfície do produto. Finalmente, resolveram o sistema de equações diferenciais

parciais que caracterizavam o processo de secagem usando o método de elementos finitos. Concluíram que o coeficiente de transferência de massa calculado para os cinco modelos ($1.08 \cdot 10^{-6}$ m/s) foi menor que o valor calculado pela relação de Lewis, e que o coeficiente de transferência de calor calculado esteve na faixa de 43 a $59 \cdot 10^{-2}$ Wm/K dependendo da forma do modelo de secagem.

A análise matemática da secagem convectiva de trigo, durante o período decrescente, foi realizada por JAROS et al. (1992), com o propósito de determinar o coeficiente de difusão como uma função da temperatura e do teor de umidade. Neste caso, para resolver a equação de difusão foi usado o método de CRANK (1956), considerando o produto como uma partícula esférica, na tentativa de definir uma forma geométrica padrão. No corpo do trabalho são apresentadas as curvas do coeficiente de difusão versus teor de umidade e temperatura do produto.

RAO et al. (1992) estudaram a secagem de sementes de toria (*Brassica campistris* var. toria) e consideraram a transferência simultânea de calor e massa com o objetivo de avaliar diferentes parâmetros de transporte os quais são muito importantes para desenvolver o desenho de secadores industriais. Desta forma, determinaram o coeficiente de difusividade para diferentes temperaturas (323-353 K). No corpo do trabalho são apresentadas as curvas cinéticas (umidade vs. tempo). Calcularam o coeficiente de difusividade partindo dos dados correspondentes ao período de secagem decrescente e o efeito da temperatura sobre o coeficiente de difusividade foi expressado de acordo com uma equação do tipo de Arrhenius.

RAHMAN (1992) desenvolveu uma equação geral para calcular a condutividade térmica introduzindo o termo da porosidade na referida equação. O modelo foi aplicado a maçã, batata, pêra, entre outros produtos, para pequenas variações de temperatura (5°C). O teor de umidade variava de 5 a 88 % (b.u.), a porosidade de 0 a 0.5, e a temperatura ambiente de 20 a 25°C . Uma limitação importante do modelo era o fato de que quando a porosidade (ϵ) assumia valor igual a 1, o termo da esquerda da equação ficava indefinido o que fisicamente não era correto. Além disso, esse modelo não considerava o efeito da temperatura sobre a condutividade térmica.

Posteriormente, levando em consideração as limitações acima descritas, RAHMAN e CHEN (1995) desenvolveram um novo modelo matemático para a determinação da condutividade térmica de maçã em função da variação do teor de umidade e da temperatura. O modelo desenvolvido consistiu em uma equação melhorada do modelo proposto por RAHMAN (1992) sendo aplicável para amplas faixas de porosidade, temperatura e teor de umidade do material úmido. No corpo do trabalho são apresentados e discutidos outros modelos propostos por KRISCHER (1963) e SWEAT (1974). Concluíram que a metodologia usada pode ser aplicada a uma grande variedade de frutas e vegetais.

SHYAMAL et al. (1994) estudaram as propriedades térmicas do trigo, particularmente, o calor específico, a condutividade térmica e a difusividade térmica. Concluíram que o calor específico e a condutividade térmica se incrementam linearmente com o teor de umidade, entretanto, a difusividade térmica decresce linearmente com o teor de umidade do produto.

TAO et al. (1994) analisaram as propriedades termofísicas de duas variedades comerciais de arroz. Os resultados obtidos foram: densidade (0.29 e 0.28 g/cm^3), calor específico ($0.41 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ para ambas variedades), difusividade térmica ($1.33 \cdot 10^{-3}$ e $1.36 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$), e condutividade térmica ($1.59 \cdot 10^{-4}$ e $3.72 \cdot 10^{-4} \text{ cal/s cm}^\circ\text{C}$).

RAPUSAS e DRISCOLL (1995) determinaram as propriedades termofísicas de cebola. Foi estudada a variação do calor específico, da condutividade térmica efetiva, e da densidade do produto em relação ao teor de umidade e à temperatura. De acordo com os resultados reportados, se observou uma variação linear do calor específico, da condutividade térmica efetiva e da difusividade térmica efetiva com o teor de umidade. Com relação à condutividade térmica, não se encontraram mudanças significativas em função da temperatura e da porosidade para determinadas faixas. Concluíram que os modelos usados não conseguiram prever com grande precisão o calor específico e a condutividade térmica do produto.

Uma nova forma de definir os coeficientes de transferência de calor e massa durante a secagem de materiais úmidos foi proposta por STEFANOVIĆ et al. (1996). Em geral, a teoria explica que os números de Nusselt e Schmidt não são somente funções dos números de Reynolds e

Prandtl; também é considerado o fluxo de vapor através da superfície dos corpos úmidos. O método proposto, conhecido como método ITE, permite analisar a cinética e dinâmica de secagem para diferentes materiais, e considera a secagem como dois processos separados: um dentro do material e outro no agente de secagem, mas acoplados através dos parâmetros de equilíbrio dinâmico do agente de secagem e do corpo úmido na sua superfície. Um aspecto muito interessante deste método é que se baseia na solução modificada das equações diferenciais parciais simplificadas de LUIKOV para a transferência de calor e massa nos corpos úmidos e permite uma simples e rápida determinação dos coeficientes de difusão de umidade. O método foi verificado com base em cálculos da cinética de secagem de grãos de trigo e milho usando soluções numéricas para as equações de transferência de calor e massa.

2.3 Fenômeno de encolhimento associado ao processo de secagem

Quando se trata de secagem de produtos com elevado teor de umidade inicial, particularmente as frutas e vegetais, a modelagem deve considerar, além dos diferentes mecanismos responsáveis pela transferência de umidade e calor no interior do produto, aquele que está associado ao fenômeno de encolhimento do produto. Assim, torna-se possível explicar de forma integral o comportamento do processo e ao mesmo tempo ter uma maior confiabilidade nos coeficientes determinados. A seguir, são apresentadas as experiências de alguns autores relacionadas com o fenômeno de encolhimento de diferentes produtos submetidos à secagem.

BALABAN (1989) estudou o efeito da consideração do encolhimento nos modelos de transferência simultânea de calor e massa desenvolvidos para descrever a secagem de peixe. Investigou ainda o efeito dos coeficientes convectivos de calor e massa e a variabilidade dos parâmetros condutividade térmica e coeficiente de difusão. Concluiu que estes fatores são os responsáveis pelas diferenças entre os resultados estimados pelos modelos e os valores experimentais de teor de umidade e temperatura. No corpo do trabalho são apresentadas as curvas resultantes destes parâmetros, na forma de distribuição interna e de valores médios no tempo.

MULET et al. (1989) realizaram a modelagem do processo de secagem de cenouras, propondo três formas de se analisar a operação,

mediante a consideração do fenômeno de encolhimento e da dependência da difusividade efetiva sobre o teor de umidade e temperatura do produto. A solução das equações incluía o tratamento de fronteiras móveis, resolvido pelo método de diferenças finitas.

FUSCO et al. (1991) propuseram um modelo difusional para analisar o processo de secagem de alimentos considerando o fenômeno de encolhimento. As equações diferenciais foram resolvidas numericamente pelo método de diferenças com fronteira móvel, para possibilitar a inclusão da relação do volume com o teor de umidade. O modelo foi testado para dados de fatias de maçã, obtidos na literatura, demonstrando concordância com os valores experimentais.

VAGENAS e MARINOS-KOURIS (1991) utilizaram o método de elementos finitos para estudar o fenômeno do encolhimento durante a secagem de uvas. O modelo foi testado também para passas de corinto, batata e cenoura.

SUAREZ et al. (1991) estudaram o efeito do encolhimento sobre o comportamento de fatias de batata durante a secagem, obtendo boa correspondência entre os resultados e os dados experimentais, para tempos de secagem relativamente pequenos.

DONGSHAN e MUJUMDAR (1992), usando o método de elementos finitos e a teoria de Luikov, analisaram a deformação de produtos capilares-porosos, durante a secagem intermitente. Determinaram a temperatura, o teor de umidade e os perfis das tensões para diferentes instantes de secagem intermitente, e simularam a transferência de calor e massa simultânea. De acordo com os resultados obtidos, concluíram que a transferência de calor e massa acoplados e a análise mecânica dos corpos capilares porosos podem ser importantes para obter modelos que permitam a estimativa e análise dos perfis das deformações e tensões induzidas pela secagem.

ABALONE et al. (1994) realizaram um estudo teórico e experimental sobre a secagem de produtos biológicos com elevado teor de umidade inicial nos quais se apresenta uma variação significativa de volume. A pesquisa foi aplicada à batata e a modelagem simultânea de

calor e massa, durante a secagem, foi baseada na teoria de Luikov considerando as variações de volume. O equipamento experimental usado permitiu-lhes medir em tempo real as distribuições radiais e temporais do teor de umidade e da temperatura da batata, e no corpo do trabalho são apresentadas as curvas cinéticas. Ao realizarem uma análise do comportamento da temperatura em função do tempo para diferentes raios da batata, observaram um rápido incremento desta variável, o que, segundo os autores, foi devido à presença de elevados gradientes térmicos. Os resultados da análise de variação do diâmetro da batata em função do tempo, mostraram inicialmente uma dependência linear; contudo, na medida em que o teor de umidade atingia o valor de equilíbrio não foi observado o fenômeno de contração.

Num estudo sobre a difusividade de água em cenouras e batatas, MULET (1994) usou quatro modelos de difusão com diferentes níveis de complexidade, considerando o fenômeno de encolhimento, a transferência de calor e a variação da temperatura dos produtos durante a secagem. Além disso, considerou uma dependência da difusividade efetiva com relação às variações simultâneas da temperatura e teor de umidade. Concluiu que o efeito do encolhimento não pode ser desprezado, por ser um fator importante no cálculo da difusividade efetiva.

A simulação matemática do encolhimento dinâmico durante a secagem de trigo foi realizada por LANG et al. (1994), considerando que o fenômeno de encolhimento está relacionado linearmente com a redução instantânea do teor de umidade. Ele modificou o modelo de Bakker-Arkema, incorporando a equação de encolhimento, o que lhe permitiu reduzir os desvios entre o teor de umidade simulado e experimental.

BEN MABROUK e BELGHITH (1995) simularam a transferência de calor e massa durante a secagem de produtos agrícolas que podem deformar-se. O método implícito de diferenças finitas foi usado para resolver o conjunto de equações diferenciais. Para a solução das equações, os autores consideraram uniformidade na distribuição da temperatura no interior do produto, encolhimento unidirecional, e que o coeficiente de difusividade efetiva é uma função do teor de umidade, da temperatura, e do encolhimento do produto. As curvas de secagem foram obtidas partindo da variação de diferentes parâmetros do fluxo de ar, tais como, velocidade,

temperatura, e umidade relativa. Os resultados obtidos durante a simulação mostraram uma boa correspondência com os experimentais.

HAWLADER et al. (1996) desenvolveram um modelo matemático para descrever as distribuições de calor e massa dentro dos materiais submetidos ao processo de secagem, considerando ao mesmo tempo o fenômeno de encolhimento. Neste caso, o efeito do encolhimento foi analisado introduzindo no modelo a velocidade de encolhimento. O inhame foi selecionado para teste pela estrutura relativamente homogênea que apresenta e as equações de transferência de calor e massa foram resolvidas simultaneamente usando o método das diferenças finitas. Os valores de temperatura e umidade calculados foram comparados com os resultados experimentais, observando-se em geral uma boa correspondência, fundamentalmente no caso das distribuições de umidade. No caso das distribuições de temperatura no final do processo se encontraram alguns problemas, o que pode ser devido à necessidade de maior informação das propriedades físicas e dos coeficientes de transferência na superfície do produto.

O fenômeno de encolhimento também foi considerado no trabalho realizado por YE-BO et al. (1996) ao estudar a transferência simultânea de calor e massa durante a secagem de batata. Os experimentos de encolhimento mostraram que as mudanças da espessura da batata estão linearmente correlacionadas com o teor de umidade, enquanto o efeito da temperatura sobre o encolhimento não foi significativo. Os coeficientes de difusividade foram obtidos pela minimização da soma dos quadrados dos resíduos entre as curvas de secagem calculadas e observadas. Além disso, foi estudado o efeito da temperatura sobre o coeficiente de difusão. Outras propriedades físicas e térmicas foram tomadas da literatura. Usaram o método de diferenças finitas para resolver o sistema de equações simultâneas de calor e massa, encontrando uma boa concordância entre os valores calculados e experimentais de teor de umidade, e as distribuições de temperatura e umidade no produto. Concluíram que o modelo usado foi adequado para prever as distribuições de temperatura e umidade que ocorrem durante a secagem de batatas quando considerado o fenômeno de encolhimento.

AZZOUZ et al. (1996) realizaram uma pesquisa sobre a transferência de calor e massa durante a secagem de uvas com o objetivo de esclarecer os mecanismos fundamentais presentes no processo de secagem e sua relação

com a cinética de secagem de produtos agrícolas. Neste trabalho, foram avaliadas as propriedades higroscópicas e termofísicas da uva, e foi determinado o coeficiente de difusão. Por outro lado, foram considerados os efeitos da velocidade do fluxo de ar, da temperatura do ar de secagem e do fenômeno de encolhimento. De acordo com o comportamento da temperatura no centro e na superfície do produto se observou que os gradientes de temperatura foram pequenos. Assim, foi usado um modelo condutivo, tipo Fourier, para determinar a evolução da temperatura no interior da uva. Apesar do tratamento matemático ser relativamente simples, o modelo considerou em conta o efeito do encolhimento e a não linearidade dos coeficientes conforme com as equações de conservação estabelecidas por Luikov. Finalmente, concluíram que para obter um produto seco de boa qualidade é muito importante o conhecimento da evolução da temperatura no interior deste.

2.4 Resumo do estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas realizado por QUEIROZ (1994)

Lembrando que o presente trabalho tem por objetivo principal complementar os estudos teóricos e experimentais realizados por QUEIROZ (1994), sobre a cinética de secagem de bananas para obtenção de passas, se considerou conveniente resumir neste item os aspectos mais importantes que embasaram a continuidade do trabalho.

O sistema experimental, construído por QUEIROZ (1994), proporcionava controles precisos de temperatura e umidade relativa do ar no interior da câmara de secagem e possibilitava o registro dos parâmetros com mínimas interferências externas. A montagem final ficou composta, basicamente, dos seguintes elementos: equipamento para suprimento do ar de secagem; sistema de distribuição do ar; câmara de secagem; sensores e medidores; equipamentos para aquisição automática dos dados.

Com esta montagem foi possível realizar o registro automático dos dados de temperatura de bulbo seco e úmido, lidos à entrada e saída da câmara de secagem e de temperatura no centro da banana, os quais eram armazenados continuamente num "datalogger". As leituras sucessivas do peso das amostras e registro automático dos mesmos foram feitas mediante

o acoplamento de uma balança digital a um microcomputador através de sua porta serial RS 232.

As figuras 1 e 2 apresentam respectivamente um esquema global da montagem e o detalhe da câmara de secagem e plenum.

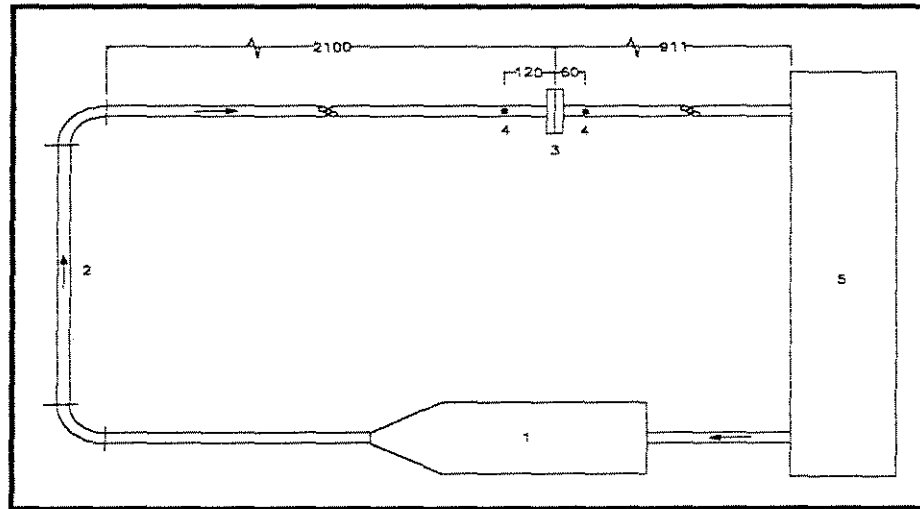


Figura 1. Esquema global do sistema experimental. (1) plenum e câmara de secagem, (2) tubulação de ar, (3) placa-orifício, (4) tomadas de pressão com anel piezométrico, (5) Aminco-Ar. Dimensões em mm.

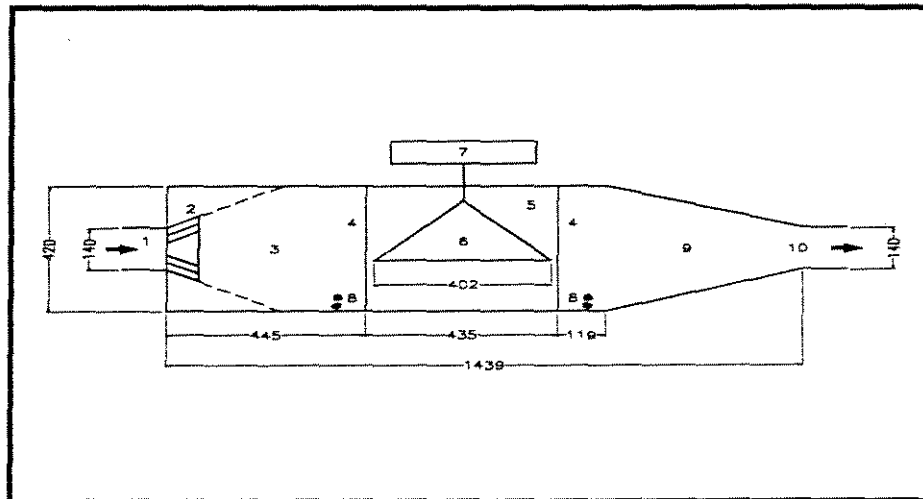


Figura 2. Câmara de secagem e plenum: (1) entrada de ar, (2) difusor, (3) plenum, (4) telas, (5) câmara de secagem, (6) bandeja suspensa, (7) balança, (8) tomadas de temperatura do ar, (9) redução cônica, (10) saída de ar.

Com este sistema experimental foram realizados seis testes de secagem em diferentes condições de temperatura e umidade relativa do ar. A Tabela 1 apresenta os dados de características do ar e do produto, sob os quais foram realizados os testes.

Tabela 1. Características do ar e do produto nos testes de secagem.

Teste	T _{bs} (°C)	UR (%)	Vel. ar (m/s)	M ₀ (bs) (dec.)	M _f (bs) (dec.)	M _e (bs) (dec.)	R ₀ (m)	Tempo (h)
1	29,9	35,7	0,38	3,43	0,32	0,1428	0,01613	121,85
2	39,9	19,3	0,33	3,17	0,33	0,0664	0,01569	74,3
3	49,9	19,2	0,37	3,21	0,32	0,0579	0,01522	40,8
4	60,2	19,9	0,36	2,96	0,25	0,0426	0,01530	35,3
5	60,5	10,7	0,35	3,04	0,31	0,0211	0,01506	27,8
6	68,4	7,3	0,39	2,95	0,22	0,0121	0,01545	25,13

Os dados experimentais de variação do teor de umidade durante o período de secagem foram tratados segundo modelo de difusão líquida com coeficiente de difusão constante, contemplando os fenômenos de encolhimento do produto e os efeitos convectivos do ar na superfície do material.

O coeficiente de difusão e convectivo foram determinados, em cada caso, mediante ajuste dos valores calculados pelos modelos aos pontos experimentais utilizando-se um método de minimização da soma dos quadrados dos resíduos.

2.5 Conclusões da pesquisa bibliográfica

A análise da pesquisa bibliográfica consultada permite concluir que:

- Não foram encontradas referências bibliográficas que abordaram o estudo do comportamento da temperatura da banana, particularmente durante a secagem.
- A incorporação do tratamento de transferência de calor aos estudos teóricos de secagem constitui uma forma de esclarecimento dos fenômenos presentes no processo e dos mecanismos responsáveis pela transferência de umidade no interior e na superfície dos sólidos capilares-porosos. Neste sentido os trabalhos de FORTES e OKOS (1980) de acordo com o enfoque termodinâmico que realizam sobre a secagem, constituem a base teórica deste trabalho, sendo importantes também os trabalhos realizados por HUSAIN, 1973; MULET et al., 1989; SERENO e MEDEIROS, 1990; YAPAR et al., 1990; MAROULIS et al., 1991; pois abordam os processos simultâneos de transferência de calor e massa através de equacionamentos bastante simplificados.
- O comportamento da temperatura no interior dos sólidos durante a secagem deve ser considerado como uma variável fundamental, devido a sua importância na definição dos parâmetros do processo e as propriedades de qualidade do produto final.
- O fenômeno de encolhimento tem uma dependência significativa com a natureza do produto e está associado com as mudanças de teor de umidade e os perfis de temperatura, durante a secagem. Vale a pena ressaltar que os trabalhos relacionados com este fenômeno, em geral, considerando a transferência de calor e massa não diferem muito em relação ao enfoque matemático, contudo, o estabelecimento das hipóteses e mecanismos presentes em cada situação em particular pode conduzir à simplificação dos modelos usados. Entre os trabalhos que podem ser considerados para serem usados nesta pesquisa encontram-se os de ABALONE et al. (1994), HAWLADER et al. (1996), AZZOUZ et al.

(1996), pela forma em que definem e formulam as equações de calor e massa considerando o fenômeno de encolhimento.

- Em geral, para a solução numérica dos sistemas de equações simultâneas de calor e massa, o método de diferenças finitas tem sido o mais usado, oferecendo uma boa exatidão e rápida convergência nos cálculos. Também existe uma certa tendência a usar o método de elementos finitos para a solução destes problemas.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Como foi explicado anteriormente, a proposta do presente trabalho é desenvolver um tratamento teórico para explicar o comportamento da temperatura do produto durante a secagem de bananas (*Musa acuminata*) sub grupo Cavendish, Cultivar Nanicão. As linhas gerais desta abordagem são apresentadas a seguir.

3.1 Parte experimental

É importante ressaltar que no referente ao trabalho experimental as medidas da temperatura do produto foram realizadas por QUEIROZ (1994), restando unicamente realizar o processamento destes dados, bem como a análise teórica mediante o desenvolvimento de modelos que representem adequadamente o comportamento experimental.

Temperatura do produto

As medidas de temperatura do produto foram realizadas com termopares de bitola fina, 0.032 polegadas, de cobre-constantan, inseridos no centro da banana. Os intervalos de leitura foram de 2 minutos durante as primeiras 3 horas de secagem, 5 minutos nas 3.5 horas seguintes e 15 minutos até o final do processo. Foram feitas três repetições e os dados eram armazenados continuamente num “datalogger”. Uma ilustração da instalação experimental é mostrada na Figura 3.

Mais informações sobre o equipamento utilizado foram reportadas por QUEIROZ e NEBRA (1993) e QUEIROZ (1994).

Os dados experimentais de temperatura da banana são apresentados em forma de tabelas no Apêndice C e as curvas experimentais são mostradas junto as teóricas nas Figuras 5 a 10.

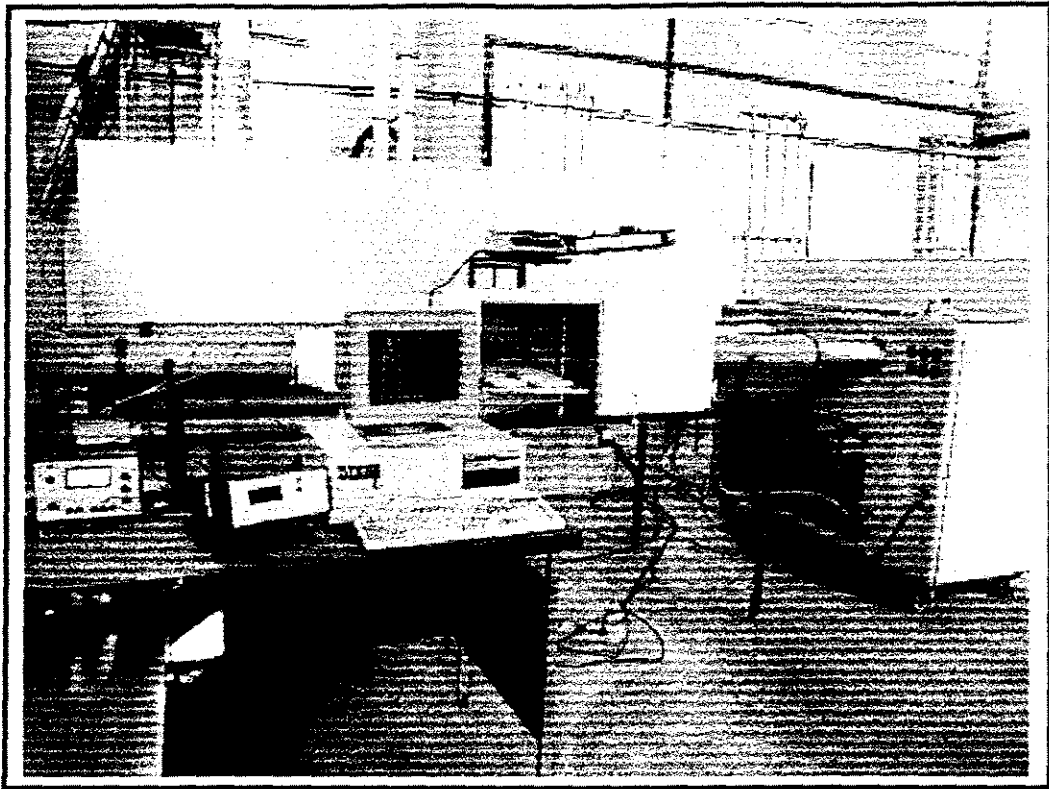


Figura 3. Instalação experimental usada para estudar a secagem de bananas.

3.2 Análise teórica

A secagem de sólidos pode ser explicada como um processo de remoção de umidade mediante a combinação de mecanismos de transferência de calor e massa e evaporação na superfície do corpo.

Neste contexto, nas últimas décadas a modelagem matemática dos processos de transferência de calor e massa tem sido usada para explicar o comportamento da temperatura e a umidade dos sólidos durante a secagem.

A incorporação do tratamento de transferência de calor aos estudos teóricos de secagem constitui uma forma de esclarecimento dos fenômenos presentes no processo e dos mecanismos responsáveis pela transferência de umidade no interior e na superfície dos sólidos.

Desenvolvimento dos modelos teóricos

Conforme procedimento utilizado por QUEIROZ (1994) no estudo de transferência de umidade, pretende-se analisar o comportamento da temperatura da fruta durante a secagem mediante o desenvolvimento de modelos com diferentes níveis de complexidade.

Foram desenvolvidos dois modelos matemáticos com base nas equações de transferência de calor por difusão com a inclusão de diferentes considerações no referente às propriedades termofísicas, particularmente a difusividade térmica, e à geometria do produto, ou seja um modelo para cilindro infinito com a difusividade térmica constante e outro para cilindro finito com difusividade térmica variável.

A forma de solução destes modelos dependerá das hipóteses incluídas em cada caso em particular e será numérica. A opção pela solução numérica para todos os modelos foi reforçada pelas fortes restrições impostas ao modelo físico no caso da solução analítica. Em princípio pensou-se em incorporar diferentes níveis de complexidade nas condições de fronteira, sendo que a equação de difusão não teria solução analítica, exceto para o caso mais simples (condição de contorno tipo 1).

Finalmente foi desenvolvido um terceiro modelo, de natureza empírica, de tipo logarítmico, com base na proposta de ASSOUZ et al. (1996).

A seguir, apresenta-se a descrição de cada modelo:

Modelo 1

O modelo 1 foi formulado, partindo das seguintes considerações gerais:

1. A condução ou difusão de calor constitui o mecanismo controlador.
2. A banana é representada pela forma geométrica de um cilindro infinito com simetria axial, portanto a transferência de calor no interior do produto ocorre na direção radial, devido à existência de gradientes de temperatura no interior da fruta.

3. A temperatura do produto na superfície está em equilíbrio com a temperatura do ar de secagem e é igual à temperatura de bulbo seco do ar.
4. O coeficiente de difusividade térmica é considerado constante durante a secagem.
5. A banana é homogênea.
6. O encolhimento do produto durante a secagem é considerado desprezível.

O processo de difusão de temperatura na banana pode ser modelado pela clássica Equação Diferencial Parcial de Condução, incluindo os processos presentes no fenômeno em estudo. De acordo com as considerações anteriores a equação geral de condução, em coordenadas cilíndricas, é mostrada a seguir:

$$\rho C p \frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right) \quad (3.1)$$

Utilizando a definição da difusividade térmica α

$$\alpha = \frac{k}{\rho C p} \quad (3.2)$$

e substituindo α na equação (3.1), tem-se:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right) \quad (3.3)$$

Rearranjando a equação (3.3), tem-se:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{1}{r} \left(\frac{\partial T}{\partial r} + r \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right) \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} \right) \quad (3.5)$$

As condições inicial e de contorno podem ser definidas através das expressões mostradas a seguir:

$$T = T_0 \quad r > 0 \quad t = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad r = 0 \quad t > 0 \quad (3.7)$$

$$T = T_e \quad r = R_0 \quad t > 0 \quad (3.8)$$

Para a obtenção da solução numérica da equação (3.5) foram definidas as seguintes variáveis adimensionais, pois o processo de adimensionalização contribui para simplificar a equação.

$$r^* = \frac{r}{R_0} \quad (3.9)$$

$$t^* = \frac{t\alpha}{R_0^2} = \text{Fo} \quad (3.10)$$

$$T^* = \frac{T_{(r,t)} - T_0}{T_e - T_0} \quad (3.11)$$

A substituição destas variáveis nas equações (3.5) a (3.11) conduz às seguintes expressões:

$$\frac{\partial T^*}{\partial t^*} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial T^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial r^{*2}} \quad (3.12)$$

$$T^* = 0 \quad 0 < r^* < 1 \quad t^* = 0 \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial r^*} = 0 \quad r^* = 0 \quad t^* > 0 \quad (3.14)$$

$$T^* = 1 \quad r^* = 1 \quad t^* > 0 \quad (3.15)$$

Desta forma o modelo 1 fica constituído pelas equações (3.12) a (3.15).

Este sistema composto pela Equação Diferencial Parcial e pelas condições de contorno e inicial acima descritas, é usualmente resolvido numericamente, via Diferenças Divididas de Segunda Ordem, na variável espacial e via algum método conveniente na variável temporal. A escolha de um método implícito de segunda ordem para o tempo permite que a ordem de aproximação seja coerente com aquela da variável espacial, e, então, pode ser escolhido o Método de Crank-Nicolson, por ser incondicionalmente estável, com um erro de aproximação da ordem de $O[(\Delta t)^2 + (\Delta r)^2]$ de acordo com CARNAHAN, LUTHER e WILKES (1968).

Desta forma, pode-se discretizar as equações diferenciais no espaço para os pontos de fronteira e para os demais pontos existentes entre eles, conforme apresentado a seguir.

- Para $i=1$, onde $r = (i-1)\Delta r$

$$T_i^{n+1}(1 + N^2 \cdot Fo) - T_{i-1}^{n+1} \cdot N^2 \cdot Fo = T_i^n(1 - N^2 \cdot Fo) + T_{i-1}^n \cdot N^2 \cdot Fo \quad (3.16)$$

- Para $1 < i \leq N-1$

$$\begin{aligned} T_{i-1}^{n+1} \cdot N^2 Fo(ss-1) + T_i^{n+1}(1 + N^2 Fo) + T_{i+1}^{n+1}(-ss-1) \\ = T_{i-1}^n \cdot N^2 Fo(-ss+1) + T_i^n(1 - N^2 Fo) + T_{i+1}^n(ss+1) \end{aligned} \quad (3.17)$$

onde: $ss = \frac{1}{2(i-1)}$

- Para $i=N$

$$\begin{aligned} T_{N-1}^{n+1} \cdot N^2 Fo(ss-1) + T_N^{n+1}(1 + N^2 Fo) = T_{N-1}^n \cdot N^2 Fo(-ss+1) \\ + T_N^n(1 - N^2 Fo) + T_{N+1}^n \cdot N^2 Fo(ss+1) \end{aligned} \quad (3.18)$$

onde: $ss = \frac{1}{2(N-1)}$

De forma simplificada, pode-se apresentar as equações discretizadas (3.16, 3.17 e 3.18) como uma expressão matricial:

$$A \bullet T^{n+1} = B \bullet T^n + d \quad (3.19)$$

A solução numérica foi obtida para cada passo de tempo de 0.001 h e 10 divisões no raio.

Modelo 2

Este modelo foi formulado, partindo das seguintes considerações gerais:

1. A condução ou difusão constitui o mecanismo controlador.
2. A banana é representada pela forma geométrica de um cilindro finito com simetria axial e radial.
3. A temperatura do produto na superfície está em equilíbrio com a temperatura do ar de secagem.
4. O coeficiente de difusividade térmica não é considerado constante durante a secagem, neste caso varia com a temperatura do produto.
5. A banana é homogênea.
6. O encolhimento do produto durante a secagem é considerado desprezível.

Por se tratar de um modelo para cilindro finito faz-se necessária a definição da variável $z^* = z/Z_0$, onde $Z_0 = L_0/2$.

De forma similar ao desenvolvimento do modelo anterior, o modelo 2, em função dos números adimensionais definidos, é mostrado a seguir:

$$\frac{\partial T^*}{\partial t^*} = \frac{1}{r^*} \frac{\partial T^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial r^{*2}} + \frac{\partial^2 T^*}{\partial z^{*2}} \quad (3.20)$$

$$T^* = 0 \quad 0 < r^*, z^* < 1 \quad t^* = 0 \quad (3.21)$$

$$\frac{\partial T^*}{\partial r^*} = \frac{\partial T^*}{\partial z^*} = 0 \quad r^*, z^* = 0 \quad t^* > 0 \quad (3.22)$$

$$T^* = 1 \quad r^*, z^* = 1 \quad t^* > 0 \quad (3.23)$$

Para a solução numérica deste modelo foi utilizada uma combinação do método de Elementos Finitos de Segunda Ordem para a variável espacial com Crank-Nicolson para a variável temporal.

A opção pelos Elementos Finitos deveu-se às características locais do método, permitindo um “ajuste fino” dos valores calculados, além da ordem de aproximação, evidentemente, já que para elementos de segunda ordem, a aproximação local é de terceira ordem, isto é, o erro varia junto com o cubo do tamanho do passo ($\varepsilon \propto (\Delta r^3)$). No Apêndice C, são explicadas de forma geral as características deste método de acordo com MYERS (1971).

Neste caso, a difusividade térmica é ajustada a partir das temperaturas experimentais e calculadas, fazendo uso do "Shooting Method", ou seja calibrar o modelo 2 em cada passo do tempo mediante a atribuição de diferentes valores para a difusividade térmica em função da variação da temperatura do produto.

Modelo 3

Este modelo foi obtido como resultado de um ajuste dos valores experimentais da temperatura no centro da banana, considerando uma distribuição parabólica da temperatura no tempo de secagem, conforme foi reportado por AZZOUZ et al. (1996) para frutas, de acordo com um modelo logarítmico da forma:

$$T^* = \frac{T_i - T'_0}{T_e - T_0} = a + b \log_{10}(t) \quad (3.24)$$

onde, a e b são constantes que dependem das condições experimentais.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curvas teóricas de temperatura

O programa computacional desenvolvido para resolver o modelo 1 encontra-se no Anexo A. Neste caso, no processo de adimensionalização utilizado, a difusividade térmica foi incorporada ao número de Fourier, mas, em correspondência com as considerações estabelecidas, permanece um detalhe da aproximação: seu valor mantém-se constante por todo o processo. Esta é uma forma de simplificação comum nas modelagens de muitos meios isotrópicos, cujas propriedades físicas permanecem constantes, ou quase, em determinados limiares de temperatura. Com esta suposição, alguns ensaios computacionais foram efetuados, com resultados insatisfatórios, especialmente na parte inicial do processo, em que os valores calculados pelo modelo diferem dos valores obtidos experimentalmente, conforme indica a Figura 4, a título de ilustração.

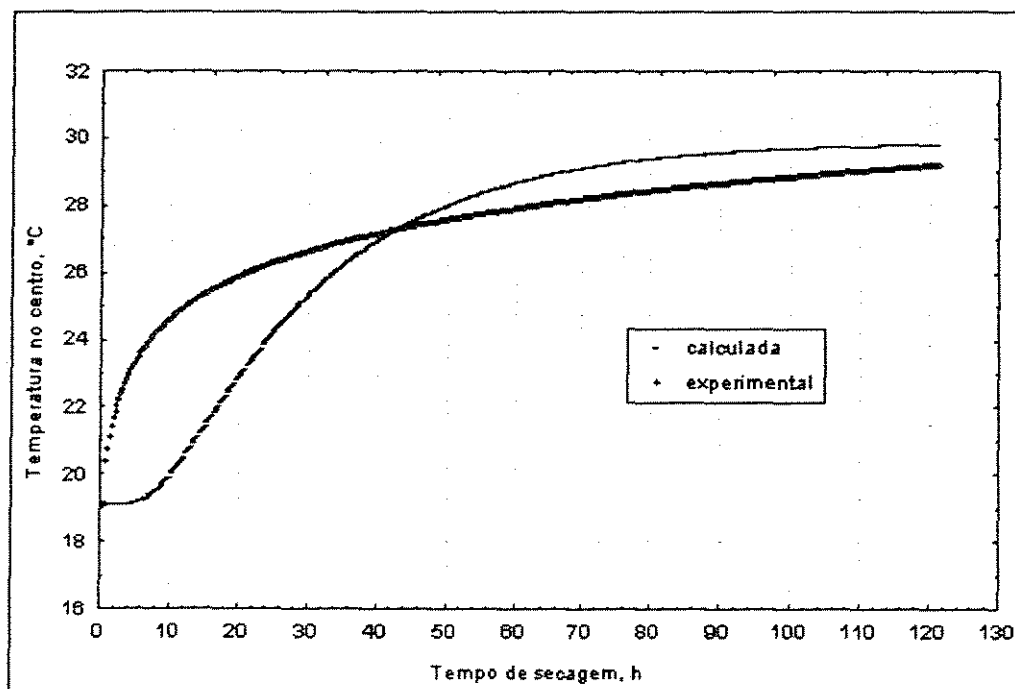


Figura 4. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro infinito e difusividade térmica constante ($1.429 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$) $T_{bs}=29.9$ e $UR=35.7\%$.

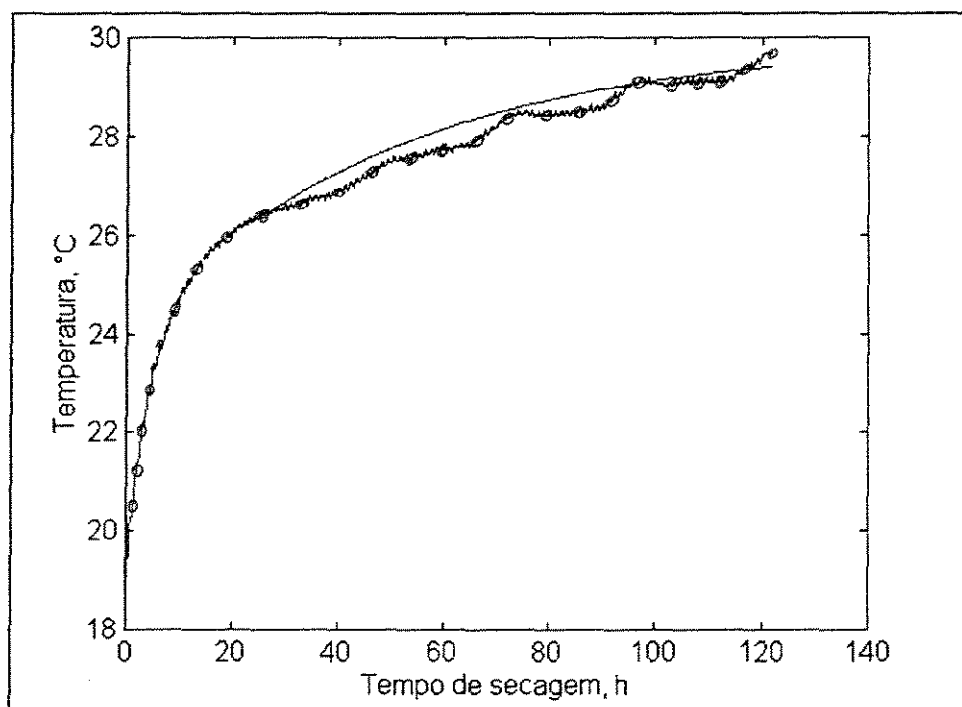
O gráfico indica a incapacidade do modelo de explicar adequadamente o comportamento experimental nos instantes iniciais, embora os resultados melhorem à medida que o tempo evolui. Isto pareceu indicar que as propriedades físicas do meio eram muito mais sensíveis às variações de temperatura do que previu o modelo clássico, que supôs uma difusividade térmica constante. É importante ressaltar que em todos os testes, observou-se o mesmo comportamento, ou seja, desvios entre a curva teórica ou calculada e a experimental, indicando a necessidade de modificar o modelo ou de se incluir algum outro efeito. De acordo com este resultado pode-se concluir que o modelo difusional 1 com as hipóteses estabelecidas não mostrou-se adequado para explicar o fenômeno de transferência de calor, neste caso o comportamento da temperatura, durante a secagem de bananas.

Posteriormente foram realizados alguns testes com cilindro infinito e difusividade térmica variável, cujos resultados não são apresentados neste trabalho, mas as curvas obtidas mostraram um comportamento similar ao caso anterior fundamentalmente nos instantes iniciais do processo, embora a diferença entre os pontos experimentais e calculados tenha diminuído.

A alternativa considerada a seguir consistiu de, a partir das temperaturas experimentalmente obtidas e fazendo uso do "Shooting Method", calibrar o modelo 2 em cada passo do tempo mediante a atribuição de diferentes valores para a difusividade térmica em função da variação da temperatura da banana. Isto foi feito, porém, não mais com uma combinação de Diferenças Finitas com o Método de Crank-Nicolson, mas combinando Elementos Finitos de Segunda Ordem com Crank-Nicolson.

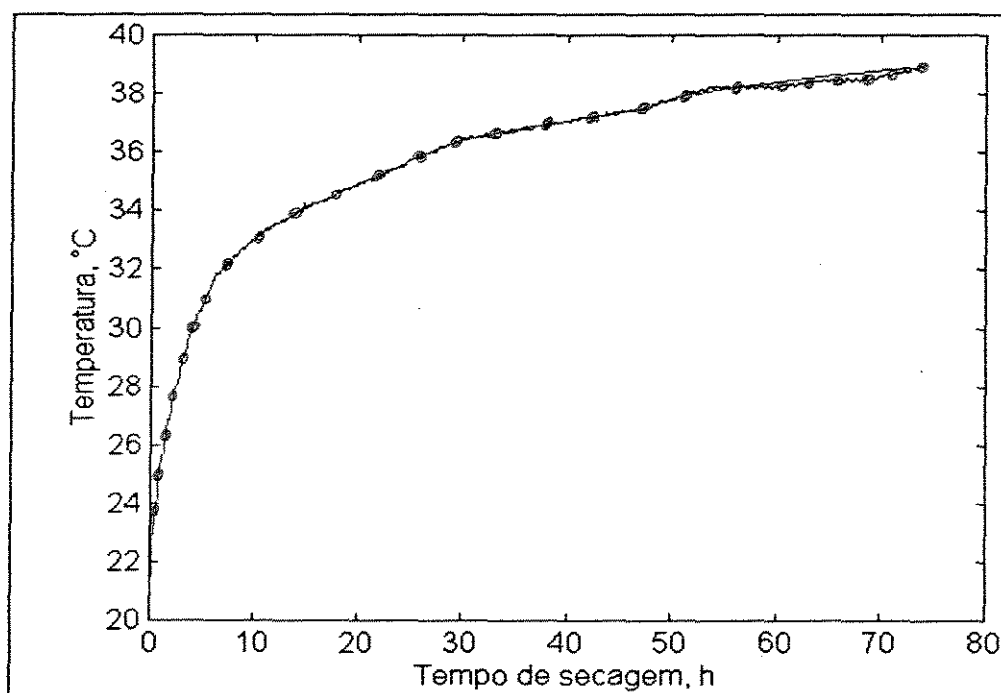
Este procedimento numérico corresponde a combinar o método da Bissecção no resultado, com a atribuição de valores para a difusividade térmica, até obter como resultado do comportamento numérico, valores próximos aos do comportamento experimental. Se trabalhou com malha de 10 subdivisões no raio da banana e passo de tempo de 0.001 hora. No Apêndice B pode ser observada a metodologia geral do método de elementos finitos.

Desta forma, os resultados obtidos para o modelo 2 utilizando-se uma difusividade térmica variando com a temperatura podem ser observados nas Figuras 5 a 10.



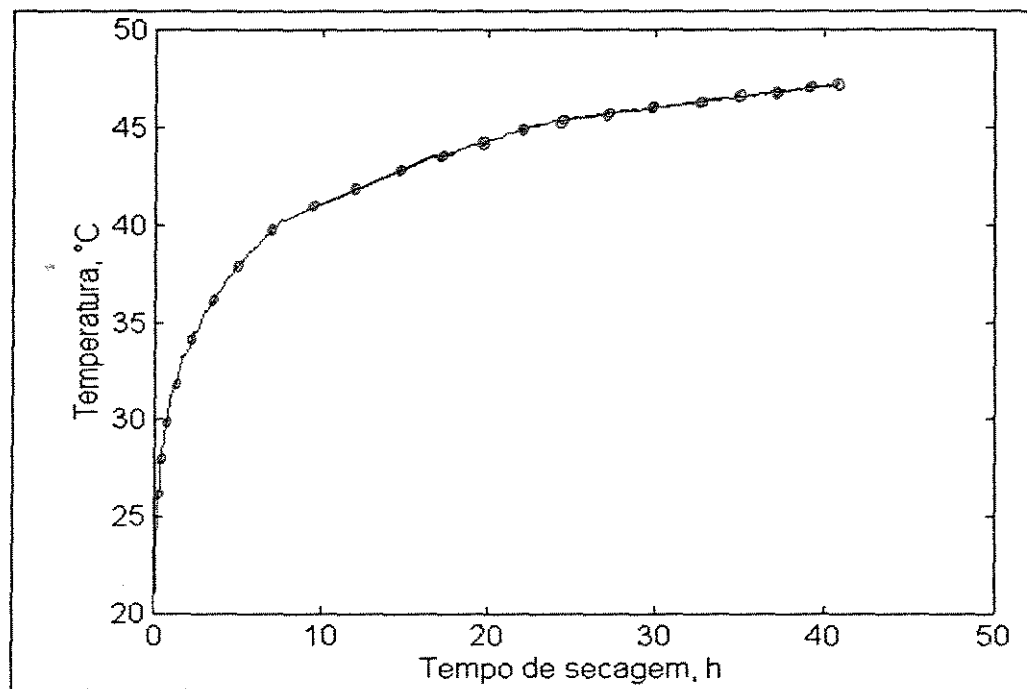
• curva experimental, --curva calculada

Figura 5. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=29.9$ e $UR=35.7\%$).



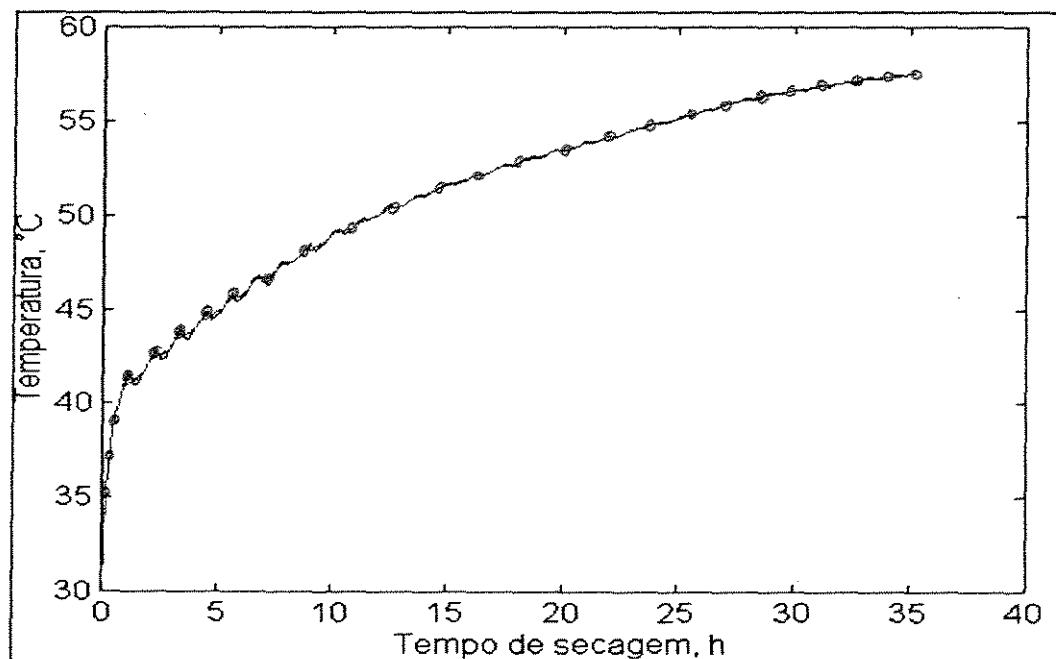
• curva experimental, --curva calculada

Figura 6. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=39.9$ e $UR=19.3\%$).



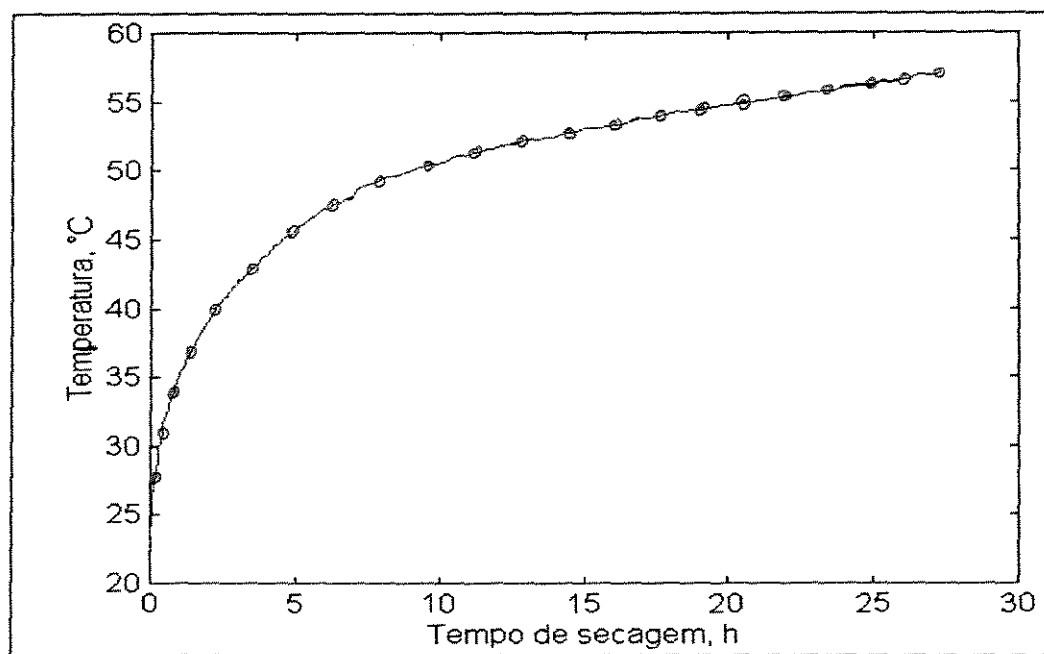
⊕ curva experimental, --curva calculada

Figura 7. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=49.9$ e $UR=19.2\%$).



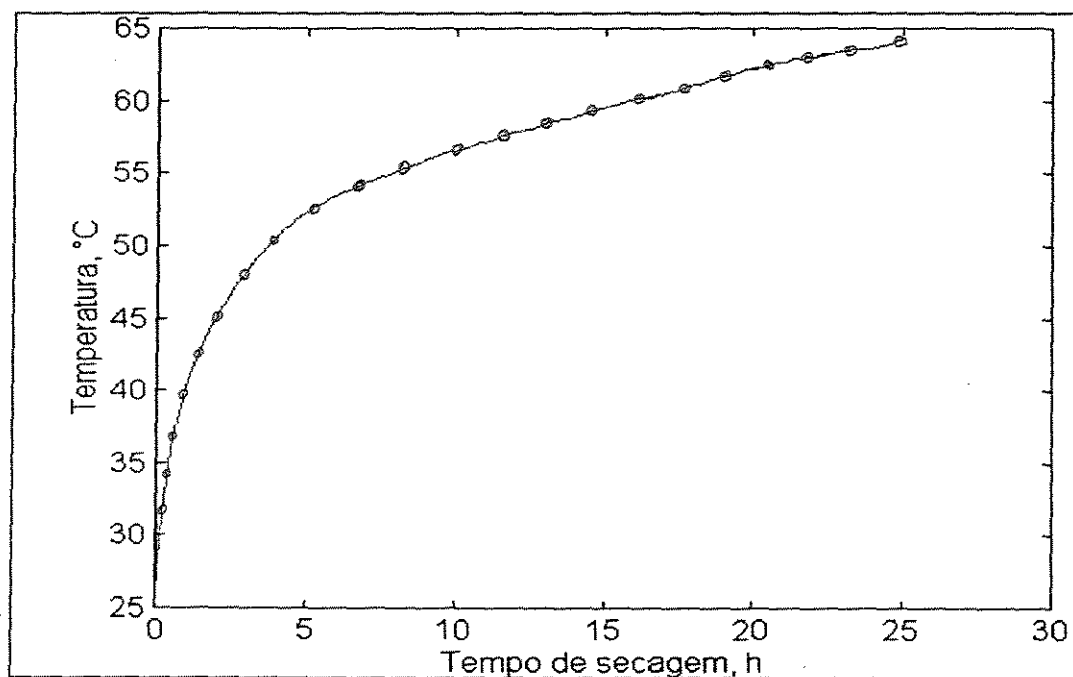
⊕ curva experimental, --curva calculada

Figura 8. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=60.2$ e $UR=19.9\%$).



⊕ curva experimental, --curva calculada

Figura 9. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=60.5$ e $UR=10.7\%$).



⊕ curva experimental, --curva calculada

Figura 10. Curva de Temperatura no centro da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=60.4$ e $UR=7.3\%$).

O que pudemos verificar foi que o fato de considerar a difusividade variável e geometria de cilindro finito melhorou notavelmente os resultados quando comparados com o caso anterior. Isto permitiu concluir que o fato de considerar a difusividade constante no primeiro modelo (para geometria de cilindro infinito) provocou um erro maior no início do período, justamente quando a difusividade está variando com o maior gradiente térmico.

Vale a pena ressaltar que estes valores calculados de difusividade térmica apresentaram a mesma ordem de grandeza que o valor reportado por ELANSARI e SINGH (1995), o qual foi de $1.044 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ para banana a 30 e 40°C.

Por outro lado, o fato de se considerar a difusividade térmica variável é fisicamente aceitável, posto que este coeficiente é função não só da temperatura do produto, mas também da umidade do sólido. Isto faz com que no início do processo de secagem a variação deste coeficiente seja mais acentuada em correspondência com as mudanças de umidade, observando-se uma clara tendência a ficar constante no final do processo quando o produto já perdeu uma grande quantidade de umidade ou está praticamente seco.

No Apêndice C podem ser observados os resultados das temperaturas calculadas para o centro da fruta, assim como os erros relativos para todos os testes experimentais.

Finalmente, ressaltam-se os bons resultados obtidos com o modelo para cilindro finito com a difusividade térmica variando com a temperatura do produto, o que pode ser verificado pela proximidade dos pontos experimentais à curva teórica ou calculada em todos os testes.

4.2 Perfis de temperatura no interior do produto

Nas Figuras 11 a 13 são apresentadas as distribuições de temperatura no interior da banana para diferentes condições do processo de secagem. Conforme a análise realizada por QUEIROZ (1994) para o caso da transferência de massa, neste trabalho serão discutidos os resultados dos estudos de transferência de calor para três condições de temperatura do ar de secagem estudadas.

Como pode ser observado nestas figuras os perfis de temperatura no raio apresentam um comportamento físico adequado sendo bem pronunciados como era esperado. Este fato deve-se à condição de fronteira de equilíbrio na superfície do produto.

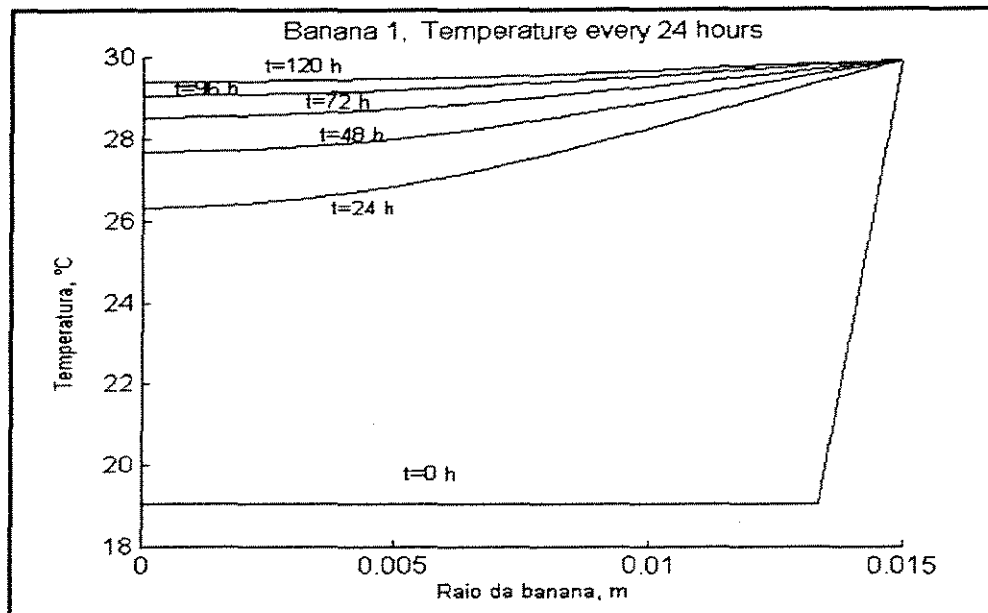


Figura 11. Curva de distribuição da temperatura no raio da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=29.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35.7\%$).

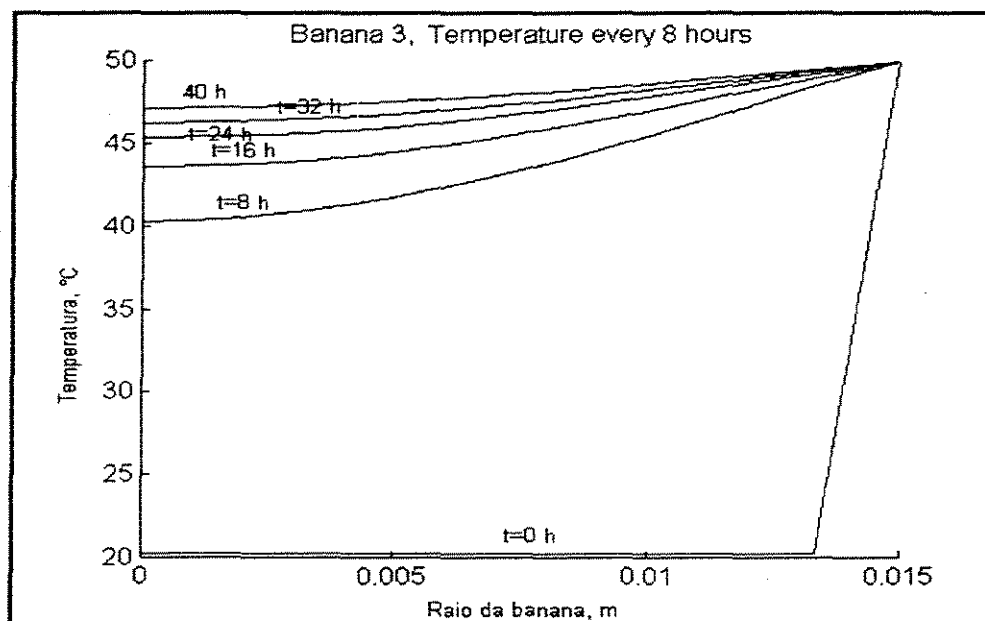


Figura 12. Curva de distribuição da temperatura no raio da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=49.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.2\%$).

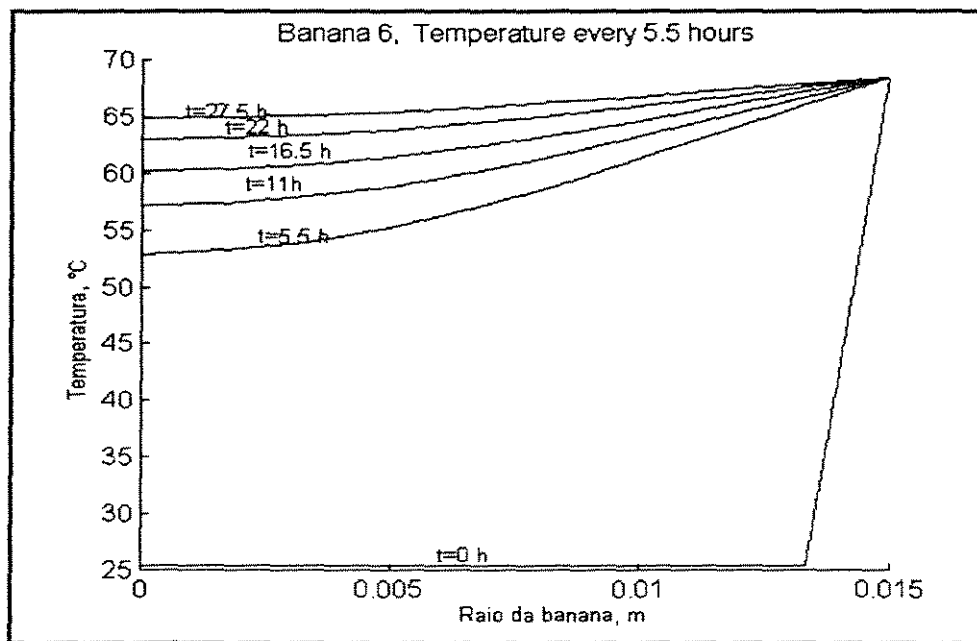


Figura 13. Curva de distribuição da temperatura no raio da banana calculada para geometria de cilindro finito ($T=68.4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7,30\%$).

Além disso, vale a pena ressaltar que em todos os casos o equilíbrio na superfície é atingido assintoticamente com um aumento relativamente rápido da temperatura do produto, a partir dos instantes iniciais do processo.

Um aspecto importante nesta análise é que ao se observar os resultados obtidos por QUEIROZ (1994) no estudo da umidade da banana, e analisar os comportamentos destas curvas pode-se concluir que as contribuições à transferência de umidade durante a secagem da fruta devidas aos gradientes térmicos são realmente significativas, principalmente no início do processo.

4.3 Coeficiente de difusividade térmica

As curvas de variação dos coeficiente de difusividade térmica em função da temperatura do produto para cada teste experimental são mostrados nas Figuras 14 a 19. Pode-se observar, a partir destes resultados que à medida que a temperatura do produto aumenta, a difusividade térmica diminui até ficar aproximadamente constante. Este comportamento foi observado em todos os experimentos, sendo que as maiores variações corresponderam justamente ao início do processo onde a fruta tinha um maior teor de umidade e onde se apresentaram os maiores gradientes térmicos.

Na prática, este comportamento tem uma explicação lógica posto que é conhecido que a difusividade térmica é função da temperatura e da umidade do produto. É oportuno comentar que a eliminação da água dos produtos agrícolas não constitui um processo neutro e na realidade a secagem destes provoca mudanças importantes nas propriedades físicas, químicas e biológicas modificando desta forma suas características inerentes.

Neste contexto, se considerou conveniente obter expressões matemáticas que permitiram correlacionar a difusividade térmica com a temperatura do produto, tal como são apresentadas por MOHSENIN (1980) para diversos produtos agrícolas. Assim, foram obtidos modelos matemáticos que correlacionam $\alpha=f(T)$, na forma de polinômios de quinta ordem. Os coeficientes destes modelos são apresentados na Tabela 2 para cada teste experimental, enquanto as curvas ajustadas para cada caso, podem ser observadas nas Figuras 14 a 19. Por outro lado, é importante ressaltar que na literatura consultada não foram encontradas expressões desta natureza para a banana, o que justifica de fato a importância dos modelos obtidos para predizer a difusividade térmica da banana dentro das condições experimentais estudadas.

Tabela 2. Coeficientes dos Polinômios da Quinta Ordem ajustados para o cálculo da difusividade térmica.

Teste	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	$5.84 \cdot 10^{-5}$	$-1.26 \cdot 10^{-5}$	$1.08 \cdot 10^{-6}$	$-4.65 \cdot 10^{-8}$	$9.96 \cdot 10^{-10}$	$-8.51 \cdot 10^{-12}$
2	$2.02 \cdot 10^{-5}$	$-3.35 \cdot 10^{-6}$	$2.20 \cdot 10^{-7}$	$-7.21 \cdot 10^{-9}$	$1.17 \cdot 10^{-10}$	$-7.56 \cdot 10^{-13}$
3	$4.37 \cdot 10^{-6}$	$-6.19 \cdot 10^{-7}$	$3.48 \cdot 10^{-8}$	$-9.71 \cdot 10^{-10}$	$1.34 \cdot 10^{-11}$	$-7.32 \cdot 10^{-14}$
4	$2.13 \cdot 10^{-5}$	$-2.32 \cdot 10^{-6}$	$1.01 \cdot 10^{-7}$	$-2.17 \cdot 10^{-9}$	$2.33 \cdot 10^{-11}$	$-9.93 \cdot 10^{-14}$
5	$4.45 \cdot 10^{-6}$	$-5.37 \cdot 10^{-7}$	$2.56 \cdot 10^{-8}$	$-6.02 \cdot 10^{-10}$	$6.99 \cdot 10^{-12}$	$-3.21 \cdot 10^{-14}$
6	$4.46 \cdot 10^{-6}$	$-4.91 \cdot 10^{-7}$	$2.13 \cdot 10^{-8}$	$-4.55 \cdot 10^{-10}$	$4.80 \cdot 10^{-12}$	$-1.99 \cdot 10^{-14}$

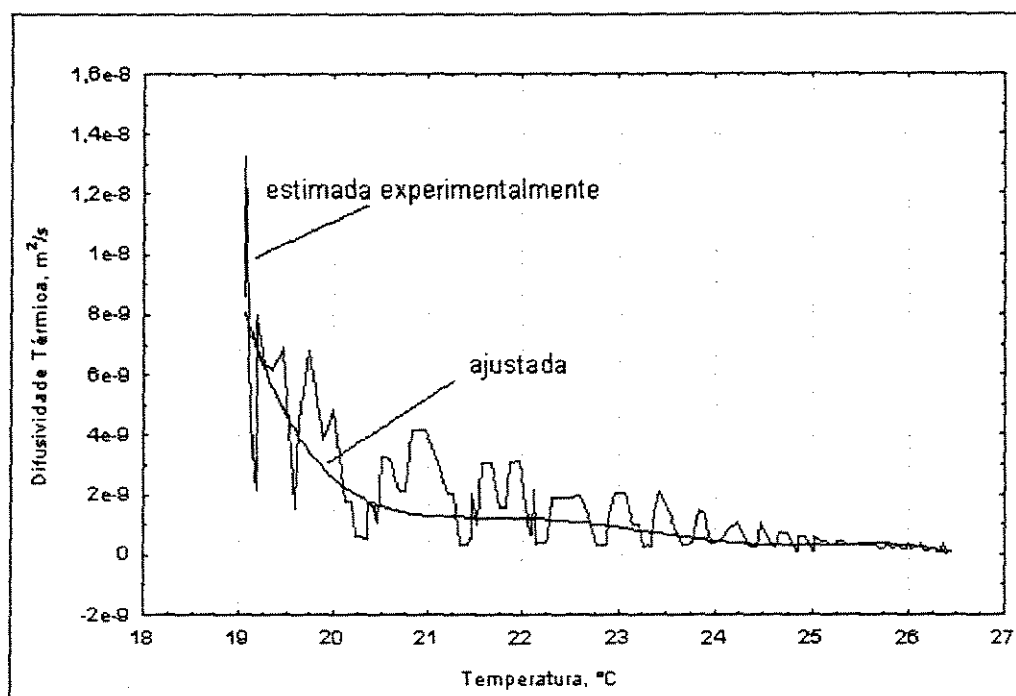


Figura 14. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=29.9^{\circ}C$ e $UR=35.7\%$.

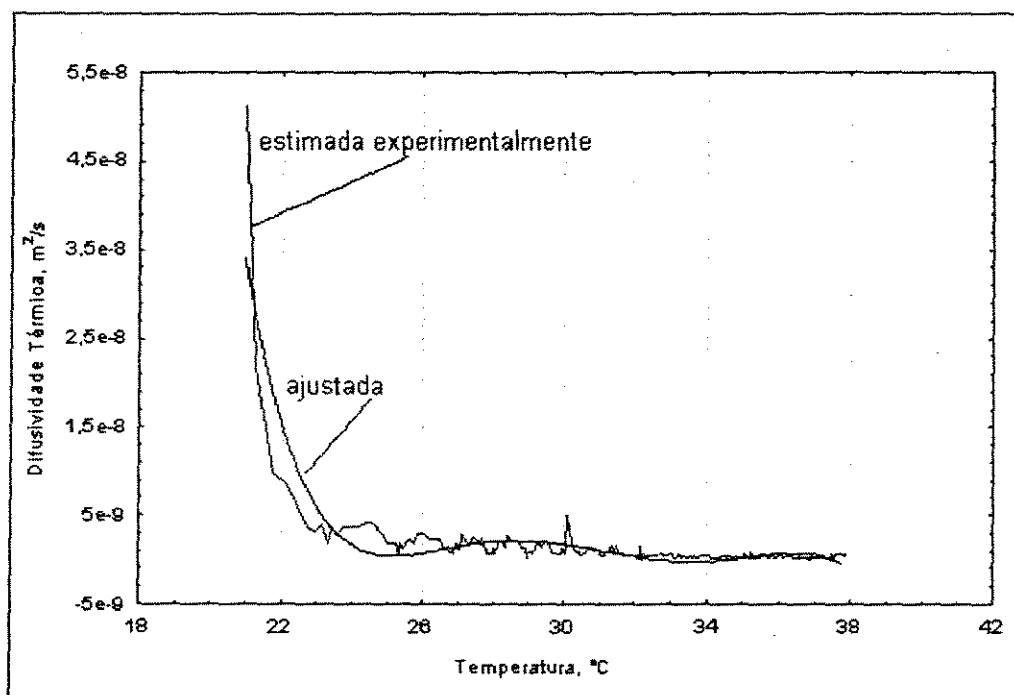


Figura 15. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=39.9^{\circ}C$ e $UR=19.3\%$.

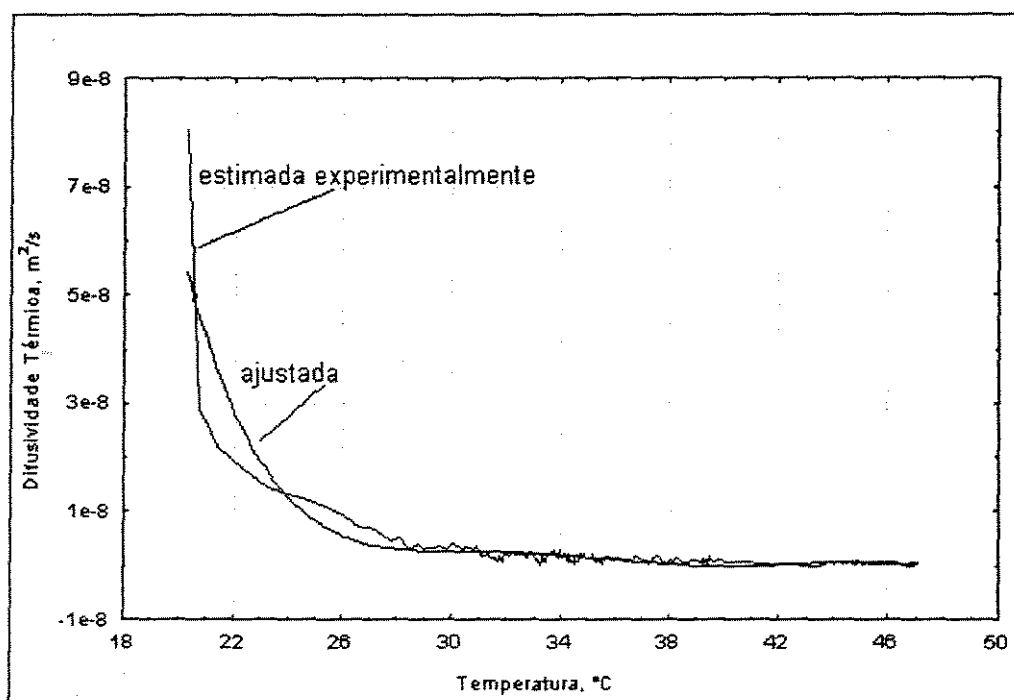


Figura 16. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=49.9^{\circ}C$ e $UR=19.2\%$.

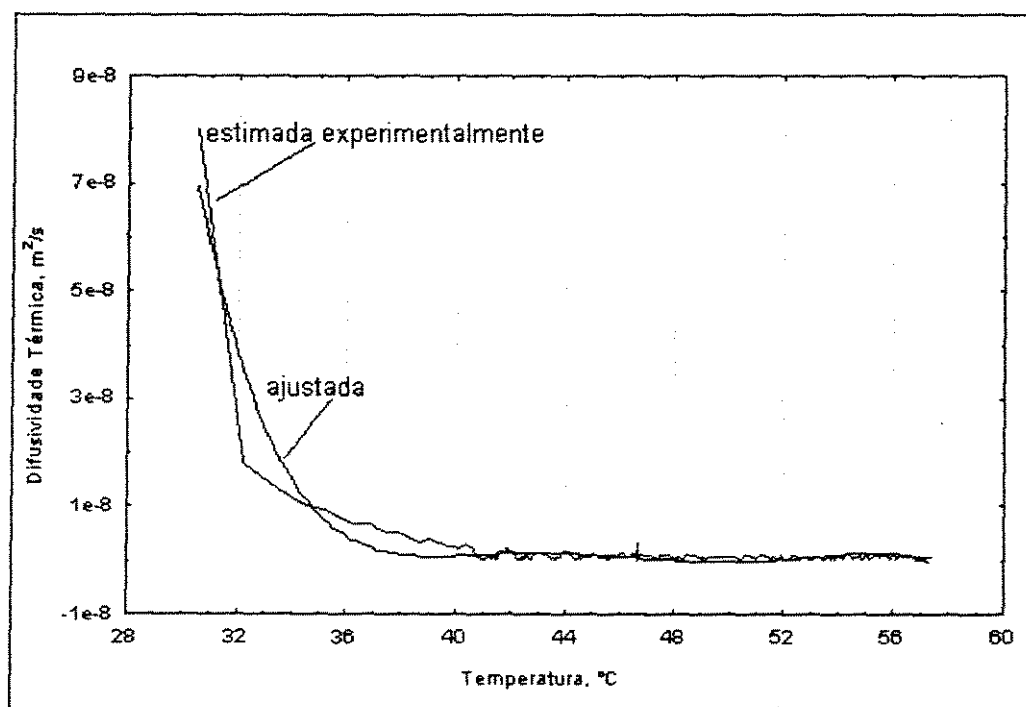


Figura 17. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=60.2^{\circ}C$ e $UR=19.9\%$.

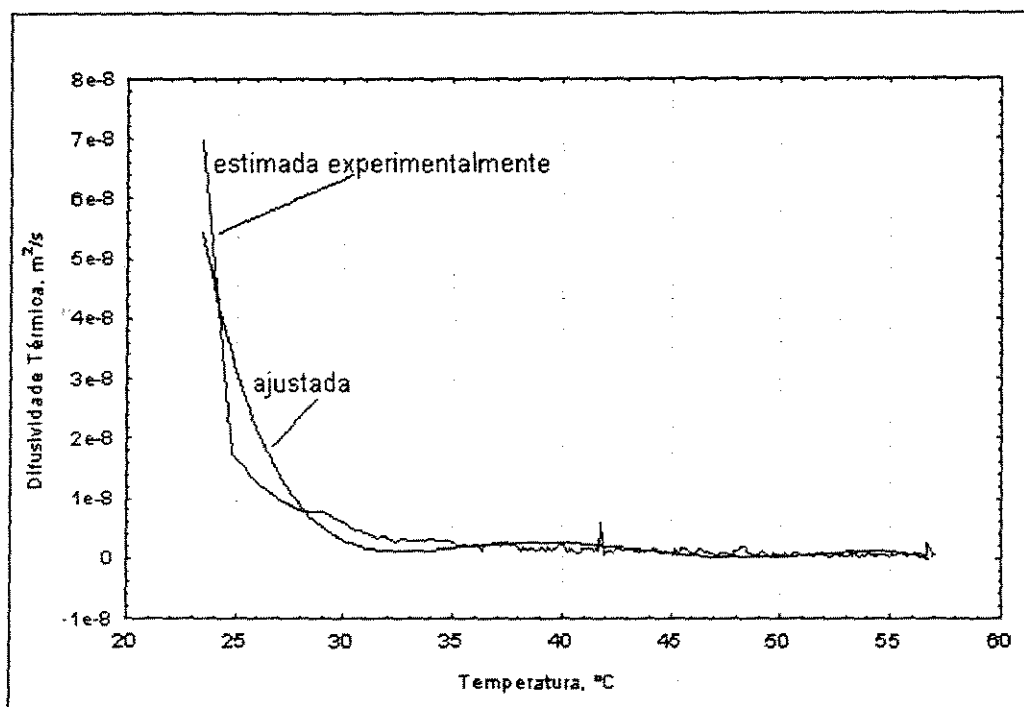


Figura 18. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=60.5^{\circ}C$ e $UR=10.7\%$.

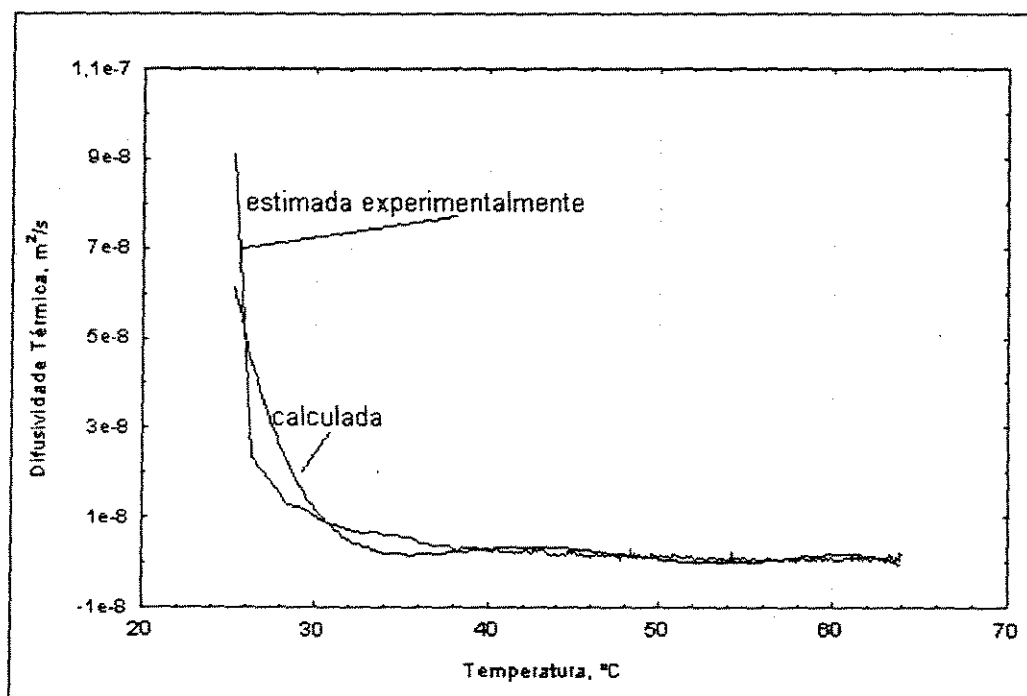


Figura 19. Difusividade térmica em função da temperatura do produto para $T=68.4^{\circ}C$ e $UR=7.3\%$.

4.4 Curvas de evolução da temperatura do produto

Por último, se considerou interessante mostrar através de curvas de superfície a evolução da temperatura do produto no tempo de secagem e no raio da banana. Estas curvas para cada teste experimental podem ser observadas nas Figuras 20 a 25. Como pode-se observar através destas curvas é possível representar de forma integral o comportamento da temperatura do produto ao longo do processo de secagem, notando-se claramente como evolui a temperatura da banana desde as condições iniciais até atingir a condição de equilíbrio na superfície desta, para cada posição no raio e para os diferentes instantes de tempo.

De acordo com os resultados mostrados, para o caso dos testes onde as temperaturas do ar de secagem são relativamente altas (entre 50-70°C) se observa um rápido incremento da temperatura do produto para pequenos intervalos de tempo. Isto é devido à presença de altos gradientes térmicos.

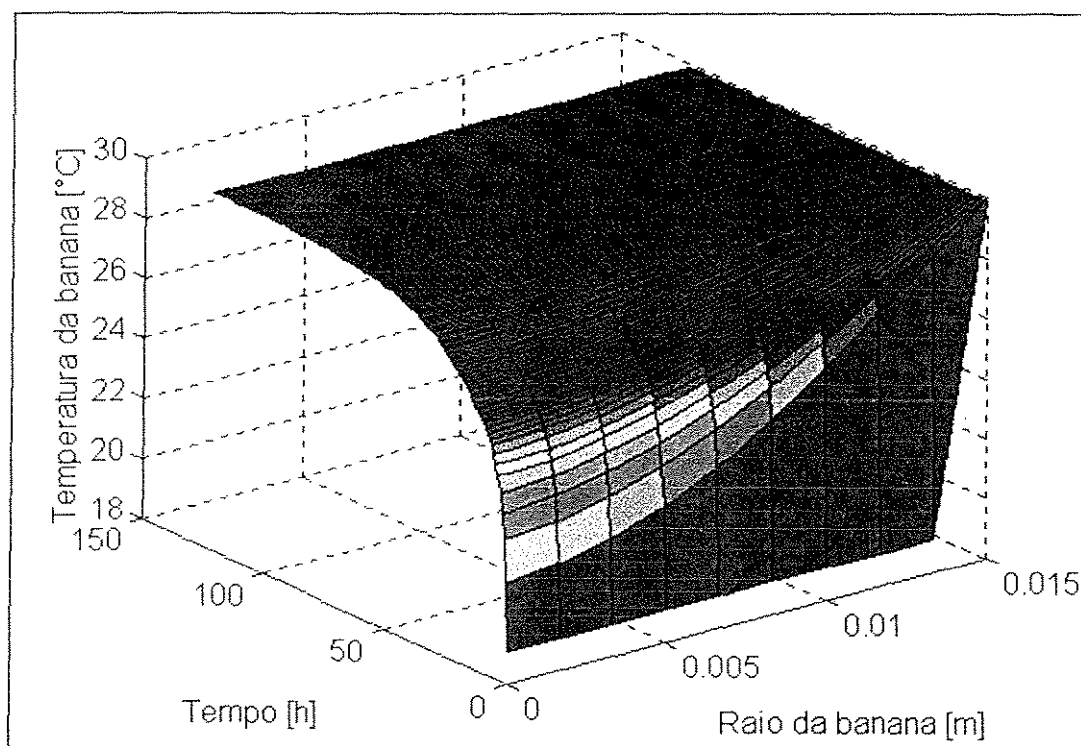


Figura 20. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=29.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=35.7\%$.

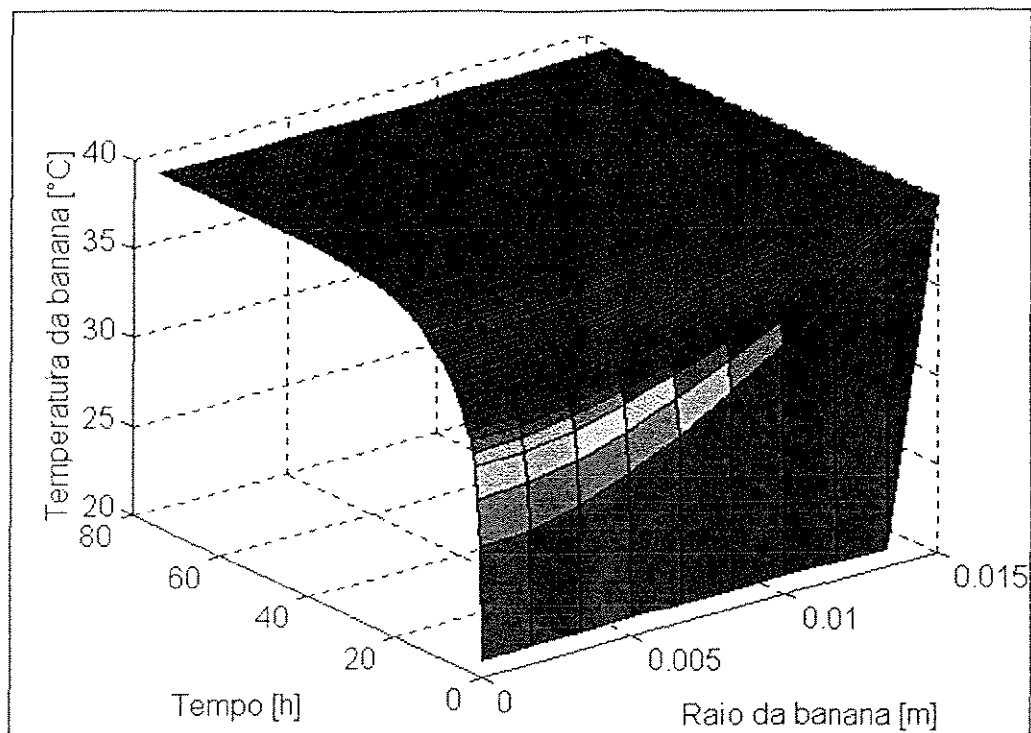


Figura 21. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=39.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.3\%$.

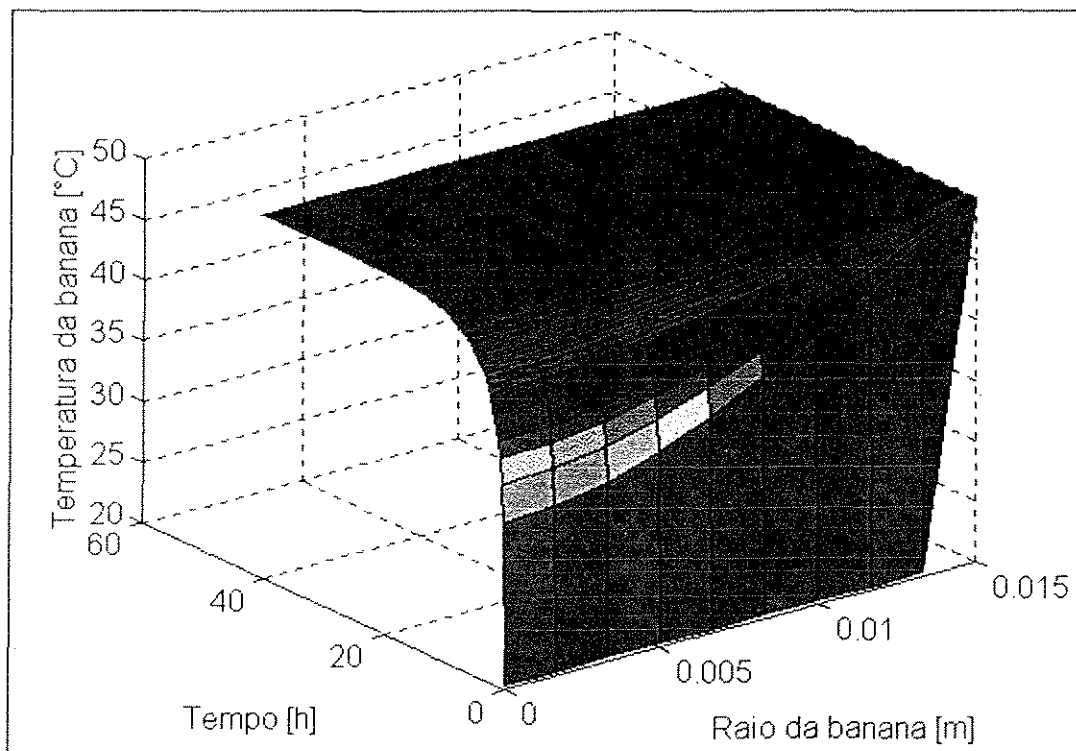


Figura 22. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=49.9^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.2\%$.

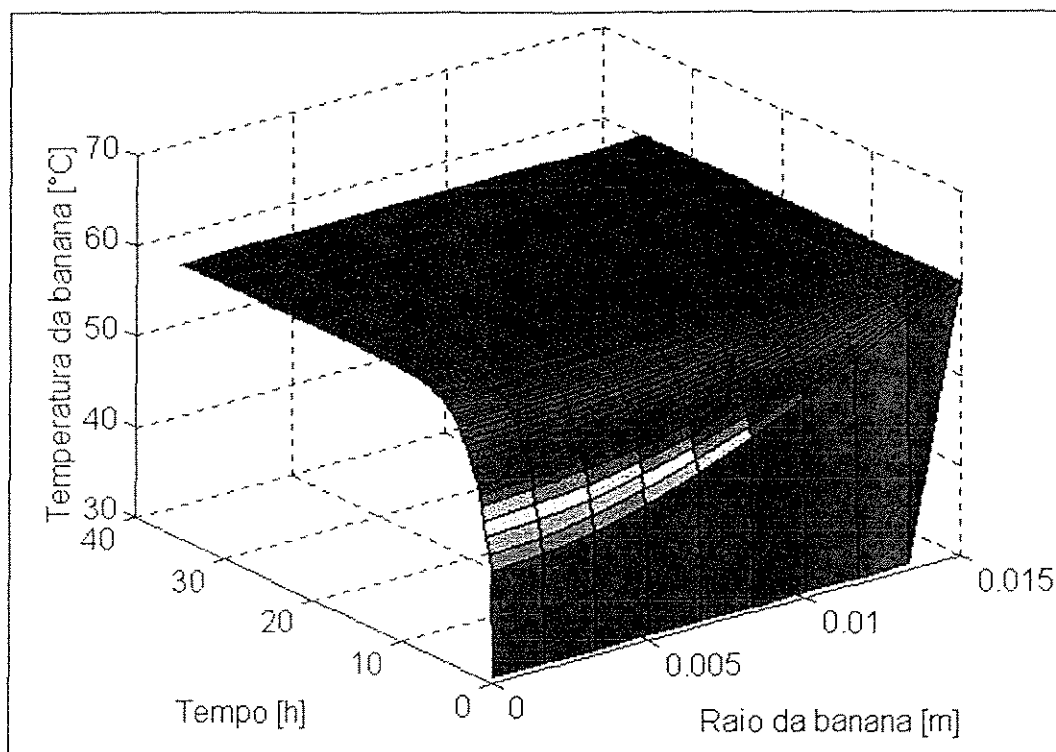


Figura 23. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=60.2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.9\%$.

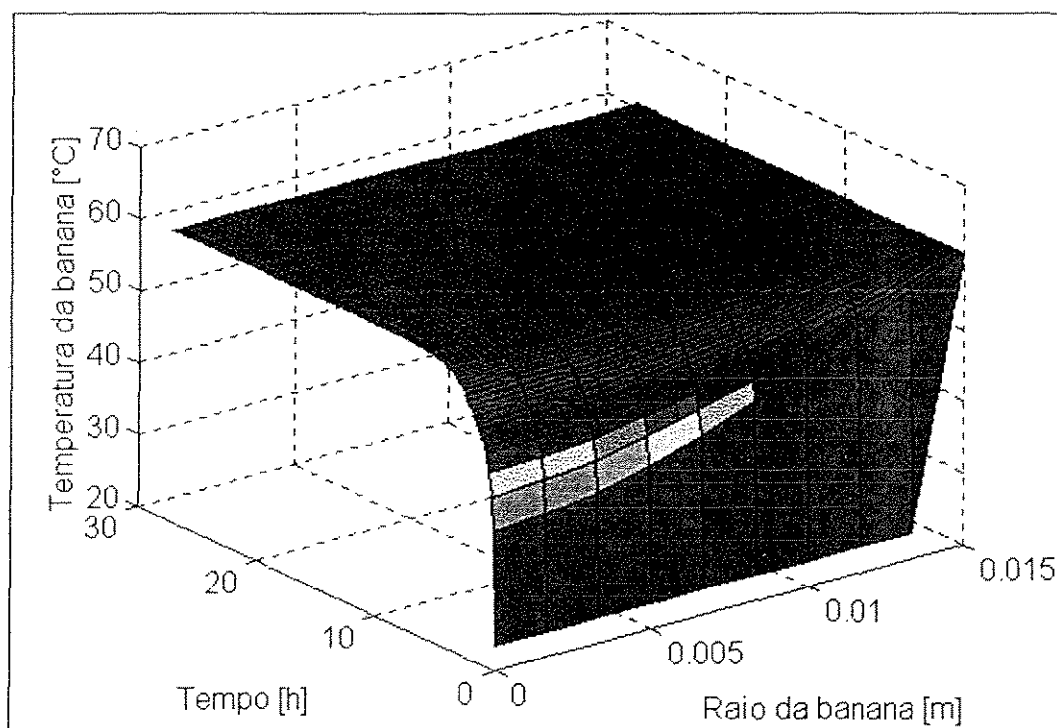


Figura 24. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=60.5^{\circ}\text{C}$ e $UR=10.3\%$.

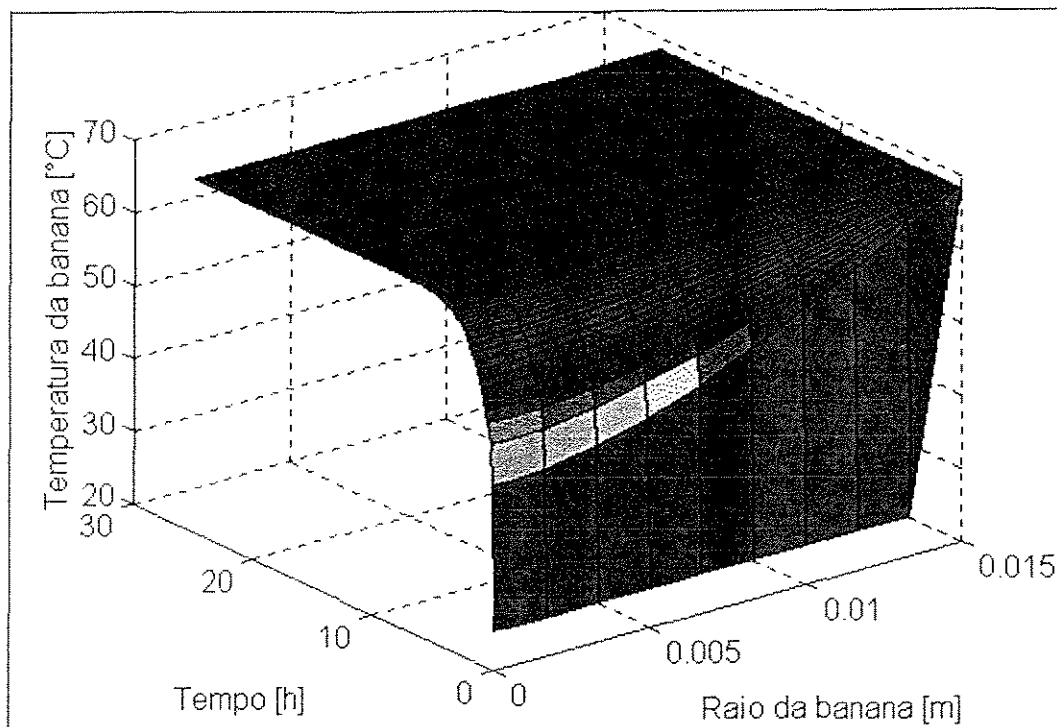


Figura 25. Evolução da Temperatura no tempo e no raio da banana para geometria finita e para $T=68.4^{\circ}\text{C}$ e $UR=7.3\%$.

4.5 Curvas cinéticas obtidas com o modelo logarítmico

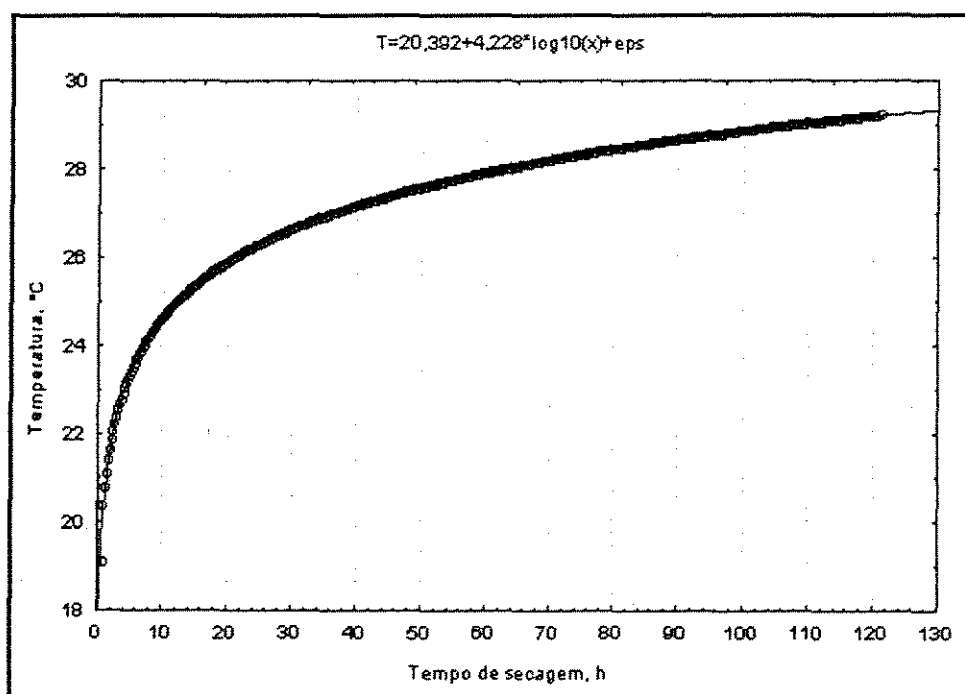
Nas Figuras 26 a 31 são mostradas as curvas experimentais da evolução da temperatura da fruta ao longo do tempo de secagem para cada um dos testes realizados, utilizando o modelo 3, enquanto a Tabela 3 mostra os valores dos coeficientes ajustados a e b .

Tabela 3. Coeficientes do modelo logarítmico ($T = a + b * \log_{10}(t)$).

TESTE	a	b
1	20,392	4,228
2	25,837	7,018
3	31,219	9,885
4	39,585	10,381
5	35,973	14,214
6	41,074	15,688

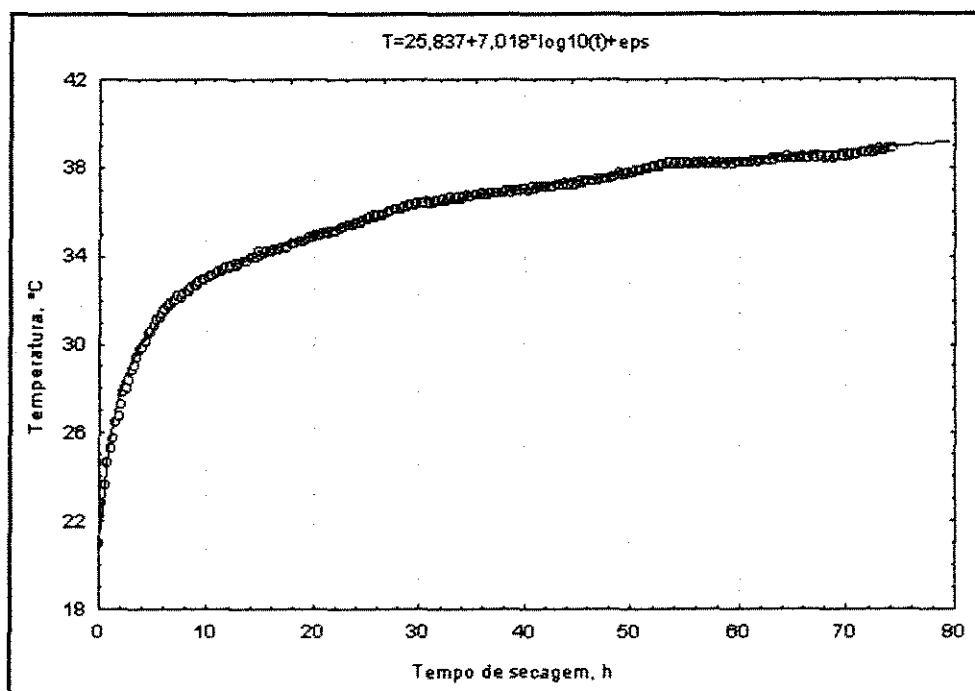
Cabe ressaltar que apesar dos excelentes resultados obtidos com a utilização deste modelo constata-se a impossibilidade da avaliação dos fenômenos físicos presentes no processo.

Como pode ser observado nestas figuras foram obtidos resultados muito bons a partir do ajuste realizado.



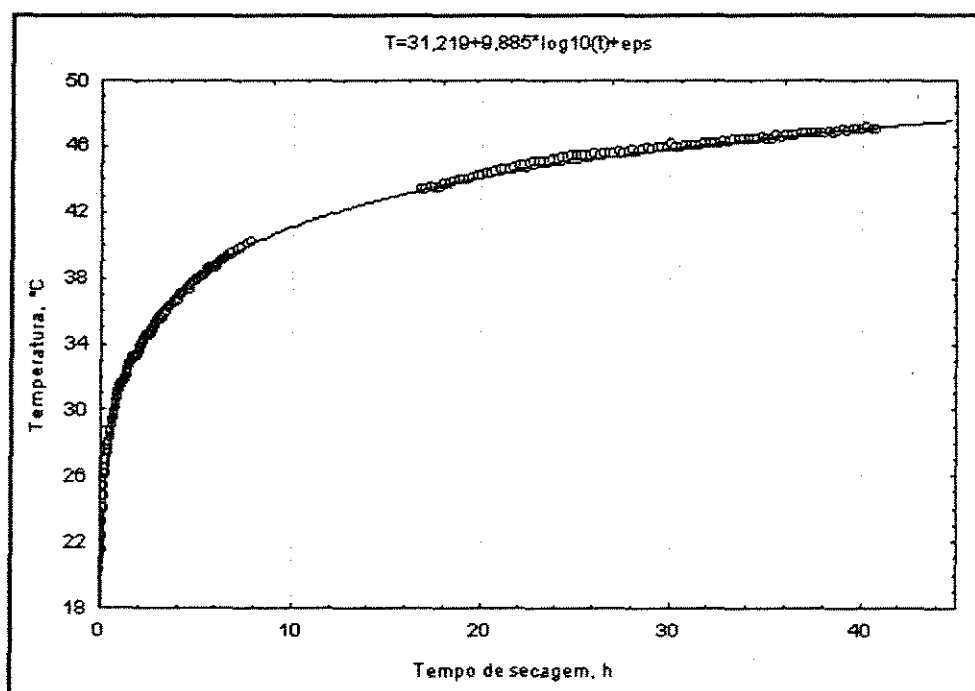
o curva experimental, - curva calculada

Figura 26. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=29,9^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR}=35,7\%$.



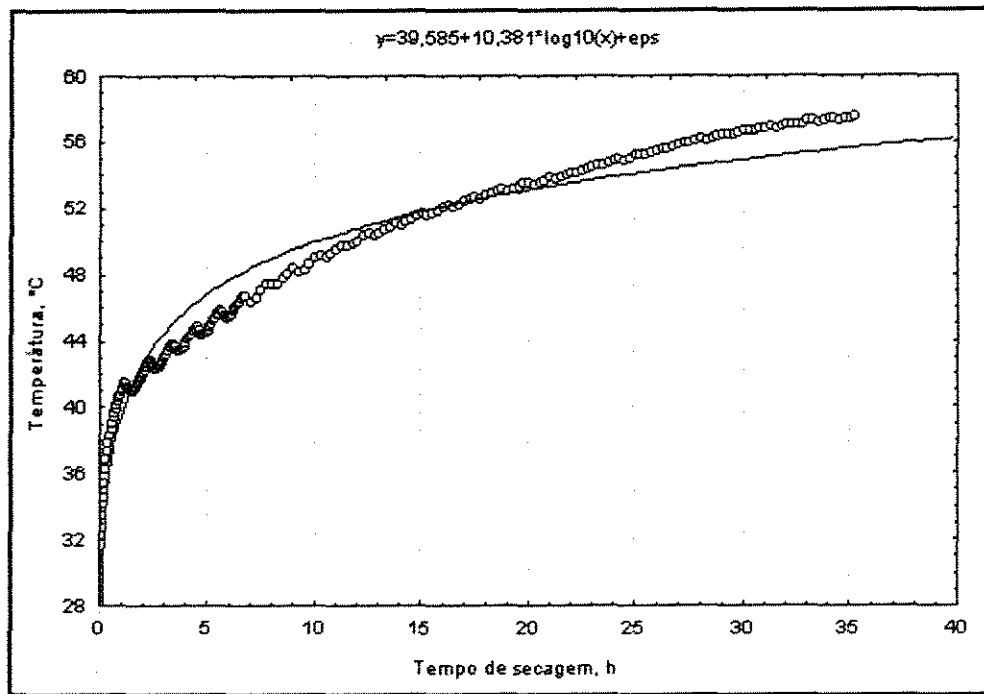
o curva experimental, - curva calculada

Figura 27. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=39.9^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR}=19.3\%$.



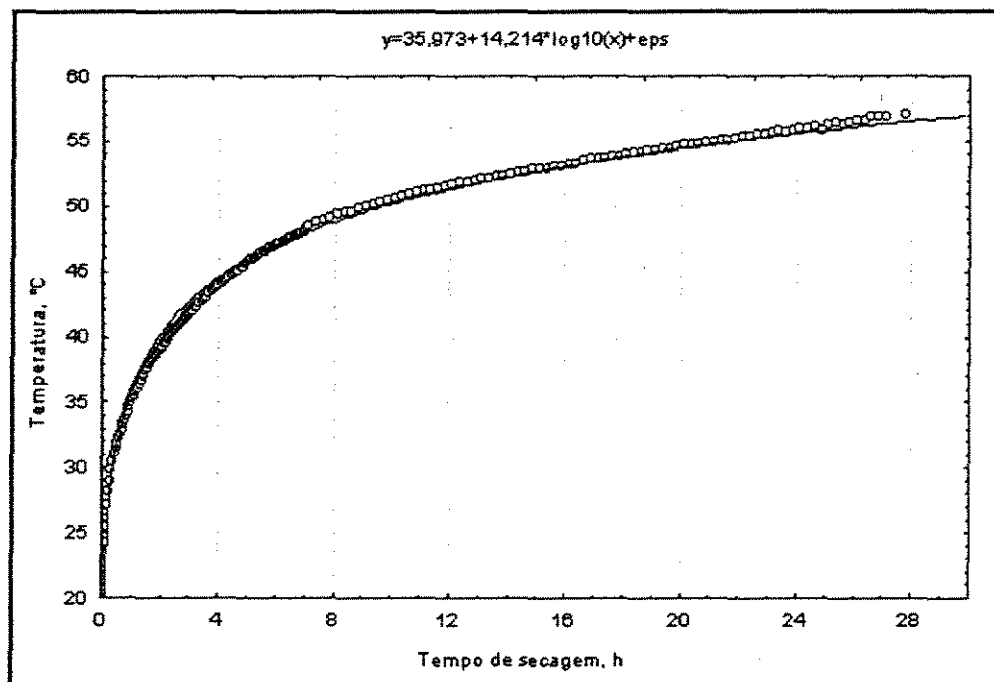
o curva experimental, - curva calculada

Figura 28. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=49.9^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR}=19.2\%$.



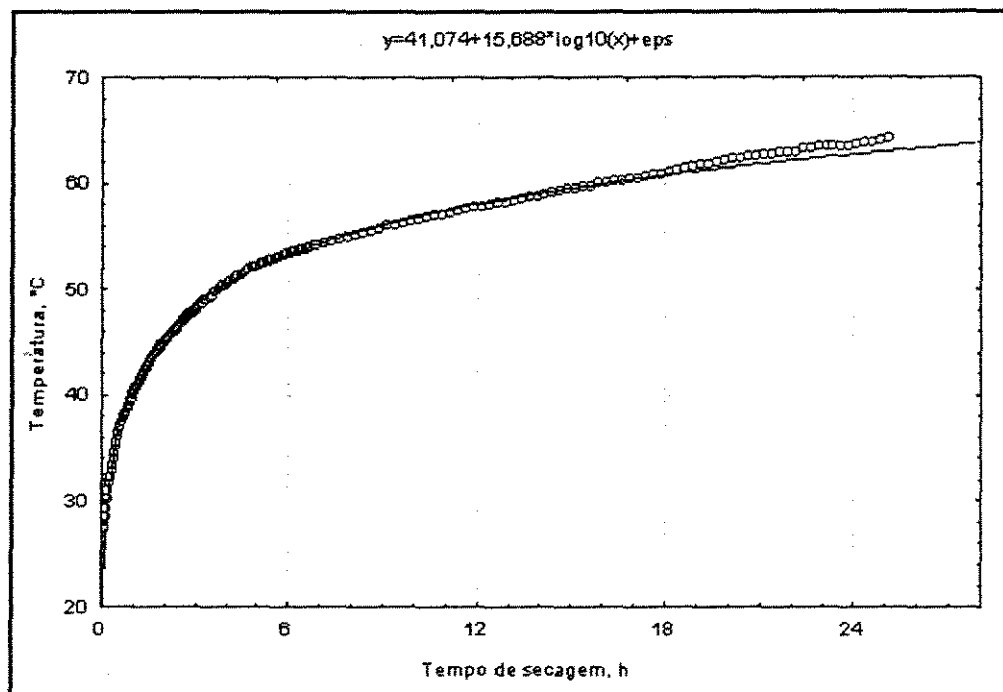
o curva experimental, - curva calculada

Figura 29. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=60.2^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.9$.



o curva experimental, - curva calculada

Figura 30. Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=60.5^{\circ}\text{C}$ e $UR=10.7\%$.



o curva experimental, - curva calculada

Figura 31 Curva cinética de Temperatura do produto vs Tempo de secagem para $T=68.4^{\circ}\text{C}$ e $\text{UR}=7.3\%$.

V. CONCLUSÕES

- O modelo difusivo para cilindro infinito com coeficiente de difusividade constante e condição de contorno de equilíbrio na superfície da banana não se mostrou adequado para descrever o comportamento da temperatura do produto durante a secagem.
- O modelo difusivo para cilindro finito com difusividade variável representou muito bem o comportamento da temperatura no centro da banana durante o tempo total de secagem, com boas proximidades entre o valor experimental e o calculado.
- O método numérico de Elementos Finitos de Segunda Ordem combinado com Crank-Nicolson se mostrou adequado para resolver o modelo difusivo para geometria cilíndrica finita para uma malha de 10 subdivisões no raio da banana e passo de tempo de 0.001 hora.
- Foram observados gradientes de temperatura significativos no interior da fruta.
- Foram obtidos modelos empíricos para estimar o Coeficiente de Difusividade Térmica em função da temperatura do produto.
- Foi possível descrever o comportamento da temperatura da banana durante a secagem através de gráficos de superfície onde se mostrou de forma integrada a evolução da temperatura no tempo e no raio da fruta para todas as condições experimentais.
- O modelo logarítmico usado também representou muito bem o comportamento da temperatura da banana durante a secagem.

VI. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Determinar experimentalmente as propriedades termofísicas da banana.
- Incluir o fenômeno convectivo na modelagem.
- Estudar os fenômenos acoplados de transferência de calor e massa.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABALONE, R. M.; LARA, M. A.; GASPAR, R.; and PIACENTINI, R. D. "Drying of Biological Products with Significant Volume Variation. Experimental and Modeling Results for Potato Drying". Drying Technology, v.12(3), p. 629-647, 1994.
- ALZAMORA, S.M.; CHIRIFE, J.; VIOLLAZ, P. A "Simplified model for predicting the temperatures of foods during air dehydration". Journal Food Technol. v.14 (4), p. 369-380, 1979.
- ANDRADE, J. S. M.; CHIRIFE, J.; VOILAZ, P. "Cinética de desidratção ambiental de banana-prata (Musa Sp) em diversas fases de amadurecimento". Revista Brasileira de Tecnologia, v. 11(1), 23-33, 1980.
- AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; and BELGUTH, A. "Experimental analysis of heat and mass transfer during grape air drying". Drying '96 - Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS '96) Kraków, Poland, 30 July - 2 August 1996, v. B., p. 881 - 887. 1996.
- BALABAN, M. "Effect of volume change in foods on the temperature and moisture content predictions of simultaneous heat and moisture transfer models". Journal Food Process Eng., v.12(1), p. 67-88, 1989.
- BARROZO, M. A. S. "Heat and mass transfer between air and soybean seeds in a crossflow moving bed". Doctorate Thesis, 163p., Federal University of São Carlos, Brazil, 1995.
- BARROZO, M. A. S.; SARTORI, D. J. M.; and FREIRE, J. T. "Simultaneous heat and mass transfer during the drying of the soybean seeds in a crossflow moving bed". Drying '96 - Proceedings of the 10th

International Drying Symposium (IDS '96) Kraków, Poland, 30 July - 2 August 1996, v. B., p. 873 - 880. 1996.

BEN MABROUK, S.; BELGHITH, A. "Numerical Simulation of the Drying of a Deformable Material: Evaluation of the Diffusion Coefficient". Drying Technology v.13(8&9), p. 1789-1805, 1995.

BEN NASRALLAH, S.; ARNAUD, G. "Etude des transferts bidimensionnels de chaleur et de masse lors du séchage par convection naturelle d'une plaque poreuse verticale chauffée par un flux constant". International Journal Heat and Mass Transfer. v.32(8), p. 1529-1539, 1989.

BOUKADINA, N.; BEN NASRALLAH, S. "Two Dimensional Heat and Mass Transfer During Convective Drying of Porous Media". Drying Technology v.13(3), p. 661-694, 1995.

CARNAHAN, B.; LUTHER, H.; WILKES Applied numerical methods. USA, p. 429-451, 1968. Cap. 7.

CRANK, J. The Mathematics of Difusion. Oxford Univ. Press Amen House, London. 1956.

DONGSHAN, Z.; MUJUMDAR, A.S. "Deformation and Stress Analysis of Porous Capillary Bodies During Intermittent Volumetric Thermal Drying". Drying Technology v.10(2), p. 421-443, 1991.

ELANSARI, A.; SINGH, R. " Simultaneous determination of thermal diffisivity and thermal conductivity using differential scanning calorimeter". IFT Annual Meeting. University de California, USA, 1995.

ELSAYED, MOUSTAFA, M. "Mathematical modelling of a thin layer solar kiln". Journal of Solar Energy Engineering Transactions of the ASME, v. 112(3), p. 196 - 203, Aug. 1990.

FORTES, M.; OKOS, M.R. "Drying theories: their bases and limitations as applied to foods and grains". In: MUJUMDAR, A.S. Advances in drying, Hemisphere Pub. Co., Washington, v.1, p. 117-154, 1980.

FORTES, M. "Um estudo fundamental das equações de transporte de massa e energia em meios capilares porosos". Tese para Concurso de Professor Titular. Departamento de Engenharia Térmica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 1982.

FRANCA, A.S.; FORTES, M.; HAGHIGHI, K. "Numerical Simulation of Intermittent and Continuous Deep-Bed Drying of Biological Material". Drying Technology v.12(7), p. 1537-1560, 1994.

FUSCO, A.J.; AVANZA, J.R.; AGUERRE, R.J.; and GABITTO, J.F. "A Diffusional Model for Drying with Volume Change". Drying Technology v.9(2), p. 397-417, 1991.

GENTRY, J.P.; MILLER, M.W.; CLAYPOOL, L.L. "Engineering and fruit quality aspects of prune dehydration in parallel and counter-flow tunnels". Food Technol. v.19, p. 1427-1431, 1965.

HAENDLER, L. "Produits de transformation de la banane". Fruit. v.21(7), p. 329-342, 1966.

HAGHIGHI, K.; IRUDAYARA, J.J.; STROSHINE, R.L.; SOKHANSANJ, S. "Grain kernel drying simulation using the finite element method". Transactions of the ASAE, v.33(6), p. 1957-1965, 1990.

HAWLADER, M. N. A.; HO, J. C.; QUING, Z. "Temperature and moisture distribution within materials undergoing shrinkage during drying". Drying '96 - Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS '96) Kraków, Poland, 30 July - 2 August 1996, vol. A, p. 120 - 128.

HUSAIN, A.; CHEN, C.S.; CLAYTON, J.T. "Simultaneous heat and mass diffusion in biological materials". Journal Agricultural Engeneering Resources v.18, p.343-354, 1973.

IGBEKA, J.C. "Simulation of moisture movement during drying a starchy food product - cassava". Journal Food Technol, v.17(1), p. 27-36, 1982.

ISAEV, S.M.; KARRSHINSKIJ, B.E. "Static and Dynamic Properties of Multi-Layer Fruit Drying Chamber in Solar Dryer". Geliotekika. n^o 2, p. 38-46, 1994.

JAROS, M. CENKOWSKI, D.S.; JAYAS, S.; PABIS, S. "A Method of Determination of the Diffusion Coefficient Based on Kernel Moisture Content and its Temperature". Drying Technology v.10(1), p. 213-222, 1992.

KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B.; MARINOS-KOURIS, D. "Model Selection in Air Drying of Foods". Drying Technology v.10(4), p.1097-1106, 1992.

KISSELOFF, P. "Interrelation between Heat and Mass Transfer During Drying of Wood". Drying Technology v.12(8), p. 2087-2096, 1994.

KOMPANY, E.; BENCHIMOL, J.; ALLAF K.; AINSEBA, B.; BOUVIER, J. M. "Carrot dehydration for instant rehydration: Dehydration kinetics and modeling". Drying Technology. v. 11(3) May, p. 451-470, 1993.

KRISCHER, O. "Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik" (The Scientific Fundamentals of Drying Technology), 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin, Gottingen Heidelberg, 1963, p165.

LAGUERRE, J. C.; LEBERT, A.; TRYSTRAM, G.; BIMBENET, J. J. "Compartmental model to describe drying curves of foodstuffs under variable conditions". Drying '91 7 Int. Drying Symp. Drying conjunction CSISA 90 Congr. Publ by Elsevier Science Publisher B. V., Amsterdam, Neth. p.361-368, 1991.

LAMBERG, I. "Studies of water transport phenomena during potato drying". Journal Food Process Eng. v.10(4), p. 285-299, 1989.

LANG, W.; SOKHANSANJ, S.; ROHANI, S. "Dynamic Shrinkage and Variable Parameters in Bakker-Arkema's Mathematical Simulation of Wheat and Canola Drying ". Drying Technology v.12(7), p. 1687-1708, 1994.

LOMAURO, C.J.; BAKSHI, A.S. "Finite Elements Analysis of Moisture diffusion in Storage Foods." Journal Food Science. v.50, p.392-396, 1985.

MATTEA, M.; URBICAIN, M.J.; ROTSTEIN, E. "Effective thermal conductivity of cellular tissues during drying: prediction by a computer assisted model". Journal Food Science. v.54(1), p.194-197, 1989.

MAROULIS, Z.B.; KIRANOUDIS, C.T.; MARINOS-KOURIS, D. "Simultaneous estimation of heat and mass transfer coefficients in externally controlled drying". Journal Food Eng., v.14(3), p.241-255, 1991.

- MARTINEZ-VERA, C.; GALAN-DOMINGO, O.; VIZCARRA-MENDOZA, M.; and RUIZ-MARTINEZ, R. "Prediction of Moisture Content Evolution in Grain Batch Dryer Based on On-Line Temperature Measurements". Drying Technology v.13(8 & 9), p.2123-2131, 1995.
- MIKETINAC, M. J.; SOKHANSANJ, S.; TUTEK, Z. "Determination of the Heat and Mass Transfer Coefficients in Thin Layer Draying of Grain". Transations of the ASAE, v. 35(6), p. 1853 - 1858, Nov - Dec 1992.
- MOHSENIN, N. N. Thermal Properties Of Foods And Agricultural Materials. Gordon and Breach Science Publisher, Inc. New York, 1980.
- MOWLAH, G.; TAKANO, K.; KAMOI, I.; OBARA, T. "Water transport mechanism and some aspects of quality changes during air dehydration of bananas". Lebensm.-Wiss.Technol., v.16 (2), p. 103-107, 1983.
- MULET, A.; ROSSELLO, C.; PINAGA, F.; CARBONELL, J.V.; BERNA, A. "Mechanism and kinetics of carrot drying with heated air". Revista de Agroquímica e Tecnología de Alimentos, v. 23(3), p. 369-377, 1983.
- MULET, A.;BERNA, A.; ROSSELLO, C. "Drying of carrots I. Drying models". Drying Technology. v.7(3), p. 537-557, 1989.
- MULET, A. "Drying Modelling and Water Diffusivity in Carrots and Potatoes". Journal of Food Engineering. v.22(1&4), p. 329-348, 1994.
- MYERS, G. E. Analytical Methods In Conduction Heat Transfer. McGRAW-HILL. USA., p. 320-428, 1971.
- NICOLAIE, B. M.; DE BAERDEMAEKER, J."Simulation of Heat Transfer in Foods with Stochastic Initial and Boundary Conditions".

Institution of Chemical Engineers Symposium Series n 126. Publ. by Inst. of Chemical Engineer, Davis Building, England, p. 247-252.

NOGUEIRA, R. I. Processo de secagem de banana (Musa acuminata subgrupo Cavendish cultivar Nanica): parâmetros ótimos na obtenção de banana passa. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia agrícola, Universidade estadual de Campinas, Campinas, SP, 1991.

PARTI, M.; DUGMANICS, I. "Diffusion coefficient for corn drying". Trans.ASAE v.33(5), p. 1652-1656, 1990.

PAIVA SOUZA, M. E. and NEBRA, S. A. "Heat and mass transfer in the drying of wood". Drying '96 - Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS '96) Kraków, Poland, 30 July - 2 August 1996, v. A, p. 695 - 702.

PIACENTINI, R.D.; CONCARI, S.B.; GASPAR, R.; LARA, M.A.; COMBARNOUS, M. "Simulacion del secado de frutos. Aplicacion al secado solar en regiones de clima templado-calido e húmedo". Comunicação Pessoal.

QUEIROZ, M.R.; NEBRA, S.A. "Sistema de Monitoração Automática de Dados para o Estudo da Cinética de Secagem de Produtos Agrícolas". XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (XXII COMBEA), Ilhéus, B.A, Anais ... XXII COMBEA, v.II, p. 1267-1276.

QUEIROZ, M.R. "Estudo teórico-experimental da cinética de secagem de bananas". Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, S.P, 1994. 176p.

RAHMAN, S. Md. "Thermal conductivity of four food material as a single function of porosity and water content". Journal of Food Eng., v. 15(4), p. 261-268, 1992.

- RAHMAN, S. Md.; CHEN, X.D. "A general form of thermal conductivity equation for an apple sample during drying: Variation with moisture content and temperature". Drying Technology, v.13(8&9), p.2153-2165, 1995.
- RAO, D. G.; SRIDHAR, B. S.; NANJUNDAIAH, G. "Drying of toria (*Brassica campistris* var. toria) seeds. Parts 1. Diffusivity characteristics". Journal of Food Eng., v. 17, p. 49 - 58, 1992.
- RAPUSAS, R.S.; DRISCOLL, R.H. "Termophysical properties of fresh and dried white onion slices". Journal Food Eng., v.24(2), p. 149-164, 1995.
- RATTANAPANT, O.; LEBERT, A., LAGUERRE, J.C.; BIMBENET, J.J. "Simulation of deep bed drying of particles". Proc. Sixth International Drying of Symposium - IDS'88. Versailles, França. OP, p. 565-572, 1988.
- SALUNKHE, D.K.; BOLIN, H.R.; REDDY, N.R. Storage Processing and nutritional quality of fruit and vegetables: Processed fruits and vegetables. 2nd ed. Vol.II. CRC Press, Inc. Boca Raton, Flórida, 1991. 195p.
- SARTORI, D. J. M. "Heat transfer in sliding bed". Doctorate Thesis, 219p, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brazil, 1986.
- SERENO, A.M.; MEDEIROS, G.L. "Simplified model for the prediction of drying rates for foods". Journal Food Eng. v.12(1), p. 1-11, 1990.
- SCHEERLINCK, N.; NICOLAI, B. M.; VERBOVEN, P.; and DE BAERDEMAEKER, J. "Simulation of coupled heat and mass transfer during drying of agricultural products with random initial and boundary

- conditions". Agricultural Engineering '96, Madrid, 23/26 September, v. II, 1996.
- SHYAMAL, D.K.; CHAKRAVERTY, A.; BANERJEE, H.D. "Thermal properties of raw, parboiled and debranned parboiled wheat and wheat bulgur". Energy Conversion and Management. v.35(9), p. 801-804, 1994.
- SIMAL, S.; ROSELLO, C.; BERNA, A.; MULET, A. "Heat and Mass Transfer Models for Potato Drying ". Chemical Engineering Science. v.49(22), p. 3739-3744, 1994.
- SOPONRONNARIT, SOMCHART; DUSSADEE, NATTHAWUT; HIRUNLABH, JONGJIT; NAMPRAKAI, PICHAI; THEPA, SIRICHAI. "Computer simulation of solar-assisted fruit cabinet dryer". RERIC International Energy Journal. v 14(1), p. 59 - 70, Jun 1992.
- STEFANOVIC, M.; TURANJANIN, V.; VODNIK, J.; STAKIĆ, M.; UROSEVIĆ, M. " The New Way of Defining Heat and Mass Transfer Coefficients During Drying Process". Drying '96 - Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS '96) Kraków, Poland, 30 July - 2 August, v. A, p. 205 - 212, 1996.
- SUAREZ, C.; VIOLLAS, P.E. "Shrinkage effect on Drying Behaviour of Potato Slabs". Journal Food Eng. v.13(2), p. 103-114, 1991.
- SWEAT, V. E. "Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables ".Journal of Food Science, v. 39, p. 1080-1063, 1974.
- TAO, J.; RAO, R.M.; LIUZZO, J.A. "Selected thermophysical properties of rice bran". Applied Engineering in agriculture. v.10(5), p. 709-711, 1994.

TECHASENA, O.; LEBERT, A.; BIMBENET, J. J. "Simulation of deep bed drying of carrots". Journal of Food Eng. v.16(4), p. 267 - 281, 1992.

TULASIDAS, T. N.; KRUDA, T.; RAGHAVAN, G. S. V.; MUJUMDAR, A. S. "Effect of bed height on simultaneous heat and mass transfer in two-dimensional spouted bed dryer". International Communications in Heat and Mass Transfer, v. 20(1), p. 79 - 88, Jan-Feb 1993.

VAGENAS, G.K.; MARINOS-KOURIS, D. "Finite element simulation of drying of agricultural products with volumetric changes". Appl. Math. Modelling. v.15(9), p. 475-482, 1991.

WANG, N.; BRENNAN, J.G. "Mathematical Models of Simulation Heat and Moisture Transfer During Drying of Potato". Journal of Food Eng. v.24(1), p. 47-60, 1995.

YAPAR, S.; HELVACI, S.S.; PEKER, S. Drying behaviour of mushroom slices. Drying Technology, v. 8(1), p. 77-99, 1990.

YE-BO, L.; DENG-YING, L.; YUN-RU, B.; and YU-CHANG, Q. "Heat and mass transfer in potato during drying". Drying '96 - Proceedings of the 10th International Drying Symposium (IDS '96) Kraków, Poland, 30 July - 2 v.B.,p.929-936.August1996.

APÊNDICE A

% Programa para o cálculo do modelo 1. Cilindro Infinito, Difusividade constante.

clear all

%dados experimentais de temperatura vs tempo

Dados.m

%N, Intervalos no raio

%M, Tempo total de secagem

%Difusa, Difusividade térmica

%Te, Temperatura real na superfície da banana

%Tee, Temperatura adimensional na superfície da banana

%Temp0, Temperatura inicial da banana

%R0, Radio da banana em metros

%DT, Intervalo de tempo real em horas

%DR=R0/N, Intervalo do radio em metros

%DRe = DR/R0, Intervalo radio adimensional

tad = Difusa*M/(R0^2);%tempo adimensional

DTe = Difusa*DT/(R0^2); % Intervalo de tempo adimensional

%-----

% Vetor das condições iniciais

for i=1:1,

for j=1:N,

TM(i,j)=Temp0;

end

end

T0 = TM(1,:);

Tinc=T0;

Tinc(N+1,1) = Tee;% Condição de contorno na superfície

```

%-----
pp=(N^2)*DTe;

% Matriz A

A = zeros(N);

% Loop para preencher a matriz A

A(1,1) = (1+pp);
A(1,2) = (-pp);

for i=2:N-1,
    ss=1/(2*(i-1));
    A(i,i-1) = (pp/2)*(-1+ss);
    A(i,i) = (1+pp);
    A(i,i+1) = (pp/2)*(-1-ss);
end

A(N,N-1) = (pp/2)*(-1 + 1/(2*(N-1)));
A(N,N) = (1 +pp);
%-----

% Matriz B

B = zeros(N);

B(1,1) = (1-pp);
B(1,2) = pp;

% Loop para preencher a matriz B
ss=0;
for i=2:N-1,
    ss=1/(2*(i-1));
    B(i,i-1) = (pp/2)*(1-ss);

```

```

    B(i,i) = (1-pp);
    B(i,i+1) = (pp/2)*(1+ss);
end

```

```

B(N,N-1) = (pp/2)*(1 - 1/(2*(N-1)));
B(N,N) = (1 -pp);

```

```

% Preencher o vetor C (Termo independente - Temp. superficie)

```

```

CM = zeros(N);
C = CM(1,:);
C(N,1) = (pp)*(1 + 1/(2*(N-1)))*Tee;

```

```

% Iterações para o cálculo da Temperatura

```

```

M1=M/(250*0.001);% Número de iterações

```

```

% Cálculo do raio

```

```

for i=1:N+1
    r(i)=(i-1)*DRe;
    rr(i)=(i-1)*DR;
end

```

```

Result=zeros(N,M1);

```

```

for i=1:N+1
    Result(i,1)=Tinc(i);
end

```

```

%plot(r,Tinc)
hold

```

```

TAnt = T0;

```

```

% Método de LU (Solução do sistema de equações)

```

```

tt(1)=0;

```

```

for i=1:M1

k = (B*TAnt +C);
[L U]=lu(A);
Y=L\k;
TAct=U\Y;

TAnt = TAct;

Tfin=TAct;
Tfin(N+1,1) = Tee;
Result(:,i+1) = Tfin;
% Transformação da temperatura

Treal=TAct*(Te-Temp0)+Temp0;
Result1(:,i) = Treal;

%plot(r,Tfin)
TITLE('PERFIS DA TEMPERATURA NO RAO DA BANANA (TESTE
#')
XLABEL('r/R')
YLABEL('T, °C')
end
print -dbitmap
pause

for i=1:M1
Result(N+1,i)=Tee;
end
hold
surf(tt,r,Result)
TITLE('TEMPERATURA vs TEMPO DE SECAGEM vs RAO DA
BANANA (TESTE 4)')
XLABEL('t, h')
YLABEL('r/R')
ZLABEL('T, °C')
print -dbitmap;

```

```

% Vetor com as temperaturas no centro da banana
centro=Result(1,:);
Treal1=centro*(Te-Temp0)+Temp0
print -bitmap
pause

hold
plot(tt,centro,'y-')
TITLE('TEMPERATURA DURANTE O TEMPO DE SECAGEM (TESTE
4)')
XLABEL('t, h')
YLABEL('T, °C')
hold:plot(tt,Texp,'go')
print -dmeta;

% Cálculo da soma dos resíduos

SQR=0;
for i=1:1
    for j=1:M1+1
s(j)=norm(centro(j)-Texp(1,j))/norm(centro(j));
resíduo(j)=(Texp(1,j)-centro(j));
erro_relativo=resíduo/Texp(1,j);
SQR=SQR+(resíduo(j)^2);
    end
end
%----- Gráficos da distribuição da temperatura no raio-----
pause
hold
plot(rr,Tinc)
TITLE('PERFIS DA TEMPERATURA NO RAO DA BANANA (TESTE
4)')
XLABEL('r/R')
YLABEL('T, °C')
hold
tgraf(1)=0;
z=0;
for i=10:60:M1

```

```
    z=z+1;
    cont(i)=i;
    plot(rr,Result(:,i))
    tgraf(i+1)=.25*i;
    end
    plot(rr,Result(:,M1))
    tgraf(M1)=M1*.25;
    print -dbitmap
    %-----Fim de programa-----
```

APÊNDICE B

Aspectos gerais do Método de Elementos Finitos

Em processos de aproximação numérica da solução de Equações Diferenciais Parciais, o tipo de método que até relativamente pouco tempo atrás vinha sendo sempre usado era o de Diferenças Finitas que, por sua simplicidade tanto de implementação quanto de explicação, justificava amplamente sua popularidade.

Há casos, porém, em que a descontinuidade de condições exigia uma metodologia que permitisse incluir na modelagem matemática do problema, uma menor regularidade, uma exigência que crescia à medida que os modelos se sofisticavam, isto é, à medida que passavam a se aproximar mais da realidade descrita.

Nesse novo universo de aproximação vem sendo crescentemente usado o Método de Elementos Finitos, cuja aplicação se dá em três passos sucessivos:

1. A Equação Clássica é multiplicada por uma função suficientemente regular para que possa ser integrado o produto dessa função com cada termo da Equação Diferencial Parcial. Isto é feito porque as “irregularidades das funções envolvidas são, em geral, suavizadas pela integração. Por exemplo, no caso da clássica Equação do Calor, expressa em Coordenadas Cilíndricas, obteremos este primeiro passo fazendo:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \text{ transformar-se, pelo produto mencionado,}$$

juntamente com a integração por partes em:

$$\iint_{\Omega} \frac{\partial T}{\partial t} \bullet v dr dz = \alpha \iint_{\Omega} \left[\frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \bullet v dr dz \text{ para } \forall v \in V \text{ e } (r, z) \in \Omega = I_r \times I_z,$$

Evidentemente, as condições de contorno devem ser do tipo dito de Dirichlet ou de Von Neumann para que possa “sumir” o termo da integral ao longo do bordo, o que de fato acontece numa esmagadora maioria destes casos.

2. A solução procurada é aproximada por uma combinação linear que irá substituir a solução procurada $T(r,z,t)$, definida num subespaço discreto de V :

$$T \cong T_h = \sum_j c_j(t) \cdot \varphi_j(r,z).$$

Ora, esta somatória se presta a uma separação das variáveis (r,z) e t das derivadas parciais, e, já que passamos de uma espaço funcional V para um subespaço gerado pelas funções $\varphi_j(r,z)$, cada aproximação é uma combinação linear dos elementos da base, dada pelo conjunto das $\varphi_j(r,z)$.

No lugar também da função qualquer $v(r,z,t)$, devemos usar um elemento da base.

Com isto, a Equação Diferencial Parcial acima é aproximada por um sistema de Equações Diferenciais Ordinárias:

$$\sum_j \frac{dc_j}{dt}(t) \cdot \int_{\Omega} \varphi_j(r,z) \cdot \varphi_i(r,z) dr dz + \sum_j c_j(t) \cdot \int_{\Omega} \frac{\partial \varphi_j(r,z)}{\partial r} \cdot \frac{\partial \varphi_i(r,z)}{\partial r} dr dz. \quad (a)$$

3. A solução deste sistema de Equações Diferenciais Ordinárias, por sua vez, é aproximado numericamente no tempo por um método de Diferenças Finitas, como, por exemplo, o Método Implícito de Crank-Nicolson, obtendo um Sistema Linear a ser resolvido a cada passo no tempo. Este sistema advem da substituição em (a) de

$$\frac{dc_j}{dt} \cong \frac{c_j^{(n+1)} - c_j^{(n)}}{\Delta t} \text{ e}$$

$$c_j \cong \frac{c_j^{(n+1)} + c_j^{(n)}}{2}$$

Obtendo $A \cdot c^{(n+1)} = B \cdot c^{(n)} + d$, onde o vetor d é proveniente dos cálculos relativos à condição de contorno, portanto, valores dados.

O Método de Elementos Finitos, portanto, se diferencia do de Diferenças Finitas porque as funções com que se constrói a base da aproximação podem

ser escolhidas do modo que mais convém ao problema, podendo ser da ordem polinomial que, novamente, mais convém à aproximação.

No caso aqui efetuado, os elementos finitos foram de segunda ordem, gerando uma aproximação de segunda ordem na variável espacial r , e o método para a discretização temporal, Crank-Nicolson, fornece, por sua vez, aproximações de segunda ordem em t , garantindo a boa qualidade dos resultados numéricos obtidos nas simulações computacionais.

APÊNDICE C

Apêndice C1- Resultados para Tbs=29.9 °C e UR=35.7%
Experimento nº1.

TEMPO	TMEDIA(exp.)	T(calc.)	Erro relativo
0	19,1	19,0667	0,00174346
0,05	19,0666667	19,0667	1,7465E-06
0,1	19,1	19,0741	0,00135602
0,15	19,1	19,1045	0,0002356
0,2	19,0666667	19,1348	0,00357342
0,25	19,1666667	19,1615	0,00026957
0,3	19,2	19,1807	0,00100521
0,35	19,2	19,1982	9,375E-05
0,4	19,2	19,2801	0,00417188
0,45	19,3666667	19,3655	6,0243E-05
0,5	19,4666667	19,4662	2,3974E-05
0,55	19,6	19,5999	5,102E-06
0,6	19,6333333	19,6333	1,6961E-06
0,65	19,7333333	19,7333	1,6875E-06
0,7	19,9	19,9	0
0,75	20	20	0
0,8	20,1333333	20,1333	1,654E-06
0,85	20,2333333	20,1833	0,00247282
0,9	20,2333333	20,2333	1,6458E-06
0,95	20,3	20,25	0,00246305
1	20,3	20,2667	0,00164039
1,05	20,3	20,2833	0,00082266
1,1	20,3	20,3	0
1,15	20,3	20,3167	0,00082266
1,2	20,3333333	20,3333	1,6377E-06
1,25	20,3333333	20,35	0,00081967
1,3	20,3666667	20,3667	1,635E-06
1,35	20,4666667	20,4167	0,00244137
1,4	20,4666667	20,4667	1,627E-06
1,45	20,5	20,5	0
1,5	20,6	20,6	0

1,55	20,7	20,7	0
1,6	20,7666667	20,7667	1,6035E-06
1,65	20,8333333	20,8333	1,5984E-06
1,7	20,9666667	20,9667	1,5882E-06
1,75	21,1	21,1	0
1,8	21,2	21,2	0
1,85	21,2666667	21,2667	1,5658E-06
1,9	21,3333333	21,3333	1,5609E-06
1,95	21,3666667	21,3444	0,00104212
2	21,3666667	21,3556	0,00051794
2,05	21,3666667	21,3667	1,5585E-06
2,1	21,3666667	21,3778	0,00052106
2,15	21,3666667	21,3889	0,00104056
2,2	21,4	21,4	0
2,25	21,4	21,4111	0,00051869
2,3	21,4	21,4222	0,00103738
2,35	21,4333333	21,4333	1,5537E-06
2,4	21,4333333	21,45	0,00077761
2,45	21,4666667	21,4667	1,5512E-06
2,5	21,5333333	21,5333	1,5464E-06
2,55	21,5666667	21,5667	1,544E-06
2,6	21,6666667	21,6667	1,5369E-06
2,65	21,7666667	21,7667	1,5299E-06
2,7	21,7666667	21,8167	0,00229862
2,75	21,8666667	21,8667	1,5229E-06
2,8	21,9666667	21,9667	1,5159E-06
2,85	22,0666667	22,0667	1,5091E-06
2,9	22,1333333	22,0889	0,00200753
2,95	22,1666667	22,1111	0,00250677
2,965833	22,1666667	22,1333	0,00150526
3,003889	22,1666667	22,15	0,00075188
3,087222	22,1666667	22,1667	1,5023E-06
3,170556	22,1666667	22,1867	0,00090376
3,253889	22,1333333	22,2067	0,00331476
3,337222	22,1333333	22,2266	0,00421386
3,420556	22,1333333	22,2467	0,00512199
3,503889	22,2666667	22,2667	1,4955E-06

3,587222	22,3	22,3	0
3,670556	22,4	22,4	0
3,753889	22,5	22,5	0
3,837222	22,6	22,6	0
3,920556	22,7	22,7	0
4,003889	22,8	22,7667	0,00146053
4,087222	22,8333333	22,7833	0,00219124
4,170556	22,8333333	22,8	0,00145985
4,253889	22,8333333	22,8167	0,00072847
4,337222	22,8	22,8333	0,00146053
4,420556	22,7666667	22,85	0,00366032
4,503889	22,8	22,8667	0,00292544
4,587222	22,8333333	22,8833	0,00218832
4,670556	22,9	22,9	0
4,753889	22,9666667	22,9667	1,4499E-06
4,837222	23,0666667	23,0667	1,4436E-06
4,920556	23,1666667	23,1667	1,4374E-06
5,003889	23,2666667	23,2167	0,00214757
5,087222	23,3666667	23,2667	0,00427818
5,170556	23,3333333	23,2778	0,00238
5,253889	23,3	23,2889	0,00047639
5,337222	23,3	23,3	0
5,420556	23,3	23,3167	0,00071674
5,503889	23,2666667	23,3333	0,0028639
5,587222	23,3	23,3444	0,00190558
5,670556	23,3333333	23,3556	0,00095429
5,753889	23,3333333	23,3667	0,00143
5,837222	23,4333333	23,4333	1,4211E-06
5,920556	23,5333333	23,5333	1,415E-06
6,003889	23,6	23,6	0
6,087222	23,7	23,6333	0,00281435
6,170556	23,7666667	23,6667	0,00420617
6,253889	23,7666667	23,6833	0,00350772
6,337222	23,7666667	23,7	0,00280505
6,420556	23,7	23,7167	0,00070464
6,503889	23,6666667	23,7333	0,00281549
6,587222	23,6666667	23,75	0,00352113

6,670556	23,7	23,7667	0,00281435
6,753889	23,7333333	23,7833	0,00210534
6,837222	23,8	23,8	0
6,920556	23,8333333	23,8333	1,3972E-06
7,003889	23,9	23,9	0
7,094722	23,9666667	23,9667	1,3894E-06
7,344722	24,1333333	24,0167	0,00483287
7,594722	24,0666667	24,0667	1,3837E-06
7,844722	24,0666667	24,1333	0,0027687
8,094722	24,2333333	24,2333	1,3741E-06
8,344722	24,4333333	24,3667	0,00272715
8,594722	24,4	24,4	0
8,844722	24,3666667	24,4333	0,00273461
9,094722	24,4666667	24,4667	1,361E-06
9,344722	24,6	24,6	0
9,594722	24,6666667	24,6333	0,0013527
9,844722	24,6	24,6667	0,00271138
10,09472	24,6666667	24,75	0,00337838
10,34472	24,8333333	24,8333	1,3409E-06
10,59472	24,9333333	24,85	0,00334224
10,84472	24,8333333	24,8667	0,00134363
11,09472	24,8666667	24,9333	0,00267962
11,34472	25	25	0
11,59472	25,1	25,0167	0,00331873
11,84472	25,0333333	25,0333	1,3302E-06
12,09472	25	25,1	0,004
12,34472	25,1	25,15	0,00199203
12,59472	25,2666667	25,2	0,00263852
12,84472	25,2666667	25,2333	0,00132058
13,09472	25,2	25,2667	0,00264683
13,34472	25,2333333	25,3167	0,00330383
13,59472	25,3666667	25,3667	1,3127E-06
13,84472	25,4666667	25,4	0,0026178
14,09472	25,3666667	25,4333	0,00262681
14,34472	25,4333333	25,4667	0,00131193
14,59472	25,5333333	25,5	0,00130548
14,84472	25,6	25,5333	0,00260547

15,09472	25,5333333	25,5667	0,00130679
15,34472	25,5333333	25,6	0,00261097
15,59472	25,6666667	25,6333	0,0013
15,84472	25,7333333	25,6667	0,00258938
16,09472	25,7	25,7	0
16,34472	25,6666667	25,7167	0,00194935
16,59472	25,7	25,7333	0,00129572
16,84472	25,8	25,75	0,00193798
17,09472	25,8333333	25,7667	0,00257935
17,34472	25,7333333	25,8	0,00259067
17,59472	25,7666667	25,8333	0,00258603
17,84472	25,8666667	25,85	0,00064433
18,09472	25,9333333	25,8667	0,00256941
18,34472	25,8666667	25,9	0,00128866
18,59472	25,8333333	25,9333	0,00386968
18,84472	25,9333333	25,95	0,00064267
19,09472	26,0333333	25,9667	0,00255954
19,34472	25,9666667	25,9833	0,00064056
19,59472	25,9666667	26	0,0012837
19,84472	26	26,0333	0,00128077
20,09472	26,0666667	26,05	0,00063939
20,34472	26,1333333	26,0667	0,00254974
20,59472	26,0666667	26,0889	0,00085294
20,84472	26,0666667	26,1111	0,0017046
21,09472	26,1666667	26,1333	0,00127516
21,34472	26,2	26,1667	0,00127099
21,59472	26,1333333	26,1778	0,00170153
21,84472	26,1666667	26,1889	0,00084968
22,09472	26,1666667	26,2	0,00127388
22,34472	26,2666667	26,2111	0,00211548
22,59472	26,2	26,2222	0,00084733
22,84472	26,2	26,2333	0,00127099
23,09472	26,2333333	26,25	0,00063533
23,34472	26,3333333	26,2667	0,00253038
23,59472	26,3333333	26,2833	0,0019
23,84472	26,2666667	26,3	0,00126903
24,09472	26,3	26,3111	0,00042205

24,34472	26,3333333	26,3222	0,00042278
24,59472	26,4333333	26,3333	0,00378436
24,84472	26,3	26,35	0,00190114
25,09472	26,3333333	26,3667	0,00126709
25,34472	26,3666667	26,4	0,00126422
25,59472	26,4666667	26,4111	0,0020995
25,84472	26,4333333	26,4222	0,00042118
26,09472	26,4	26,4333	0,00126136
26,34472	26,4333333	26,4444	0,00041866
26,59472	26,5	26,4556	0,00167547
26,84472	26,5333333	26,4667	0,00251131
27,09472	26,4333333	26,4778	0,00168222
27,34472	26,4333333	26,4952	0,00234048
27,59472	26,4666667	26,5125	0,00173174
27,84472	26,5333333	26,5297	0,00013693
28,09472	26,5	26,5469	0,00176981
28,34472	26,4666667	26,5639	0,0036738
28,59472	26,5	26,5809	0,00305283
28,84472	26,5666667	26,5978	0,00117189
29,09472	26,5333333	26,6146	0,00306282
29,34472	26,5333333	26,6313	0,00369221
29,59472	26,5333333	26,6479	0,00431784
29,84472	26,5666667	26,6645	0,00368256
30,09472	26,6333333	26,6809	0,00178598
30,34472	26,5333333	26,6973	0,00617965
30,59472	26,5333333	26,7136	0,00679397
30,84472	26,5666667	26,7298	0,00614053
31,09472	26,6666667	26,746	0,002975
31,34472	26,6	26,762	0,00609023
31,59472	26,5666667	26,778	0,00795483
31,84472	26,6	26,7939	0,00728947
32,09472	26,6333333	26,8097	0,00662203
32,34472	26,7	26,8254	0,00469663
32,59472	26,6	26,8411	0,00906391
32,84472	26,6	26,8567	0,00965038
33,09472	26,6333333	26,8722	0,00896871
33,34472	26,7	26,8876	0,00702622

33,59472	26,7	26,9029	0,00759925
33,84472	26,6	26,9182	0,01196241
34,09472	26,6333333	26,9334	0,01126658
34,34472	26,7	26,9485	0,00930712
34,59472	26,8	26,9635	0,00610075
34,84472	26,7	26,9785	0,01043071
35,09472	26,7	26,9934	0,01098876
35,34472	26,7333333	27,0082	0,0102818
35,59472	26,8	27,0229	0,00831716
35,84472	26,8	27,0376	0,00886567
36,09472	26,7	27,0521	0,01318727
36,34472	26,7	27,0666	0,01373034
36,59472	26,8	27,0811	0,01048881
36,84472	26,8	27,0954	0,01102239
37,09472	26,8	27,1097	0,01155597
37,34472	26,7	27,1239	0,0158764
37,59472	26,7666667	27,1381	0,01387671
37,84472	26,8333333	27,1522	0,01188323
38,09472	26,8666667	27,1662	0,01114888
38,34472	26,8	27,1801	0,01418284
38,59472	26,7666667	27,194	0,01596513
38,84472	26,8666667	27,2078	0,01269727
39,09472	26,9	27,2215	0,01195167
39,34472	26,8333333	27,2351	0,01497267
39,59472	26,8	27,2487	0,01674254
39,84472	26,9	27,2622	0,01346468
40,09472	26,9333333	27,2757	0,01271163
40,34472	26,9333333	27,289	0,01320545
40,59472	26,8666667	27,3023	0,01621464
40,84472	26,8666667	27,3156	0,01670968
41,09472	26,9666667	27,3288	0,01342892
41,34472	27	27,3419	0,01266296
41,59472	26,9	27,3549	0,01691078
41,84472	26,9	27,3679	0,01739405
42,09472	26,9666667	27,3808	0,01535723
42,34472	27,0666667	27,3936	0,01207882
42,59472	27,0333333	27,4064	0,01380025

42,84472	26,9666667	27,4191	0,0167775
43,09472	27	27,4318	0,01599259
43,34472	27,1	27,4444	0,01270849
43,59472	27,1333333	27,4569	0,01192506
43,84472	27,0666667	27,4693	0,01487561
44,09472	27,0666667	27,4817	0,01533374
44,34472	27,1333333	27,4941	0,01329607
44,59472	27,2333333	27,5063	0,01002326
44,84472	27,1666667	27,5185	0,01295092
45,09472	27,1333333	27,5307	0,01464496
45,34472	27,1666667	27,5428	0,0138454
45,59472	27,2666667	27,5548	0,01056724
45,84472	27,2666667	27,5667	0,01100367
46,09472	27,2333333	27,5786	0,01267809
46,34472	27,2333333	27,5905	0,01311506
46,59472	27,2666667	27,6023	0,01230929
46,84472	27,3666667	27,614	0,00903776
47,09472	27,3666667	27,6256	0,00946163
47,34472	27,2666667	27,6372	0,01358924
47,59472	27,3	27,6488	0,01277656
47,84472	27,4	27,6603	0,0095
48,09472	27,4666667	27,6717	0,0074648
48,34472	27,4666667	27,683	0,00787621
48,59472	27,4	27,6943	0,01074088
48,84472	27,4	27,7056	0,01115328
49,09472	27,4666667	27,7168	0,00910679
49,34472	27,5	27,7279	0,00828727
49,59472	27,5333333	27,739	0,00746973
49,84472	27,4666667	27,75	0,01031553
50,09472	27,4666667	27,761	0,01071602
50,34472	27,5333333	27,7719	0,00866465
50,59472	27,6	27,7828	0,00662319
50,84472	27,5666667	27,7936	0,00823216
51,09472	27,5	27,8043	0,01106545
51,34472	27,5	27,815	0,01145455
51,59472	27,5666667	27,8256	0,00939299
51,84472	27,6	27,8362	0,00855797

52,09472	27,5666667	27,8467	0,0101584
52,34472	27,5	27,8572	0,01298909
52,59472	27,5	27,8676	0,01336727
52,84472	27,5333333	27,878	0,01251816
53,09472	27,6333333	27,8883	0,00922678
53,34472	27,5666667	27,8986	0,01204111
53,59472	27,5333333	27,9088	0,01363681
53,84472	27,5333333	27,9189	0,01400363
54,09472	27,6333333	27,9291	0,01070326
54,34472	27,6333333	27,9391	0,01106514
54,59472	27,6333333	27,9491	0,01142702
54,84472	27,5333333	27,9591	0,01546368
55,09472	27,5333333	27,969	0,01582325
55,34472	27,6333333	27,9788	0,01250181
55,59472	27,6333333	27,9886	0,01285645
55,84472	27,5666667	27,9984	0,01566143
56,09472	27,5666667	28,0081	0,0160133
56,34472	27,6333333	28,0177	0,01390953
56,59472	27,7333333	28,0273	0,01059976
56,84472	27,6333333	28,0369	0,01460434
57,09472	27,6333333	28,0464	0,01494813
57,34472	27,6333333	28,0559	0,01529192
57,59472	27,7	28,0653	0,01318773
57,84472	27,7333333	28,0746	0,01230529
58,09472	27,6333333	28,0839	0,01630519
58,34472	27,6333333	28,0932	0,01664174
58,59472	27,7333333	28,1024	0,01330769
58,84472	27,7666667	28,1116	0,01242257
59,09472	27,7333333	28,1207	0,01396755
59,34472	27,6333333	28,1298	0,01796623
59,59472	27,7	28,1388	0,01584116
59,84472	27,7333333	28,1478	0,01494471
60,09472	27,7666667	28,1568	0,01405042
60,34472	27,6666667	28,1657	0,01803735
60,59472	27,6666667	28,1745	0,01835542
60,84472	27,7333333	28,1833	0,01622476
61,09472	27,8	28,1921	0,01410432

61,34472	27,7333333	28,2008	0,01685577
61,59472	27,6666667	28,2095	0,01962048
61,84472	27,7333333	28,2181	0,01747957
62,09472	27,8	28,2267	0,01534892
62,34472	27,8333333	28,2352	0,01443832
62,59472	27,7666667	28,2437	0,01718007
62,84472	27,7666667	28,2522	0,01748619
63,09472	27,8	28,2606	0,01656835
63,34472	27,8666667	28,2689	0,01443421
63,59472	27,8333333	28,2773	0,0159509
63,84472	27,7666667	28,2855	0,01868547
64,09472	27,8	28,2938	0,01776259
64,34472	27,8666667	28,302	0,01562201
64,59472	27,9	28,3101	0,01469892
64,84472	27,8	28,3182	0,01864029
65,09472	27,8	28,3263	0,01893165
65,34472	27,8666667	28,3343	0,0167811
65,59472	27,9333333	28,3423	0,01464081
65,84472	27,9333333	28,3503	0,01492721
66,09472	27,9	28,3582	0,01642294
66,34472	27,9333333	28,3661	0,01549284
66,59472	28	28,3739	0,01335357
66,84472	28,0333333	28,3817	0,01242687
67,09472	27,9333333	28,3894	0,01632697
67,34472	27,9666667	28,3971	0,01539094
67,59472	28,0666667	28,4048	0,0120475
67,84472	28,1333333	28,4124	0,00991943
68,09472	28,0666667	28,42	0,01258907
68,34472	28,0333333	28,4276	0,01406421
68,59472	28,0666667	28,4351	0,01312708
68,84472	28,1666667	28,4426	0,00979645
69,09472	28,2	28,45	0,00886525
69,34472	28,1333333	28,4574	0,01151896
69,59472	28,1666667	28,4648	0,01058461
69,84472	28,1666667	28,4721	0,01084379
70,09472	28,2333333	28,4794	0,00871547
70,34472	28,3	28,4866	0,00659364

70,59472	28,2666667	28,4939	0,00803891
70,84472	28,2666667	28,501	0,00829009
71,09472	28,3	28,5082	0,00735689
71,34472	28,3333333	28,5153	0,00642235
71,59472	28,4	28,5223	0,00430634
71,84472	28,3333333	28,5294	0,00692
72,09472	28,3666667	28,5364	0,00598355
72,34472	28,3666667	28,5433	0,00622679
72,59472	28,4333333	28,5503	0,00411372
72,84472	28,4666667	28,5571	0,00317681
73,09472	28,4666667	28,564	0,0034192
73,34472	28,4333333	28,5708	0,0048347
73,59472	28,4333333	28,5776	0,00507386
73,84472	28,4666667	28,5844	0,00413583
74,09472	28,5333333	28,5911	0,00202453
74,34472	28,5	28,5978	0,00343158
74,59472	28,4333333	28,6044	0,00601641
74,84472	28,4333333	28,611	0,00624854
75,09472	28,4666667	28,6176	0,00530211
75,34472	28,5333333	28,6241	0,00318108
75,59472	28,5333333	28,6307	0,00341238
75,84472	28,4333333	28,6371	0,00716647
76,09472	28,4	28,6436	0,00857746
76,34472	28,4333333	28,65	0,00762017
76,59472	28,5333333	28,6564	0,00431309
76,84472	28,4333333	28,6627	0,00806682
77,09472	28,3666667	28,669	0,01065805
77,34472	28,4333333	28,6753	0,00850997
77,59472	28,4333333	28,6816	0,00873154
77,84472	28,5333333	28,6878	0,00541355
78,09472	28,4333333	28,694	0,00916764
78,34472	28,4333333	28,7001	0,00938218
78,59472	28,4333333	28,7063	0,00960024
78,84472	28,5333333	28,7123	0,0062722
79,09472	28,4333333	28,7184	0,01002579
79,34472	28,4	28,7244	0,01142254
79,59472	28,4333333	28,7304	0,01044783

79,84472	28,4666667	28,7364	0,00947541
80,09472	28,5333333	28,7424	0,0073271
80,34472	28,4333333	28,7483	0,01107738
80,59472	28,4	28,7541	0,01246831
80,84472	28,4333333	28,76	0,01148886
81,09472	28,5333333	28,7658	0,0081472
81,34472	28,4333333	28,7716	0,01189684
81,59472	28,4333333	28,7774	0,01210082
81,84472	28,4333333	28,7831	0,01230129
82,09472	28,5	28,7888	0,01013333
82,34472	28,5333333	28,7945	0,00915304
82,59472	28,4666667	28,8001	0,01171311
82,84472	28,4333333	28,8057	0,01309613
83,09472	28,5333333	28,8113	0,00974182
83,34472	28,5333333	28,8169	0,00993809
83,59472	28,4666667	28,8224	0,01249649
83,84472	28,4333333	28,8279	0,01387691
84,09472	28,5	28,8334	0,01169825
84,34472	28,5333333	28,8388	0,01070561
84,59472	28,5333333	28,8442	0,01089486
84,84472	28,4333333	28,8496	0,01464009
85,09472	28,4333333	28,855	0,01483001
85,34472	28,5333333	28,8603	0,01145911
85,59472	28,6	28,8656	0,00928671
85,84472	28,5	28,8709	0,01301404
86,09472	28,4333333	28,8762	0,01557562
86,34472	28,5333333	28,8814	0,0121986
86,59472	28,5666667	28,8866	0,01119953
86,84472	28,5333333	28,8918	0,01256309
87,09472	28,5	28,8969	0,01392632
87,34472	28,5333333	28,902	0,01292056
87,59472	28,6	28,9071	0,01073776
87,84472	28,6666667	28,9122	0,00856512
88,09472	28,5333333	28,9172	0,01345327
88,34472	28,5	28,9222	0,01481404
88,59472	28,5333333	28,9272	0,01380374
88,84472	28,6333333	28,9322	0,01043772

89,09472	28,6	28,9371	0,01178671
89,34472	28,5333333	28,9421	0,01432594
89,59472	28,5333333	28,947	0,01449766
89,84472	28,6333333	28,9518	0,01112224
90,09472	28,6666667	28,9567	0,01011744
90,34472	28,5666667	28,9615	0,01382147
90,59472	28,6	28,9663	0,01280769
90,84472	28,7	28,971	0,00944251
91,09472	28,7333333	28,9758	0,00843852
91,34472	28,7	28,9805	0,00977352
91,59472	28,7	28,9852	0,00993728
91,84472	28,7333333	28,9899	0,00892924
92,09472	28,8	28,9945	0,00675347
92,34472	28,9	28,9991	0,00342907
92,59472	28,8	29,0037	0,00707292
92,84472	28,8	29,0083	0,00723264
93,09472	28,8	29,0128	0,00738889
93,34472	28,9	29,0174	0,00406228
93,59472	28,9	29,0219	0,00421799
93,84472	28,8333333	29,0264	0,00669595
94,09472	28,9	29,0308	0,00452595
94,34472	28,9666667	29,0353	0,00236939
94,59472	29	29,0397	0,00136897
94,84472	29	29,0441	0,00152069
95,09472	29	29,0484	0,00166897
95,34472	29	29,0528	0,00182069
95,59472	29,0333333	29,0571	0,0008186
95,84472	29,1	29,0614	0,00132646
96,09472	29,1333333	29,0657	0,00232151
96,34472	29,1	29,07	0,00103093
96,59472	29,0666667	29,0742	0,00025917
96,84472	29,1	29,0784	0,00074227
97,09472	29,1333333	29,0826	0,00174142
97,34472	29,2	29,0868	0,00387671
97,59472	29,2	29,0909	0,0037363
97,84472	29,1	29,0951	0,00016838
98,09472	29,1	29,0992	2,7491E-05

98,34472	29,1	29,1033	0,0001134
98,59472	29,1	29,1073	0,00025086
98,84472	29,2	29,1114	0,00303425
99,09472	29,1333333	29,1154	0,00061556
99,34472	29,0666667	29,1194	0,00181422
99,59472	29,1	29,1234	0,00080412
99,84472	29,1	29,1274	0,00094158
100,0947	29,1333333	29,1313	6,9793E-05
100,3447	29,1	29,1352	0,00120962
100,5947	29,0666667	29,1391	0,00249197
100,8447	29,0333333	29,143	0,00377727
101,0947	29,1	29,1469	0,00161168
101,3447	29,1	29,1507	0,00174227
101,5947	29,1	29,1545	0,00187285
101,8447	29	29,1583	0,00545862
102,0947	29	29,1621	0,00558966
102,3447	29,1	29,1659	0,0022646
102,5947	29,1	29,1696	0,00239175
102,8447	29,0666667	29,1734	0,00367202
103,0947	29	29,1771	0,0061069
103,3447	29,1	29,1808	0,00277663
103,5947	29,1	29,1845	0,00290378
103,8447	29,1666667	29,1881	0,00073486
104,0947	29,0333333	29,1917	0,00545465
104,3447	29,0333333	29,1954	0,00558209
104,5947	29,1	29,199	0,00340206
104,8447	29,1666667	29,2025	0,00122857
105,0947	29,1	29,2061	0,00364605
105,3447	29,0666667	29,2096	0,00491743
105,5947	29,1	29,2132	0,00389003
105,8447	29,1	29,2167	0,00401031
106,0947	29,2	29,2202	0,00069178
106,3447	29,1	29,2236	0,00424742
106,5947	29,0666667	29,2271	0,00551949
106,8447	29,1	29,2305	0,00448454
107,0947	29,2	29,2339	0,00116096
107,3447	29,1333333	29,2373	0,00356865

107,5947	29,0333333	29,2407	0,00714237
107,8447	29,0666667	29,2441	0,00610436
108,0947	29,1	29,2474	0,00506529
108,3447	29,2	29,2508	0,00173973
108,5947	29,1	29,2541	0,00529553
108,8447	29,0666667	29,2574	0,00656193
109,0947	29,1	29,2607	0,00552234
109,3447	29,1666667	29,2639	0,00333371
109,5947	29,2	29,2672	0,00230137
109,8447	29,1	29,2704	0,00585567
110,0947	29,1	29,2736	0,00596564
110,3447	29,1333333	29,2768	0,00492449
110,5947	29,2	29,28	0,00273973
110,8447	29,1	29,2832	0,00629553
111,0947	29,1	29,2863	0,00640206
111,3447	29,1	29,2894	0,00650859
111,5947	29,2	29,2926	0,00317123
111,8447	29,2	29,2957	0,0032774
112,0947	29,0666667	29,2987	0,0079828
112,3447	29,0666667	29,3018	0,00808945
112,5947	29,1	29,3049	0,00704124
112,8447	29,2	29,3079	0,00369521
113,0947	29,1	29,3109	0,00724742
113,3447	29,1	29,3139	0,00735052
113,5947	29,1	29,3169	0,00745361
113,8447	29,2	29,3199	0,00410616
114,0947	29,2	29,3229	0,0042089
114,3447	29,1333333	29,3258	0,00660641
114,5947	29,1666667	29,3287	0,00555543
114,8447	29,2	29,3317	0,00451027
115,0947	29,3333333	29,3346	4,3183E-05
115,3447	29,2666667	29,3374	0,00241686
115,5947	29,2666667	29,3403	0,00251594
115,8447	29,2666667	29,3432	0,00261503
116,0947	29,3666667	29,346	0,00070375
116,3447	29,4	29,3488	0,0017415
116,5947	29,3666667	29,3517	0,00050965

116,8447	29,3666667	29,3545	0,0004143
117,0947	29,3666667	29,3572	0,00032236
117,3447	29,4333333	29,36	0,00249151
117,5947	29,5	29,3628	0,00465085
117,8447	29,4666667	29,3655	0,00343326
118,0947	29,3666667	29,3682	5,2212E-05
118,3447	29,4666667	29,371	0,00324661
118,5947	29,5	29,3737	0,00428136
118,8447	29,5666667	29,3763	0,00643856
119,0947	29,5666667	29,379	0,00634724
119,3447	29,4666667	29,3817	0,00288349
119,5947	29,5666667	29,3843	0,00616798
119,8447	29,6333333	29,387	0,00831271
120,0947	29,6333333	29,3896	0,00822497
120,3447	29,7	29,3922	0,01036364
120,5947	29,6666667	29,3948	0,00916405
120,8447	29,6666667	29,3974	0,00907641
121,0947	29,6333333	29,3999	0,00787739
121,3447	29,6666667	29,4025	0,0089045
121,5947	29,6666667	29,405	0,00882023
121,8447	29,6666667	29,4075	0,00873596

Apêndice C2- Resultados para $T_{bs}=39.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $UR=19.3\%$,
Experimento n°2.

TEMPO	TMEDIA (exp.)	T (calc.)	Erro relativo
0	21	21	0
0,05	21,3	21,2574	0,002
0,1	21,8	21,7982	8,2569E-05
0,15	22,16667	22,1666	3,1579E-06
0,2	22,53333	22,5333	1,3314E-06
0,25	22,8	22,8	0
0,3	22,96667	22,9667	1,3062E-06
0,35	23,13333	23,1333	1,2968E-06
0,4	23,33333	23,3333	1,2857E-06
0,45	23,43333	23,4333	1,2802E-06
0,5	23,63333	23,6333	1,2694E-06
0,55	23,8	23,8	0
0,6	24	24	0
0,65	24,2	24,2	0
0,7	24,4	24,4	0
0,75	24,63333	24,6333	1,2179E-06
0,8	24,86667	24,8667	1,2064E-06
0,85	25,03333	25,0333	1,1984E-06
0,9	25,13333	25,1333	1,1936E-06
0,95	25,23333	25,2333	1,1889E-06
1	25,33333	25,3333	1,1842E-06
1,05	25,36667	25,3667	1,1827E-06
1,1	25,46667	25,4667	1,178E-06
1,15	25,53333	25,5333	1,1749E-06
1,2	25,63333	25,6333	1,1704E-06
1,25	25,76667	25,7667	1,1643E-06
1,3	25,86667	25,8667	1,1598E-06
1,35	26,03333	26,0333	1,1524E-06
1,4	26,2	26,2	0
1,45	26,33333	26,3333	1,1392E-06
1,5	26,46667	26,4667	1,1335E-06
1,55	26,6	26,6	0

1,6	26,66667	26,6667	1,125E-06
1,65	26,73333	26,7333	1,1222E-06
1,7	26,8	26,8	0
1,75	26,8	26,85	0,00186567
1,8	26,9	26,9	0
1,85	26,93333	26,9333	1,1139E-06
1,9	27,03333	27,0333	1,1097E-06
1,95	27,1	27,1	0
2	27,26667	27,2667	1,1002E-06
2,05	27,36667	27,3667	1,0962E-06
2,1	27,46667	27,4667	1,0922E-06
2,15	27,6	27,6	0
2,2	27,7	27,7	0
2,25	27,83333	27,8333	1,0778E-06
2,3	27,86667	27,8667	1,0766E-06
2,35	27,93333	27,9333	1,074E-06
2,4	27,96667	27,9667	1,0727E-06
2,45	28	28	0
2,5	28,03333	28,0333	1,0702E-06
2,55	28,1	28,1	0
2,6	28,13333	28,1333	1,0664E-06
2,65	28,23333	28,2333	1,0626E-06
2,7	28,33333	28,3333	1,0588E-06
2,75	28,4	28,4	0
2,8	28,53333	28,5333	1,0514E-06
2,85	28,63333	28,6333	1,0477E-06
2,9	28,73333	28,7333	1,0441E-06
2,95	28,83333	28,8333	1,0405E-06
3	28,9	28,9	0
3,05	28,96667	28,9667	1,0357E-06
3,1	29	28,9833	0,00057586
3,15	29	29	0
3,2	29,03333	29,0333	1,0333E-06
3,25	29,03333	29,0833	0,00172113
3,3	29,13333	29,1333	1,0297E-06
3,35	29,13333	29,1667	0,00114542
3,4	29,2	29,2	0

3,45	29,26667	29,2667	1,0251E-06
3,5	29,36667	29,3667	1,0216E-06
3,55	29,43333	29,4333	1,0193E-06
3,6	29,53333	29,5333	1,0158E-06
3,65	29,63333	29,6333	1,0124E-06
3,7	29,7	29,7	0
3,75	29,73333	29,7333	1,009E-06
3,8	29,83333	29,7667	0,00223341
3,85	29,83333	29,8	0,00111721
3,9	29,83333	29,8333	1,0056E-06
3,95	29,9	29,8667	0,00111371
4	29,86667	29,9	0,00111596
4,05	29,93333	29,9333	1,0022E-06
4,1	29,96667	29,9667	1,0011E-06
4,15	30,03333	30,0333	9,9889E-07
4,2	30,06667	30,0667	9,9778E-07
4,25	30,13333	30,1333	9,9558E-07
4,265	30,2	30,2	0
4,348333	30,33333	30,3333	9,8901E-07
4,431667	30,4	30,4	0
4,515	30,46667	30,4667	9,8468E-07
4,598333	30,53333	30,5333	9,8253E-07
4,681667	30,56667	30,5667	9,8146E-07
4,765	30,56667	30,6167	0,00163675
4,848333	30,66667	30,6667	9,7826E-07
4,931667	30,76667	30,7667	9,7508E-07
5,015	30,86667	30,8667	9,7192E-07
5,098333	30,93333	30,9333	9,6983E-07
5,181667	31,03333	31,0333	9,667E-07
5,265	31,1	31,1	0
5,348333	31,13333	31,1333	9,636E-07
5,431667	31,13333	31,1667	0,00107184
5,515	31,2	31,2	0
5,598333	31,26667	31,2667	9,5949E-07
5,681667	31,33333	31,3333	9,5745E-07
5,765	31,43333	31,4333	9,544E-07
5,848333	31,5	31,5	0

5,931667	31,6	31,6	0
6,015	31,6	31,65	0,00158228
6,098333	31,7	31,7	0
6,181667	31,73333	31,7333	9,4538E-07
6,265	31,76667	31,7667	9,4439E-07
6,348333	31,83333	31,8	0,00104702
6,431667	31,83333	31,8333	9,4241E-07
6,515	31,86667	31,8667	9,4142E-07
6,598333	31,86667	31,9	0,00104592
6,681667	31,93333	31,9333	9,3946E-07
6,765	31,96667	31,9667	9,3848E-07
6,848333	32	32	0
6,931667	32,06667	32,0333	0,00104064
7,015	32,1	32,0667	0,00103738
7,098333	32,13333	32,1	0,00103724
7,181667	32,16667	32,1333	0,00103741
7,265	32,2	32,1667	0,00103416
7,280278	32,16667	32,1833	0,00051699
7,530278	32,16667	32,2	0,00103617
7,780278	32,33333	32,3333	9,2784E-07
8,030278	32,43333	32,4333	9,2497E-07
8,280278	32,43333	32,5167	0,0025705
8,530278	32,6	32,6	0
8,780278	32,73333	32,6667	0,00203554
9,030278	32,66667	32,7333	0,00203969
9,280278	32,83333	32,8333	9,1371E-07
9,530278	32,96667	32,9	0,00202235
9,780278	32,96667	32,9667	9,1001E-07
10,03028	33,03333	33,0333	9,0817E-07
10,28028	33,13333	33,1333	9,0543E-07
10,53028	33,13333	33,1833	0,00150815
10,78028	33,23333	33,2333	9,0271E-07
11,03028	33,36667	33,3333	0,0010001
11,28028	33,33333	33,3667	0,0010011
11,53028	33,43333	33,4333	8,9731E-07
11,78028	33,53333	33,4833	0,00149195
12,03028	33,53333	33,5333	8,9463E-07

12,28028	33,56667	33,5667	8,9374E-07
12,53028	33,66667	33,6333	0,00099119
12,78028	33,63333	33,6667	0,00099217
13,03028	33,73333	33,7333	8,8933E-07
13,28028	33,8	33,7667	0,00098521
13,53028	33,8	33,8	0
13,78028	33,83333	33,8333	8,867E-07
14,03028	33,96667	33,9	0,00196281
14,28028	33,96667	33,9667	8,8322E-07
14,53028	33,96667	34,0167	0,00147291
14,78028	34,23333	34,0667	0,00486748
15,03028	34,06667	34,1333	0,00195587
15,28028	34,13333	34,1667	0,00097764
15,53028	34,23333	34,2	0,00097361
15,78028	34,23333	34,2333	8,7634E-07
16,03028	34,23333	34,2667	0,00097478
16,28028	34,33333	34,3	0,00097078
16,53028	34,33333	34,3333	8,7379E-07
16,78028	34,33333	34,3667	0,00097194
17,03028	34,43333	34,4	0,00096796
17,28028	34,43333	34,4333	8,7125E-07
17,53028	34,43333	34,5	0,00193621
17,78028	34,56667	34,5667	8,6789E-07
18,03028	34,6	34,6	0
18,28028	34,6	34,65	0,00144509
18,53028	34,7	34,7	0
18,78028	34,7	34,7333	0,00095965
19,03028	34,7	34,7667	0,00192219
19,28028	34,8	34,8	0
19,53028	34,86667	34,8667	8,6042E-07
19,78028	34,86667	34,9	0,00095593
20,03028	34,93333	34,9333	8,5878E-07
20,28028	34,96667	34,9667	8,5796E-07
20,53028	34,96667	35	0,00095319
20,78028	35,03333	35,0333	8,5633E-07
21,03028	35,06667	35,05	0,00047538
21,28028	35,03333	35,0667	0,00095252

21,53028	35,13333	35,1333	8,5389E-07
21,78028	35,2	35,1667	0,00094602
22,03028	35,13333	35,2	0,00189763
22,28028	35,23333	35,2333	8,5147E-07
22,53028	35,36667	35,3333	0,00094354
22,78028	35,33333	35,3667	0,00094443
23,03028	35,4	35,3833	0,00047175
23,28028	35,43333	35,4	0,00094064
23,53028	35,4	35,4333	0,00094068
23,78028	35,5	35,4667	0,00093803
24,03028	35,56667	35,5	0,00187451
24,28028	35,5	35,5667	0,00187887
24,53028	35,63333	35,6333	8,4191E-07
24,78028	35,73333	35,7	0,00093274
25,03028	35,7	35,7333	0,00093277
25,28028	35,76667	35,7667	8,3877E-07
25,53028	35,86667	35,8	0,00185883
25,78028	35,8	35,8667	0,00186313
26,03028	35,9	35,9	0
26,28028	35,93333	35,9333	8,3488E-07
26,53028	35,93333	35,9667	0,00092866
26,78028	36	36	0
27,03028	36,03333	36,0333	8,3256E-07
27,28028	36,03333	36,0833	0,00138677
27,53028	36,13333	36,1333	8,3026E-07
27,78028	36,2	36,1556	0,00122652
28,03028	36,13333	36,1778	0,00123072
28,28028	36,2	36,2	0
28,53028	36,26667	36,2333	0,00092013
28,78028	36,23333	36,2667	0,00092098
29,03028	36,3	36,3	0
29,28028	36,36667	36,3333	0,0009176
29,53028	36,33333	36,3667	0,00091844
29,78028	36,4	36,4	0
30,03028	36,46667	36,4167	0,00137029
30,28028	36,4	36,4333	0,00091484
30,53028	36,46667	36,45	0,00045713

30,78028	36,53333	36,4667	0,00182381
31,03028	36,46667	36,4833	0,00045603
31,28028	36,46667	36,5	0,00091399
31,53028	36,56667	36,5167	0,00136654
31,78028	36,5	36,5333	0,00091233
32,03028	36,53333	36,55	0,0004563
32,28028	36,63333	36,5667	0,00181884
32,53028	36,53333	36,6	0,00182491
32,78028	36,6	36,6167	0,00045628
33,03028	36,66667	36,6333	0,00091009
33,28028	36,63333	36,6444	0,00030218
33,53028	36,63333	36,6556	0,00060792
33,78028	36,73333	36,6667	0,00181388
34,03028	36,63333	36,6889	0,00151692
34,28028	36,66667	36,7111	0,00121173
34,53028	36,76667	36,7333	0,00090762
34,78028	36,66667	36,75	0,00227264
35,03028	36,73333	36,7667	0,00090844
35,28028	36,8	36,7833	0,0004538
35,53028	36,8	36,8	0
35,78028	36,8	36,8167	0,0004538
36,03028	36,86667	36,8333	0,00090515
36,28028	36,8	36,85	0,0013587
36,53028	36,8	36,8667	0,0018125
36,78028	36,9	36,875	0,00067751
37,03028	36,9	36,8833	0,00045257
37,28028	36,9	36,8917	0,00022493
37,53028	36,9	36,9	0
37,78028	36,9	36,9111	0,00030081
38,03028	36,9	36,9222	0,00060163
38,28028	37	36,9333	0,0018027
38,53028	36,96667	36,9667	8,1154E-07
38,78028	36,93333	36,9833	0,00135298
39,03028	37	37	0
39,28028	37	37,0167	0,00045135
39,53028	37	37,0333	0,0009
39,78028	37,06667	37,05	0,00044973

40,03028	37,06667	37,0667	8,0935E-07
40,28028	37	37,0778	0,0021027
40,53028	37,1	37,0889	0,00029919
40,78028	37,13333	37,1	0,00089758
41,03028	37,06667	37,1333	0,00179757
41,28028	37,16667	37,1444	0,00059919
41,53028	37,16667	37,1556	0,00029785
41,78028	37,16667	37,1667	8,0717E-07
42,03028	37,16667	37,18	0,00035865
42,28028	37,16667	37,1933	0,0007165
42,53028	37,16667	37,2067	0,00107704
42,78028	37,16667	37,22	0,00143489
43,03028	37,26667	37,2333	0,00089544
43,28028	37,23333	37,2444	0,00029731
43,53028	37,26667	37,2556	0,00029705
43,78028	37,33333	37,2667	0,00178473
44,03028	37,23333	37,2833	0,00134208
44,28028	37,3	37,3	0
44,53028	37,33333	37,3167	0,00044545
44,78028	37,23333	37,3333	0,00268496
45,03028	37,33333	37,3533	0,00053491
45,28028	37,43333	37,3733	0,00160365
45,53028	37,33333	37,3933	0,00160634
45,78028	37,43333	37,4133	0,00053508
46,03028	37,46667	37,4333	0,00089066
46,28028	37,43333	37,4444	0,00029573
46,53028	37,43333	37,4556	0,00059492
46,78028	37,53333	37,4667	0,00177522
47,03028	37,43333	37,5	0,00178103
47,28028	37,5	37,5167	0,00044533
47,53028	37,53333	37,5333	7,9929E-07
47,78028	37,53333	37,5556	0,00059334
48,03028	37,53333	37,5778	0,00118481
48,28028	37,63333	37,6	0,00088565
48,53028	37,6	37,6333	0,00088564
48,78028	37,7	37,6667	0,00088329
49,03028	37,8	37,7	0,0026455

49,28028	37,7	37,7333	0,00088329
49,53028	37,7	37,7667	0,00176923
49,78028	37,8	37,8	0
50,03028	37,8	37,8222	0,0005873
50,28028	37,8	37,8444	0,0011746
50,53028	37,9	37,8667	0,00087863
50,78028	37,86667	37,9	0,00088019
51,03028	37,9	37,9333	0,00087863
51,28028	38	37,9482	0,00136316
51,53028	38	37,9629	0,00097632
51,78028	38	37,9775	0,00059211
52,03028	38,06667	37,992	0,00196156
52,28028	38,06667	38,0064	0,00158327
52,53028	38,06667	38,0207	0,00120762
52,78028	38,16667	38,0349	0,00345249
53,03028	38,13333	38,0489	0,00221407
53,28028	38,13333	38,0629	0,00184694
53,53028	38,26667	38,0768	0,00496176
53,78028	38,23333	38,0905	0,00373575
54,03028	38,2	38,1042	0,00250785
54,28028	38,26667	38,1177	0,00389294
54,53028	38,26667	38,1312	0,00354016
54,78028	38,16667	38,1445	0,00058087
55,03028	38,26667	38,1577	0,00284765
55,28028	38,26667	38,1709	0,0025027
55,53028	38,16667	38,1839	0,00045144
55,78028	38,2	38,1969	8,1152E-05
56,03028	38,26667	38,2097	0,00148876
56,28028	38,16667	38,2225	0,00146279
56,53028	38,23333	38,2351	4,6295E-05
56,78028	38,3	38,2477	0,00136554
57,03028	38,2	38,2602	0,00157592
57,28028	38,16667	38,2725	0,00277284
57,53028	38,26667	38,2848	0,00047378
57,78028	38,16667	38,297	0,00341476
58,03028	38,16667	38,3091	0,00373179
58,28028	38,26667	38,3211	0,00142239

58,53028	38,23333	38,333	0,00260689
58,78028	38,16667	38,3448	0,00466716
59,03028	38,26667	38,3566	0,00235009
59,28028	38,26667	38,3682	0,00265322
59,53028	38,16667	38,3798	0,00558419
59,78028	38,3	38,3912	0,0023812
60,03028	38,26667	38,4026	0,00355218
60,28028	38,23333	38,4139	0,00472284
60,53028	38,3	38,4251	0,00326632
60,78028	38,3	38,4362	0,00355614
61,03028	38,23333	38,4473	0,00559643
61,28028	38,33333	38,4582	0,00325748
61,53028	38,33333	38,4691	0,00354183
61,78028	38,23333	38,4799	0,00644909
62,03028	38,33333	38,4906	0,0041027
62,28028	38,36667	38,5013	0,00350904
62,53028	38,33333	38,5118	0,00465574
62,78028	38,33333	38,5223	0,00492965
63,03028	38,43333	38,5327	0,00258552
63,28028	38,36667	38,543	0,00459592
63,53028	38,43333	38,5532	0,00311891
63,78028	38,43333	38,5634	0,0033843
64,03028	38,43333	38,5735	0,00364709
64,28028	38,43333	38,5835	0,00390729
64,53028	38,5	38,5934	0,00242597
64,78028	38,43333	38,6033	0,00442246
65,03028	38,43333	38,6131	0,00467745
65,28028	38,46667	38,6228	0,00405884
65,53028	38,43333	38,6324	0,00517962
65,78028	38,43333	38,642	0,0054294
66,03028	38,5	38,6515	0,00393506
66,28028	38,43333	38,6609	0,00592116
66,53028	38,43333	38,6702	0,00616314
66,78028	38,53333	38,6795	0,00379334
67,03028	38,5	38,6887	0,0049013
67,28028	38,43333	38,6979	0,00688387
67,53028	38,53333	38,7069	0,00450441

67,78028	38,5	38,7159	0,00560779
68,03028	38,43333	38,7249	0,00758638
68,28028	38,53333	38,7337	0,00519991
68,53028	38,53333	38,7425	0,00542829
68,78028	38,43333	38,7513	0,00827329
69,03028	38,53333	38,7599	0,00587984
69,28028	38,53333	38,7685	0,00610303
69,53028	38,5	38,7771	0,0071974
69,78028	38,56667	38,7855	0,00567407
70,03028	38,6	38,7939	0,00502332
70,28028	38,56667	38,8023	0,00610968
70,53028	38,63333	38,8106	0,00458852
70,78028	38,63333	38,8188	0,00480078
71,03028	38,6	38,8269	0,00587824
71,28028	38,7	38,835	0,00348837
71,53028	38,7	38,8431	0,00369767
71,78028	38,7	38,8511	0,00390439
72,03028	38,7	38,859	0,00410853
72,28028	38,8	38,8668	0,00172165
72,53028	38,7	38,8746	0,00451163
72,78028	38,8	38,8824	0,00212371
73,03028	38,86667	38,89	0,00060026
73,28028	38,83333	38,8977	0,0016576
73,53028	38,83333	38,9052	0,00185073
73,78028	38,93333	38,9127	0,00052988
74,03028	38,9	38,9202	0,00051928
74,28028	38,9	38,9276	0,00070951

Apêndice C3- Resultados para Tbs=49.9 °C e UR=28.7%,
Experimento nº3

TEMPO	TMEDIA (exp.)	T(calc.)	Erro relativo
0	20,3	20,3	0
0,033333	20,76667	20,7662	2,2632E-05
0,066667	21,53333	21,5325	3,8545E-05
0,1	22,4	22,4	0
0,133333	23,26667	23,2667	1,2894E-06
0,166667	24,03333	24,0333	1,2483E-06
0,2	24,76667	24,7667	1,2113E-06
0,233333	25,46667	25,4667	1,178E-06
0,266667	26,1	26,1	0
0,3	26,63333	26,6333	1,1264E-06
0,333333	27,06667	27,0667	1,1084E-06
0,366667	27,5	27,5	0
0,4	27,83333	27,8333	1,0778E-06
0,433333	28,1	28,1	0
0,466667	28,4	28,4	0
0,5	28,6	28,6	0
0,533333	28,8	28,8	0
0,566667	29,03333	29,0333	1,0333E-06
0,6	29,2	29,2	0
0,633333	29,4	29,4	0
0,666667	29,6	29,6	0
0,7	29,8	29,8	0
0,733333	29,96667	29,9667	1,0011E-06
0,766667	30,16667	30,1667	9,9448E-07
0,8	30,4	30,4	0
0,833333	30,56667	30,5667	9,8146E-07
0,866667	30,76667	30,7667	9,7508E-07
0,9	30,93333	30,9333	9,6983E-07
0,933333	31,13333	31,1333	9,636E-07
0,966667	31,23333	31,2333	9,6051E-07
1	31,33333	31,3333	9,5745E-07
1,033333	31,46667	31,4667	9,5339E-07

1,066667	31,53333	31,5333	9,5137E-07
1,1	31,6	31,6	0
1,133333	31,66667	31,6667	9,4737E-07
1,166667	31,66667	31,7	0,00105253
1,2	31,73333	31,7333	9,4538E-07
1,233333	31,8	31,8	0
1,266667	31,9	31,9	0
1,3	31,93333	31,9333	9,3946E-07
1,333333	32,03333	32,0333	9,3652E-07
1,366667	32,16667	32,1667	9,3264E-07
1,4	32,26667	32,2667	9,2975E-07
1,433333	32,4	32,4	0
1,466667	32,53333	32,5333	9,2213E-07
1,5	32,66667	32,6667	9,1837E-07
1,533333	32,8	32,8	0
1,566667	32,86667	32,8667	9,1278E-07
1,6	33	33	0
1,633333	33,1	33,1	0
1,666667	33,2	33,15	0,00150602
1,7	33,2	33,2	0
1,733333	33,23333	33,2333	9,0271E-07
1,766667	33,23333	33,25	0,0005016
1,8	33,26667	33,2667	9,018E-07
1,833333	33,3	33,3	0
1,866667	33,33333	33,3333	9E-07
1,9	33,36667	33,3667	8,991E-07
1,933333	33,46667	33,4667	8,9641E-07
1,966667	33,5	33,5	0
2	33,56667	33,5667	8,9374E-07
2,033333	33,66667	33,6667	8,9109E-07
2,066667	33,76667	33,7667	8,8845E-07
2,1	33,9	33,9	0
2,133333	33,96667	33,9667	8,8322E-07
2,166667	34,1	34,1	0
2,2	34,16667	34,1667	8,7805E-07
2,233333	34,26667	34,2667	8,7549E-07
2,266667	34,3	34,3	0

2,3	34,4	34,4	0
2,333333	34,5	34,425	0,00217391
2,366667	34,5	34,45	0,00144928
2,4	34,5	34,475	0,00072464
2,433333	34,5	34,5	0
2,466667	34,5	34,5167	0,00048406
2,5	34,53333	34,5333	8,6873E-07
2,533333	34,6	34,6	0
2,566667	34,63333	34,6333	8,6622E-07
2,6	34,7	34,7	0
2,633333	34,73333	34,7333	8,6372E-07
2,666667	34,83333	34,8333	8,6124E-07
2,7	34,9	34,9	0
2,733333	35	35	0
2,766667	35,06667	35,0667	8,5551E-07
2,8	35,13333	35,1333	8,5389E-07
2,833333	35,2	35,2	0
2,866667	35,3	35,3	0
2,9	35,36667	35,3667	8,4826E-07
2,933333	35,4	35,4	0
2,966667	35,5	35,45	0,00140845
3	35,5	35,5	0
3,023611	35,53333	35,5333	8,4428E-07
3,106944	35,56667	35,5667	8,4349E-07
3,190278	35,63333	35,6333	8,4191E-07
3,273611	35,73333	35,7333	8,3955E-07
3,356944	35,93333	35,9333	8,3488E-07
3,440278	36,06667	36,0667	8,3179E-07
3,523611	36,23333	36,2333	8,2797E-07
3,606944	36,36667	36,3667	8,2493E-07
3,690278	36,43333	36,4333	8,2342E-07
3,773611	36,5	36,5	0
3,856944	36,56667	36,5667	8,2042E-07
3,940278	36,66667	36,6667	8,1818E-07
4,023611	36,76667	36,7667	8,1596E-07
4,106944	36,93333	36,9333	8,1227E-07
4,190278	37,06667	37,0667	8,0935E-07

4,273611	37,16667	37,1667	8,0717E-07
4,356944	37,26667	37,2667	8,0501E-07
4,440278	37,3	37,3	0
4,523611	37,3	37,35	0,00134048
4,606944	37,4	37,4	0
4,690278	37,53333	37,5333	7,9929E-07
4,773611	37,66667	37,6667	7,9646E-07
4,856944	37,83333	37,8333	7,9295E-07
4,940278	37,9	37,9	0
5,023611	38	37,9667	0,00087632
5,106944	37,96667	38	0,00087788
5,190278	38,06667	38,0667	7,8809E-07
5,273611	38,16667	38,1667	7,8603E-07
5,356944	38,23333	38,2333	7,8466E-07
5,440278	38,33333	38,3333	7,8261E-07
5,523611	38,46667	38,4667	7,799E-07
5,606944	38,56667	38,5667	7,7787E-07
5,690278	38,63333	38,6333	7,7653E-07
5,773611	38,63333	38,6833	0,00129344
5,856944	38,73333	38,7333	7,7453E-07
5,940278	38,73333	38,7833	0,0012901
6,023611	38,83333	38,8333	7,7253E-07
6,106944	38,93333	38,9333	7,7055E-07
6,190278	39,03333	39,0333	7,6857E-07
6,273611	39,13333	39,1333	7,6661E-07
6,356944	39,2	39,2	0
6,440278	39,26667	39,2667	7,6401E-07
6,523611	39,3	39,3	0
6,606944	39,4	39,4	0
6,690278	39,43333	39,4333	7,6078E-07
6,773611	39,5	39,5	0
6,791389	39,53333	39,5333	7,5885E-07
7,041389	39,76667	39,7667	7,544E-07
7,291389	39,9	39,9	0
7,541389	40,13333	40,1333	7,4751E-07
7,791389	40,26667	40,2667	7,4503E-07
16,74694	43,46667	43,5404	0,00169624

16,78278	43,46667	43,5404	0,00169624
17,03278	43,4	43,5404	0,00323502
17,28278	43,6	43,6	0
17,53278	43,6	43,6556	0,00127523
17,78278	43,6	43,7111	0,00254817
18,03278	43,76667	43,7667	6,8545E-07
18,28278	43,8	43,8	0
18,53278	43,9	43,9	0
18,78278	44	44	0
19,03278	44,06667	44,0667	6,8079E-07
19,28278	44,1	44,1	0
19,53278	44,16667	44,1667	6,7925E-07
19,78278	44,23333	44,2333	6,7822E-07
20,03278	44,33333	44,3333	6,7669E-07
20,28278	44,36667	44,3667	6,7618E-07
20,53278	44,46667	44,4667	6,7466E-07
20,78278	44,5	44,5	0
21,03278	44,6	44,6	0
21,28278	44,7	44,7	0
21,53278	44,7	44,75	0,00111857
21,78278	44,8	44,8	0
22,03278	44,9	44,85	0,00111359
22,28278	44,9	44,9	0
22,53278	45,03333	45,0333	6,6617E-07
22,78278	45,1	45,1	0
23,03278	45,1	45,1333	0,00073836
23,28278	45,16667	45,1667	6,6421E-07
23,53278	45,16667	45,2	0,00073793
23,78278	45,23333	45,2333	6,6323E-07
24,03278	45,3	45,3	0
24,28278	45,33333	45,3333	6,6176E-07
24,53278	45,36667	45,3667	6,6128E-07
24,78278	45,46667	45,4	0,00146635
25,03278	45,46667	45,4333	0,00073394
25,28278	45,53333	45,4667	0,00146332
25,53278	45,46667	45,5	0,00073306
25,78278	45,53333	45,5333	6,5886E-07

26,03278	45,56667	45,55	0,00036584
26,28278	45,53333	45,5667	0,00073287
26,53278	45,66667	45,6333	0,00073073
26,78278	45,63333	45,65	0,0003653
27,03278	45,66667	45,6667	6,5693E-07
27,28278	45,76667	45,7	0,00145674
27,53278	45,66667	45,7333	0,00145905
27,78278	45,76667	45,7667	6,555E-07
28,03278	45,83333	45,8	0,0007272
28,28278	45,76667	45,8333	0,00145586
28,53278	45,83333	45,85	0,00036371
28,78278	45,93333	45,8667	0,00145058
29,03278	45,86667	45,9	0,00072667
29,28278	45,93333	45,9333	6,5312E-07
29,53278	45,93333	45,9667	0,00072649
29,78278	45,93333	46	0,00145145
30,03278	46,2	46,0333	0,00360823
30,28278	46,03333	46,05	0,00036213
30,53278	46,03333	46,0667	0,00072491
30,78278	46,06667	46,1	0,00072352
31,03278	46,13333	46,1167	0,00036048
31,28278	46,13333	46,1333	6,5029E-07
31,53278	46,1	46,1667	0,00144685
31,78278	46,2	46,2	0
32,03278	46,26667	46,2333	0,00072125
32,28278	46,2	46,2667	0,00144372
32,53278	46,26667	46,2833	0,00035944
32,78278	46,33333	46,3	0,00071935
33,03278	46,3	46,3667	0,0014406
33,28278	46,43333	46,4333	6,4609E-07
33,53278	46,43333	46,45	0,00035901
33,78278	46,43333	46,4667	0,00071866
34,03278	46,5	46,4833	0,00035914
34,28278	46,5	46,5	0
34,53278	46,5	46,5167	0,00035914
34,78278	46,63333	46,5333	0,00214503
35,03278	46,53333	46,5667	0,00071712

35,28278	46,53333	46,6	0,00143274
35,53278	46,7	46,6333	0,00142827
35,78278	46,6	46,6667	0,00143133
36,03278	46,66667	46,7	0,00071421
36,28278	46,76667	46,7333	0,00071354
36,53278	46,7	46,7667	0,00142827
36,78278	46,8	46,7833	0,00035684
37,03278	46,8	46,8	0
37,28278	46,8	46,8222	0,00047436
37,53278	46,9	46,8444	0,0011855
37,78278	46,8	46,8667	0,00142521
38,03278	46,86667	46,9	0,00071117
38,28278	47	46,9333	0,00141915
38,53278	46,9	46,9667	0,00142217
38,78278	47	46,9833	0,00035532
39,03278	47,06667	47	0,0014165
39,28278	46,96667	47,0222	0,00118233
39,53278	47,1	47,0444	0,00118047
39,78278	47,06667	47,0667	6,3739E-07
40,03278	47,06667	47,1	0,00070814
40,28278	47,16667	47,1333	0,00070749
40,53278	47,13333	47,15	0,00035368
40,78278	47,13333	47,1667	0,00070799

Apêndice C4- Resultados para Tbs=60.2 °C e UR=19.5%,
Experimento nº4.

TEMPO	TMEDIA	T (calc.)	Erro relativo
0	30,56667	30,5667	9,8146E-07
0,05	32,23333	32,2332	4,0331E-06
0,1	33,5	33,5	0
0,15	34,56667	34,5667	8,6789E-07
0,2	35,43333	35,4333	8,4666E-07
0,25	36,23333	36,2334	1,9319E-06
0,3	36,83333	36,8333	8,1448E-07
0,35	37,43333	37,4333	8,0142E-07
0,4	37,9	37,9	0
0,45	38,36667	38,3667	7,8193E-07
0,5	38,73333	38,7333	7,7453E-07
0,55	39,03333	39,0333	7,6857E-07
0,6	39,4	39,4	0
0,65	39,7	39,7	0
0,7	39,93333	39,9333	7,5125E-07
0,75	40,16667	40,1667	7,4689E-07
0,8	40,36667	40,3667	7,4319E-07
0,85	40,6	40,6	0
0,9	40,8	40,8	0
0,95	40,96667	40,8556	0,00271123
1	41,13333	40,9111	0,00540267
1,05	41,33333	40,9667	0,00887008
1,1	41,46667	41	0,0112541
1,15	41,53333	41,0333	0,01203925
1,2	41,5	41,0667	0,01044096
1,25	41,3	41,1	0,00484262
1,3	41,13333	41,1333	7,2934E-07
1,35	41	41,1667	0,00406585
1,4	40,96667	41,2333	0,00650846
1,45	40,96667	41,3	0,00813661
1,5	41	41,3333	0,00812927
1,55	41,06667	41,4	0,0081168
1,6	41,16667	41,4667	0,00728818

1,65	41,23333	41,5	0,00646734
1,7	41,4	41,5167	0,00281884
1,75	41,5	41,5333	0,00080241
1,8	41,63333	41,6333	7,2058E-07
1,85	41,76667	41,7667	7,1828E-07
1,9	41,86667	41,8667	7,1656E-07
1,95	42,03333	42,0333	7,1372E-07
2	42,16667	42,1667	7,1146E-07
2,05	42,3	42,3	0
2,1	42,43333	42,3167	0,00274855
2,15	42,53333	42,3333	0,0047029
2,2	42,7	42,3667	0,00780562
2,25	42,83333	42,4	0,01011665
2,3	42,8	42,4167	0,00895561
2,35	42,73333	42,4333	0,00702098
2,4	42,56667	42,4833	0,00195857
2,45	42,43333	42,5333	0,00235593
2,5	42,33333	42,55	0,00511819
2,55	42,33333	42,5667	0,00551268
2,6	42,33333	42,6333	0,00708591
2,65	42,4	42,7	0,00707547
2,7	42,43333	42,7333	0,00706921
2,75	42,53333	42,7667	0,00548676
2,8	42,63333	42,8	0,00390938
2,85	42,73333	42,8333	0,00233939
2,9	42,86667	42,8667	6,9984E-07
2,95	42,96667	42,9667	6,9822E-07
3	43,06667	43,0667	6,9659E-07
3,0075	43,06667	43,0833	0,00038615
3,090833	43,26667	43,2667	6,9337E-07
3,174167	43,5	43,4	0,00229885
3,2575	43,66667	43,4667	0,00457947
3,340833	43,86667	43,5	0,00835874
3,424167	43,86667	43,5333	0,00759962
3,5075	43,66667	43,6333	0,0007642
3,590833	43,46667	43,6667	0,00460192
3,674167	43,4	43,7	0,00691244

3,7575	43,53333	43,7333	0,00459349
3,840833	43,63333	43,8	0,00381979
3,924167	43,73333	43,8667	0,00304962
4,0075	43,93333	43,9333	6,8285E-07
4,090833	44,13333	44,1333	6,7976E-07
4,174167	44,33333	44,3333	6,7669E-07
4,2575	44,43333	44,4	0,00075011
4,340833	44,63333	44,4333	0,00448163
4,424167	44,83333	44,4667	0,00817762
4,5075	44,9	44,5	0,00890869
4,590833	44,7	44,6	0,00223714
4,674167	44,46667	44,6333	0,0037473
4,7575	44,4	44,7	0,00675676
4,840833	44,5	44,7667	0,00599326
4,924167	44,6	44,8333	0,00523094
5,0075	44,7	44,9	0,00447427
5,090833	44,9	44,9833	0,00185523
5,174167	45,06667	45,0667	6,6568E-07
5,2575	45,23333	45,2333	6,6323E-07
5,340833	45,4	45,3167	0,0018348
5,424167	45,6	45,4	0,00438596
5,5075	45,7	45,4667	0,00510503
5,590833	45,83333	45,5333	0,00654611
5,674167	45,76667	45,5667	0,00436934
5,7575	45,53333	45,6	0,0014642
5,840833	45,4	45,6667	0,00587445
5,924167	45,46667	45,7	0,00513189
6,0075	45,56667	45,7667	0,00438983
6,090833	45,66667	45,8333	0,00364883
6,174167	45,83333	45,9167	0,00181898
6,2575	46	46	0
6,340833	46,16667	46,1667	6,4982E-07
6,424167	46,3	46,3	0
6,5075	46,43333	46,3667	0,00143496
6,590833	46,6	46,4333	0,00357725
6,674167	46,7	46,6	0,00214133
6,7575	46,76667	46,6667	0,00213763

6,765833	46,76667	46,7	0,00142559
7,015833	46,36667	46,7022	0,00723645
7,265833	46,66667	46,7667	0,0021435
7,515833	47,1	47,1	0
7,765833	47,5	47,4333	0,00140421
8,015833	47,43333	47,4667	0,00070351
8,265833	47,46667	47,5	0,00070218
8,515833	47,8	47,8	0
8,765833	48,13333	48,1333	6,2327E-07
9,015833	48,46667	48,1667	0,0061892
9,265833	48,16667	48,3667	0,00415287
9,515833	48,36667	48,4667	0,00206816
9,765833	48,73333	48,7333	6,156E-07
10,01583	49,06667	49,0333	0,0006801
10,26583	49,23333	49,0667	0,0033845
10,51583	49,03333	49,2333	0,00407825
10,76583	49,3	49,3	0
11,01583	49,5	49,5	0
11,26583	49,76667	49,6333	0,00267991
11,51583	49,76667	49,7667	6,0281E-07
11,76583	49,9	49,9	0
12,01583	50,06667	50,0667	5,992E-07
12,26583	50,36667	50,2167	0,00297756
12,51583	50,53333	50,3667	0,00329743
12,76583	50,36667	50,45	0,00165447
13,01583	50,53333	50,5333	5,9367E-07
13,26583	50,73333	50,7333	5,9133E-07
13,51583	50,93333	50,9333	5,8901E-07
13,76583	51,1	51,0333	0,00130528
14,01583	51,03333	51,1	0,0013064
14,26583	51,2	51,2	0
14,51583	51,4	51,4	0
14,76583	51,56667	51,5667	5,8177E-07
15,01583	51,73333	51,6	0,00257726
15,26583	51,6	51,7333	0,00258333
15,51583	51,73333	51,8167	0,00161153
15,76583	51,9	51,9	0

16,01583	52,06667	52,0667	5,7618E-07
16,26583	52,2	52,1333	0,00127778
16,51583	52,13333	52,2	0,00127884
16,76583	52,26667	52,2667	5,7398E-07
17,01583	52,43333	52,4333	5,7216E-07
17,26583	52,6	52,6	0
17,51583	52,66667	52,6333	0,00063361
17,76583	52,63333	52,6667	0,00063401
18,01583	52,8	52,8	0
18,26583	52,93333	52,9333	5,6675E-07
18,51583	53,06667	53	0,00125634
18,76583	53,13333	53,0667	0,00125402
19,01583	53,06667	53,1333	0,00125559
19,26583	53,23333	53,2333	5,6356E-07
19,51583	53,36667	53,3667	5,6215E-07
19,76583	53,5	53,4667	0,00062243
20,01583	53,5	53,5	0
20,26583	53,46667	53,5333	0,0012462
20,51583	53,56667	53,5667	5,6005E-07
20,76583	53,73333	53,7333	5,5831E-07
21,01583	53,9	53,8	0,00185529
21,26583	53,8	53,9	0,00185874
21,51583	53,93333	53,9333	5,5624E-07
21,76583	54,1	54,1	0
22,01583	54,2	54,1667	0,00061439
22,26583	54,16667	54,2	0,00061532
22,51583	54,26667	54,2667	5,5283E-07
22,76583	54,43333	54,4333	5,5113E-07
23,01583	54,56667	54,5667	5,4979E-07
23,26583	54,6	54,6	0
23,51583	54,6	54,6833	0,00152564
23,76583	54,76667	54,7667	5,4778E-07
24,01583	54,9	54,9	0
24,26583	54,96667	54,9333	0,0006071
24,51583	54,93333	54,9667	0,00060746
24,76583	55,06667	55,0667	5,4479E-07
25,01583	55,2	55,2	0

25,26583	55,3	55,2333	0,00120615
25,51583	55,23333	55,3	0,00120706
25,76583	55,4	55,4	0
26,01583	55,53333	55,5333	5,4022E-07
26,26583	55,6	55,6	0
26,51583	55,6	55,7	0,00179856
26,76583	55,8	55,8	0
27,01583	55,9	55,9	0
27,26583	55,93333	55,9333	5,3635E-07
27,51583	56	56	0
27,76583	56,1	56,1	0
28,01583	56,2	56,1667	0,00059253
28,26583	56,16667	56,2	0,00059341
28,51583	56,2	56,2833	0,00148221
28,76583	56,36667	56,3667	5,3223E-07
29,01583	56,46667	56,4167	0,00088495
29,26583	56,46667	56,4667	5,3129E-07
29,51583	56,46667	56,5333	0,00117999
29,76583	56,6	56,6	0
30,01583	56,7	56,65	0,00088183
30,26583	56,7	56,7	0
30,51583	56,7	56,75	0,00088183
30,76583	56,8	56,8	0
31,01583	56,9	56,8667	0,00058524
31,26583	56,93333	56,9	0,00058542
31,51583	56,86667	56,9333	0,00117169
31,76583	56,96667	56,9667	5,2662E-07
32,01583	57,03333	57,0333	5,2601E-07
32,26583	57,13333	57,0833	0,00087567
32,51583	57,03333	57,1333	0,00175283
32,76583	57,13333	57,1833	0,00087462
33,01583	57,26667	57,2333	0,00058271
33,26583	57,33333	57,2667	0,00116215
33,51583	57,23333	57,3	0,00116488
33,76583	57,3	57,3333	0,00058115
34,01583	57,4	57,3667	0,00058014
34,26583	57,43333	57,4	0,00058033

34,51583	57,36667	57,4333	0,00116148
34,76583	57,43333	57,4667	0,00058102
35,01583	57,5	57,5	0
35,26583	57,53333	57,5333	5,2144E-07

Apêndice C5- Resultados para Tbs=60.5 °C e UR=10.7%,
Experimento nº5.

TEMPO	TMEDIA	T (calc.)	Erro relativo
0	23,46667	23,4667	1,2784E-06
0,05	24,83333	24,8296	0,0001502
0,1	26,1	26,0999	3,8314E-06
0,15	27,2	27,2	0
0,2	28,16667	28,1667	1,0651E-06
0,25	29	29	0
0,3	29,83333	29,8333	1,0056E-06
0,35	30,53333	30,5333	9,8253E-07
0,4	31,06667	31,0667	9,6567E-07
0,45	31,56667	31,5667	9,5037E-07
0,5	31,93333	31,9333	9,3946E-07
0,55	32,33333	32,3333	9,2784E-07
0,6	32,63333	32,6333	9,1931E-07
0,65	33	33	0
0,7	33,33333	33,3333	9E-07
0,75	33,66667	33,6667	8,9109E-07
0,8	34	34	0
0,85	34,36667	34,3667	8,7294E-07
0,9	34,7	34,7	0
0,95	35,03333	35,0333	8,5633E-07
1	35,33333	35,3333	8,4906E-07
1,05	35,53333	35,5333	8,4428E-07
1,1	35,76667	35,7667	8,3877E-07
1,15	35,96667	35,9667	8,3411E-07
1,2	36,16667	36,1667	8,2949E-07
1,25	36,36667	36,3667	8,2493E-07
1,3	36,5	36,5	0
1,35	36,73333	36,7333	8,167E-07
1,4	36,96667	36,9667	8,1154E-07
1,45	37,23333	37,2333	8,0573E-07
1,5	37,43333	37,4333	8,0142E-07
1,55	37,66667	37,6667	7,9646E-07
1,6	37,9	37,9	0

1,65	38,13333	38,1333	7,8671E-07
1,7	38,26667	38,2667	7,8397E-07
1,75	38,46667	38,4667	7,799E-07
1,8	38,6	38,6	0
1,85	38,76667	38,7667	7,7386E-07
1,9	38,9	38,9	0
1,95	39,03333	39,0333	7,6857E-07
2	39,23333	39,2333	7,6466E-07
2,05	39,36667	39,3667	7,6207E-07
2,1	39,56667	39,5667	7,5821E-07
2,15	39,7	39,7	0
2,2	39,86667	39,8667	7,5251E-07
2,25	40,06667	40,0667	7,4875E-07
2,3	40,26667	40,2667	7,4503E-07
2,35	40,36667	40,3667	7,4319E-07
2,4	40,5	40,5	0
2,45	40,63333	40,6333	7,3831E-07
2,5	40,73333	40,7333	7,365E-07
2,55	40,83333	40,8333	7,3469E-07
2,6	40,93333	40,9333	7,329E-07
2,65	41,06667	41,0667	7,3052E-07
2,7	41,2	41,2	0
2,75	41,33333	41,3333	7,2581E-07
2,8	41,46667	41,4667	7,2347E-07
2,85	41,56667	41,5667	7,2173E-07
2,9	41,7	41,7	0
2,95	41,8	41,8	0
2,965833	41,96667	41,9667	7,1485E-07
3,003889	42	42	0
3,087222	42,1	42,1	0
3,170556	42,3	42,3	0
3,253889	42,43333	42,4333	7,0699E-07
3,337222	42,6	42,6	0
3,420556	42,8	42,8	0
3,503889	42,96667	42,9667	6,9822E-07
3,587222	43,16667	43,1667	6,9498E-07
3,670556	43,36667	43,3667	6,9178E-07

3,753889	43,53333	43,5333	6,8913E-07
3,837222	43,66667	43,6667	6,8702E-07
3,920556	43,83333	43,8333	6,8441E-07
4,003889	43,96667	43,9667	6,8234E-07
4,087222	44,13333	44,1333	6,7976E-07
4,170556	44,3	44,3	0
4,253889	44,5	44,5	0
4,337222	44,66667	44,6667	6,7164E-07
4,420556	44,8	44,8	0
4,503889	44,96667	44,9667	6,6716E-07
4,587222	45,1	45,1	0
4,670556	45,16667	45,1667	6,6421E-07
4,753889	45,36667	45,3667	6,6128E-07
4,837222	45,46667	45,4667	6,5982E-07
4,920556	45,66667	45,6667	6,5693E-07
5,003889	45,83333	45,8333	6,5455E-07
5,087222	45,96667	45,9667	6,5265E-07
5,170556	46,06667	46,0667	6,5123E-07
5,253889	46,16667	46,1667	6,4982E-07
5,337222	46,26667	46,2667	6,4841E-07
5,420556	46,4	46,4	0
5,503889	46,56667	46,5667	6,4424E-07
5,587222	46,66667	46,6667	6,4286E-07
5,670556	46,8	46,8	0
5,753889	46,9	46,9	0
5,837222	47	47	0
5,920556	47,1	47,1	0
6,003889	47,16667	47,1667	6,3604E-07
6,087222	47,23333	47,2333	6,3514E-07
6,170556	47,33333	47,3333	6,338E-07
6,253889	47,43333	47,4333	6,3247E-07
6,337222	47,53333	47,5333	6,3114E-07
6,420556	47,63333	47,6333	6,2981E-07
6,503889	47,73333	47,7333	6,2849E-07
6,587222	47,8	47,8	0
6,670556	47,86667	47,8667	6,2674E-07
6,753889	47,93333	47,9333	6,2587E-07

6,837222	47,93333	48,0667	0,00278241
6,920556	48,2	48,2	0
7,003889	48,4	48,4	0
7,094722	48,6	48,6	0
7,344722	48,86667	48,8667	6,1392E-07
7,594722	49,06667	49,0667	6,1141E-07
7,844722	49,2	49,2	0
8,094722	49,53333	49,5333	6,0565E-07
8,344722	49,6	49,6	0
8,594722	49,7	49,7	0
8,844722	49,96667	49,9667	6,004E-07
9,094722	50,1	50,1	0
9,344722	50,23333	50,2333	5,9721E-07
9,594722	50,43333	50,4333	5,9484E-07
9,844722	50,5	50,5	0
10,09472	50,66667	50,6667	5,9211E-07
10,34472	50,86667	50,8667	5,8978E-07
10,59472	51,03333	51,0333	5,8785E-07
10,84472	51,13333	51,1333	5,867E-07
11,09472	51,26667	51,2667	5,8518E-07
11,34472	51,36667	51,3667	5,8404E-07
11,59472	51,53333	51,5333	5,8215E-07
11,84472	51,6	51,6	0
12,09472	51,8	51,8	0
12,34472	51,9	51,9	0
12,59472	51,9	52	0,00192678
12,84472	52,1	52,1	0
13,09472	52,23333	52,2333	5,7435E-07
13,34472	52,26667	52,2667	5,7398E-07
13,59472	52,43333	52,35	0,00158926
13,84472	52,43333	52,4333	5,7216E-07
14,09472	52,53333	52,5333	5,7107E-07
14,34472	52,7	52,7	0
14,59472	52,76667	52,7667	5,6854E-07
14,84472	52,96667	52,9667	5,6639E-07
15,09472	53,03333	53,0333	5,6568E-07
15,34472	53,03333	53,0833	0,00094224

15,59472	53,13333	53,1333	5,6462E-07
15,84472	53,16667	53,1667	5,6426E-07
16,09472	53,33333	53,3333	5,625E-07
16,34472	53,36667	53,3667	5,6215E-07
16,59472	53,6	53,6	0
16,84472	53,73333	53,6667	0,00124001
17,09472	53,73333	53,7333	5,5831E-07
17,34472	53,83333	53,8333	5,5728E-07
17,59472	53,9	53,9	0
17,84472	53,96667	53,9667	5,559E-07
18,09472	54,13333	54,1333	5,5419E-07
18,34472	54,2	54,2	0
18,59472	54,3	54,3	0
18,84472	54,36667	54,3667	5,5181E-07
19,09472	54,36667	54,4167	0,00092023
19,34472	54,46667	54,4667	5,508E-07
19,59472	54,56667	54,5667	5,4979E-07
19,84472	54,66667	54,6667	5,4878E-07
20,09472	54,76667	54,7667	5,4778E-07
20,34472	54,83333	54,8333	5,4711E-07
20,59472	54,83333	54,9167	0,00152043
20,84472	55	55	0
21,09472	55,03333	55,0333	5,4512E-07
21,34472	55,1	55,1	0
21,59472	55,2	55,2	0
21,84472	55,26667	55,2667	5,4282E-07
22,09472	55,43333	55,35	0,00150325
22,34472	55,43333	55,4333	5,4119E-07
22,59472	55,53333	55,5333	5,4022E-07
22,84472	55,63333	55,6333	5,3925E-07
23,09472	55,7	55,7	0
23,34472	55,83333	55,8	0,00059696
23,59472	55,8	55,8333	0,00059677
23,84472	55,9	55,9	0
24,09472	56,1	55,9667	0,00237611
24,34472	56,1	56,0333	0,00118895
24,59472	56,2	56,1	0,00177936

24,84472	55,96667	56,2	0,00416909
25,09472	56,3	56,3	0
25,34472	56,5	56,4	0,00176991
25,59472	56,4	56,5	0,00177305
25,84472	56,5	56,5667	0,00118053
26,09472	56,63333	56,6333	5,2972E-07
26,34472	56,66667	56,6667	5,2941E-07
26,59472	56,9	56,9	0
26,84472	56,96667	56,9667	5,2662E-07
27,09472	57	57	0
27,7901	57,06667	57,0667	5,257E-07

Apêndice C6- Resultados para $T_{bs}=68.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $UR=7.3\%$,
Experimento nº6.

TEMPO	TMÉDIA	T (calc.)	Erro relativo
0	25,3333	25,3333	0
0,03333	26,3333	26,3333	0
0,06667	27,4	27,3994	2,1898E-05
0,1	28,5	28,5	0
0,13333	29,4	29,4	0
0,16667	30,3	30,3	0
0,2	31,0667	31,0667	0
0,23333	31,7333	31,7333	0
0,26667	32,4	32,4	0
0,3	33	33	0
0,33333	33,5667	33,5667	0
0,36667	34,1667	34,1667	0
0,4	34,6667	34,6667	0
0,43333	35,1667	35,1667	0
0,46667	35,6333	35,6333	0
0,5	36,1	36,1	0
0,53333	36,4667	36,4667	0
0,56667	36,8333	36,8333	0
0,6	37,1667	37,1667	0
0,63333	37,5	37,5	0
0,66667	37,8	37,8	0
0,7	38,1	38,1	0
0,73333	38,3333	38,3333	0
0,76667	38,5333	38,5333	0
0,8	38,8	38,8	0
0,83333	39,0667	39,0667	0
0,86667	39,3333	39,3333	0
0,9	39,6	39,6	0
0,93333	39,8333	39,8333	0
0,96667	40,0667	40,0667	0
1	40,3333	40,3333	0
1,03333	40,5333	40,5333	0

1,06667	40,8	40,8	0
1,1	41	41	0
1,13333	41,1667	41,1667	0
1,16667	41,3333	41,3333	0
1,2	41,5333	41,5333	0
1,23333	41,6667	41,6667	0
1,26667	41,8333	41,8333	0
1,3	42	42	0
1,33333	42,1667	42,1667	0
1,36667	42,4	42,4	0
1,4	42,5667	42,5667	0
1,43333	42,7	42,7	0
1,46667	42,9	42,9	0
1,5	43,0667	43,0667	0
1,53333	43,2667	43,2667	0
1,56667	43,4667	43,4667	0
1,6	43,6	43,6	0
1,63333	43,7333	43,7333	0
1,66667	43,8333	43,8333	0
1,7	43,9667	43,9667	0
1,73333	44,1	44,1	0
1,76667	44,2	44,2	0
1,8	44,3	44,3	0
1,83333	44,4333	44,4333	0
1,86667	44,5667	44,5667	0
1,9	44,6667	44,6667	0
1,93333	44,8333	44,8333	0
1,96667	44,9667	44,9667	0
2	45,1333	45,1333	0
2,03333	45,2667	45,2667	0
2,06667	45,3667	45,3667	0
2,1	45,5	45,5	0
2,13333	45,6333	45,6333	0
2,16667	45,7333	45,7333	0
2,2	45,8333	45,8333	0
2,23333	45,9333	45,9333	0
2,26667	46	46	0

2,3	46,1	46,1	0
2,33333	46,2	46,2	0
2,36667	46,3	46,3	0
2,4	46,4333	46,4333	0
2,43333	46,5333	46,5333	0
2,46667	46,6333	46,6333	0
2,5	46,8	46,8	0
2,53333	46,9	46,9	0
2,56667	47	47	0
2,6	47,1333	47,1333	0
2,63333	47,2333	47,2333	0
2,66667	47,3667	47,3667	0
2,7	47,4667	47,4667	0
2,73333	47,5667	47,5667	0
2,76667	47,6333	47,6333	0
2,8	47,7333	47,7333	0
2,83333	47,7667	47,7667	0
2,86667	47,8333	47,8333	0
2,9	47,9333	47,9333	0
2,93333	48,0333	48,0333	0
2,96667	48,1333	48,1333	0
3	48,2333	48,2333	0
3,03333	48,3	48,3	0
3,06667	48,4667	48,4667	0
3,1	48,5333	48,5333	0
3,13333	48,6667	48,6667	0
3,16667	48,7333	48,7333	0
3,1875	48,8	48,8	0
3,27083	49	49	0
3,35417	49,1667	49,1667	0
3,4375	49,3667	49,3667	0
3,52083	49,5333	49,5333	0
3,60417	49,8	49,8	0
3,6875	50	50	0
3,77083	50,1667	50,1667	0
3,85417	50,3333	50,3333	0
3,9375	50,5	50,5	0

4,02083	50,7	50,7	0
4,10417	50,8333	50,8333	0
4,1875	51,0667	51,0667	0
4,27083	51,2333	51,2333	0
4,35417	51,3333	51,3333	0
4,4375	51,4333	51,4333	0
4,52083	51,5667	51,5667	0
4,60417	51,7667	51,7667	0
4,6875	51,9	51,9	0
4,77083	52,0667	52,0667	0
4,85417	52,1333	52,1333	0
4,9375	52,2	52,2	0
5,02083	52,3	52,3	0
5,10417	52,4333	52,4333	0
5,1875	52,5667	52,5667	0
5,27083	52,7	52,7	0
5,35417	52,7667	52,7667	0
5,4375	52,8333	52,8333	0
5,52083	52,9	52,9	0
5,60417	53,0333	53,0333	0
5,6875	53,1333	53,1333	0
5,77083	53,2333	53,2333	0
5,85417	53,3333	53,3333	0
5,9375	53,4	53,4	0
6,02083	53,4667	53,4667	0
6,10417	53,5667	53,5667	0
6,1875	53,6333	53,6333	0
6,27083	53,7333	53,7333	0
6,35417	53,8333	53,8333	0
6,4375	53,8667	53,8667	0
6,52083	53,9333	53,9333	0
6,60417	54	54	0
6,6875	54,0667	54,0667	0
6,77083	54,1667	54,1667	0
6,85417	54,2333	54,2333	0
6,87667	54,3	54,3	0
7,12667	54,4	54,4	0

7,37639	54,6667	54,6667	0
7,62639	54,8333	54,8333	0
7,87639	55,0667	55,0667	0
8,12639	55,2333	55,2333	0
8,37639	55,4	55,4	0
8,62639	55,6333	55,6333	0
8,87639	55,8333	55,8333	0
9,12639	56,0333	56,0333	0
9,37639	56,1667	56,1667	0
9,62639	56,4	56,4	0
9,87639	56,5	56,5	0
10,1264	56,7	56,7	0
10,3764	56,8333	56,8333	0
10,6264	57	57	0
10,8764	57,1667	57,1667	0
11,1264	57,3	57,3	0
11,3764	57,5	57,5	0
11,6264	57,6333	57,6333	0
11,8764	57,8	57,8	0
12,1264	57,8667	57,8667	0
12,3764	58,0333	58,0333	0
12,6264	58,1333	58,1333	0
12,8764	58,3	58,3	0
13,1264	58,5	58,5	0
13,3764	58,6333	58,6333	0
13,6264	58,7667	58,7667	0
13,8764	58,8333	58,8333	0
14,1264	59,0333	59,0333	0
14,3764	59,1667	59,1667	0
14,6264	59,3333	59,3333	0
14,8764	59,4667	59,4667	0
15,1264	59,5667	59,5667	0
15,3764	59,7333	59,7333	0
15,6264	59,8333	59,8333	0
15,8764	60,0667	60,0667	0
16,1264	60,1333	60,1333	0
16,3764	60,2333	60,2333	0

16,6264	60,2333	60,35	0,00193747
16,8764	60,4667	60,4667	0
17,1264	60,5333	60,5333	0
17,3764	60,6333	60,6333	0
17,6264	60,8333	60,8333	0
17,8764	60,9667	60,9667	0
18,1264	61,1	61,1	0
18,3764	61,2	61,2	0
18,6264	61,4667	61,4667	0
18,8764	61,5667	61,5667	0
19,1264	61,7667	61,7667	0
19,3764	61,8667	61,8667	0
19,6264	62,0667	62,0667	0
19,8764	62,1333	62,1333	0
20,1264	62,3333	62,2333	0,00160428
20,3764	62,3333	62,3333	0
20,6264	62,5	62,5	0
20,8764	62,6333	62,6333	0
21,1264	62,7	62,7	0
21,3764	62,8333	62,8333	0
21,6264	62,9333	62,9333	0
21,8764	63	63	0
22,1264	63,0333	63,0333	0
22,3764	63,2667	63,15	0,00184457
22,6264	63,2667	63,2667	0
22,8764	63,4667	63,4667	0
23,1264	63,5333	63,5333	0
23,3764	63,5667	63,5667	0
23,6264	63,5667	63,5833	0,00026114
23,8764	63,6	63,6	0
24,1264	63,7667	63,7667	0
24,3764	63,8667	63,8667	0
24,6264	63,9	63,9	0
24,8764	64,1333	64,1333	0
25,1264	64,2667	64,2667	0